



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5 LANTAI GRAHA STC SUMENEP DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

MUHAMMAD YANUAR ISHAQ

NRP. 101115 000 000 59

PURNOMO RIYANTO

NRP. 101115 000 000 95

Dosen Pembimbing

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP. 19560520 198903 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5 LANTAI GRAHA STC SUMENEP DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

MUHAMMAD YANUAR ISHAQ
NRP. 101115 000 000 59

PURNOMO RIYANTO
NRP. 101115 000 000 95

Dosen Pembimbing
Ir. SRIE SUBEKTI, MT.
NIP. 19560520 198903 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL APPLIED PROJECT - RC145501

RE - PLANNING OF 5 - FLOOR OFFICE BUILDING STC SUMENEP WITH METHOD OF MEDIUM MOMENT BEARER FRAME SYSTEM (SRPMM)

MUHAMMAD YANUAR ISHAQ
NRP. 101115 000 000 59

PURNOMO RIYANTO
NRP. 101115 000 000 95

Consellor Lecturer

Ir. Srie Subekti, MT.
NIP. 19560520 198903 2 001

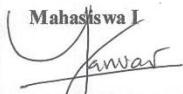
CIVIL ENGINEERING DIPLOMA III PROGRAM
CIVIL ENGINEERING INFRASTRUCTURE DEPARTEMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

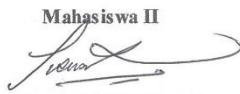
LEMBAR PENGESAHAN
PERENCANAAN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5
LANTAI GRAHA STC SUMENEP DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan Pada
Konsentrasi Bangunan Gedung Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Disusun oleh:

Mahasiswa I


Mahasiswa II


MUHAMMAD YANUAR ISHAQ **PURNOMO RIYANTO**
NRP. 101115 000 000 59 NRP. 101115 000 000 95





BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
 041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 6 Juli 2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Ulang Gedung Perkantoran 5 Lantai Graha STC Sumenep Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)		
Nama Mahasiswa	Purnomo Riyanto	NRP	10111500000095
Nama Mahasiswa	M Yanuar Ishaq	NRP	10111500000059
Dosen Pembimbing 1	Ir. Srie Subekti, MT NIP 195605201989032001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<p>"Langkah gambar halidungan pada dasar</p> <p>"daftar pustaka yg belum Pindasi</p>	 Ir. Imam Prayogo, MMT NIP 195305291982111001
<p>Tul balok (lentur) di posisi susur</p> <p>Celingsan perlu di cekleb menurun</p> <p>Bilah tetap pasang koreksi</p> <p>Beigun momen nya aman sejil</p> <p>alibat per geseran T.B. Theodorus</p>	 Ir. Sukobar, MT NIP 195712011986011002
<p>Ode Anna Halimasa</p>	 Ir. Srie Subekti, MT NIP 195605201989032001
<p>Sesua gambar di cek lagi dan berulang 1.125 kali dan langsung</p> <p>8, 9, 10, 11, 13, 17, 19, 25, 26, 27, 28</p> <p>29, 30, 31, 32</p>	 Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST. MT NIP 197802012006042002

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Ir. Imam Prayogo, MMT NIP 195305291982111001	 Ir. Sukobar, MT NIP 195712011986011002		 Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST. MT NIP 197802012006042002

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Srie Subekti, MT NIP 195605201989032001	-
	NIP 195605201989032001	NIP -

**PERENCANAAN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5
LANTAI GRAHA STC SUMENEP DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)**

Mahasiswa 1 : Muhammad Yanuar Ishaq
NRP : 101115 000 000 59

Mahasiswa 2 : Purnomo Riyanto
NRP : 101115 000 000 95

Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil
Program Studi : Diploma III Teknik Sipil
Fakultas : Vokasi – ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Srie Subekti, MT.
NIP : 19560520 198903 2 001

ABSTRAK

Dalam perancangan struktur gedung, pengaruh ketahanan gempa merupakan salah satu hal yang penting untuk dianalisa, terutama bangunan – bangunan yang berada dalam wilayah yang sering dilanda gempa besar. Mengingat bahwa wilayah kepulauan Indonesia terletak di daerah yang rawan gempa, oleh karena itu, diperlukan suatu perancangan yang baik terhadap bahaya gempa serta mampu membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki dan kerugian yang terjadi tidak besar.

Dalam tugas akhir ini akan direncanakan struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Struktur yang akan direncanakan adalah gedung Perkantoran Graha STC yang terletak di wilayah Sumenep, dimana ditinjau dengan menggunakan analisa pengaruh beban statik ekuivalen. Sistem Rangka Pemikul Momen adalah

sistem rangka ruang yang mana komponen – komponen struktur dan join – joinnya menahan gaya – gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Dengan adanya sistem ini diharapkan suatu bangunan dapat berperilaku daktail yang nantinya akan memancarkan energi gempa serta membatasi beban gempa yang masuk ke dalam struktur. Diharapkan dengan menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) ini dapat diaplikasikan dan bermanfaat bagi masyarakat khususnya pada daerah rawan gempa menengah sebagai cara sosialisasi kepada masyarakat luas mengingat peraturan – peraturan yang digunakan adalah peraturan baru.

Kata Kunci: SRPMM (*Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah*)

RE – PLANNING OF 5 FLOOR OFFICE BUILDING STC SUMENEP WITH METHOD OF MEDIUM MOMENT BEARER FRAME SYSTEM (SRPMM)

Student 1 : Muhammad Yanuar Ishaq

NRP : 101115 000 000 59

Student 2 : Purnomo Riyanto

NRP : 101115 000 000 95

Department : Civil Infrastructure Engineering

Course : Diploma III of Civil Engineering

Fakultas : Vocational – ITS

Consellor Lecturer : Ir. Srie Subekti, MT.

NIP : 19560520 198903 2 001

ABSTRACT

In the design of building structure, the effect of earthquake resistance is one of important thing to be analyzed, especially some buildings in the area that is frequently hit by big earthquakes. Indonesian archipelago located in earthquake-prone areas, therefore it needs a good design against earthquake hazard and able to limit the damage towards building caused by light to medium earthquake, so it can be improved and minimize losses.

This final year project will planned a structure of reinforced concrete building by using Method of medium moment bearer frame system (SRPMM). The structure to be planned is Graha STC Office building located in Sumenep area, where it is reviewed by using the equivalent static load effect analysis. Method of medium moment bearer frame system is a chassis system which the components of the structure and its join forces to resist forces acting through the action of bending, shearing and axial. This system is expected that a building can behave ductile which will emit the energy of earthquake and limit the load of earthquake into

the structure. It is expected that by using Method of medium moment bearer frame system (SRPMM) can be applied and beneficial for the community, especially in earthquake-prone areas as a means of socialization to the wider society considering the used of new regulations.

Keywords: *SRPMM (Intermediate Moment Frame System bearer)*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah S.W.T. atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad S.A.W. sehingga Tugas Akhir Terapan ini dapat terselesaikan.

Tersusunnya tugas akhir terapan ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu begitu banyak ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, sebagai pemberi semangat dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil, terutama doa.
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT. selaku Ketua departemen Teknik Infrastruktur Sipil.
3. Ibu Ir. Srie Subekti, MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan ini.
4. Bapak Prof. Ir. M. Sigit Dharmawan, M.Eng.Sc., PhD. selaku dosen pengampu mata kuliah Praktek Kerja / TA.
5. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan dan saran selama prosesengerjaan tugas akhir terapan ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir terapan ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir terapan ini.

Akhir kata, semoga apa yang kami sajikan dalam laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terlibat.

Surabaya, Juli 2018

Penulis,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ivii
BERITA ACARA.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud.....	3
1.5 Tujuan	3
1.6 Manfaat.....	3
1.7 Lokasi Studi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Peraturan yang Digunakan	5
2.2 Data Umum Proyek.....	5
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).....	5
2.3.1 Ketentuan Struktur Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).....	7
2.4 Pembebanan.....	8
2.4.1 Beban Mati (Dead Load)	8
2.4.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	9
2.4.3 Beban Hidup Atap.....	9
2.4.4 Beban Angin.....	10
2.4.5 Beban Gempa	19
2.4.6 Kombinasi Pembebanan	28
2.5 Pelat	28
2.5.1 Perencanaan Ketebalan Pelat.....	28
2.5.2 Analisa Gaya Dalam.....	32

2.5.3 Perhitungan Penulangan Pelat.....	32
2.6 Tangga	35
2.6.1 Perencanaan Dimensi Tangga	35
2.6.2 Pembebanan Tangga	35
2.6.3 Penulangan Struktur Tangga	36
2.7 Ketentuan-Ketentuan Perhitungan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (<i>SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4</i>)	36
2.8 Kolom	36
2.8.1 Perencanaan dimensi kolom.....	36
2.8.2 Perhitungan Penulangan Kolom	37
2.8.3 Ketentuan – Ketentuan Perhitungan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (<i>SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5</i>)	41
2.9 Perhitungan Penulangan Struktur Pondasi	42
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN.....	43
3.1 Pengumpulan Data	43
3.2 Studi Literatur.....	44
3.3 Preliminary Desain.....	44
3.3.1 Penentuan dimensi balok	44
3.3.2 Perencanaan dimensi kolom.....	44
3.3.3 Penentuan dimensi pelat	44
3.3.4 Preliminary Tangga.....	45
3.4 Perhitungan Pembebanan.....	45
3.4.1 Beban Mati.....	45
3.4.2 Beban Hidup	45
3.4.3 Beban Angin	45
3.4.4 Beban gempa.....	45
3.5 Analisa Gaya Dalam.....	46
3.5.1 Analisa Gaya Dalam (M,N,D).....	46
3.5.2 Analisa Gaya Dalam Pelat	46
3.5.3 Analisa Gaya Dalam Balok.....	46
3.5.4 Analisa Gaya Dalam Kolom	46
3.6 Perhitungan tulangan Struktur	47
3.7 Cek Syarat.....	47

3.8	Gambar Rencana	47
3.8.1	Gambar Arsitektur.....	47
3.8.2	Gambar Potongan.....	47
3.8.3	Gambar Penulangan	47
3.8.4	Gambar Detail.....	48
3.8.5	Gambar Struktur	48
3.9	Flow Chart Metodologi.....	49
3.9.1	Flow chart Struktur Atas.....	50
3.9.2	Flowchart Struktur Bawah.....	51
3.9.3	Flow Chart Perhitungan Pelat	52
3.9.4	Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes	54
3.9.5	Flow Chart Perhitungan Penulangan Torsi Balok ...	56
3.9.6	Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Balok .	58
3.9.7	Flow Chart Perhitungan Geser Balok	60
3.9.8	Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Kolom	62
3.9.9	Flow Chart Perhitungan Penulangan Geser Kolom .	66
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	69
4.1	Penentuan Metode Sistem Struktur	69
4.2	Preliminary Design.....	78
4.2.1	Preliminary Balok	78
4.2.2	Preliminary Sloof	81
4.2.3	Preliminary Pelat.....	81
4.2.4	Preliminary Kolom	87
4.2.5	Perencanaan Tangga.....	90
4.3	Perhitungan Pembebanan	93
4.3.1	Pembebanan pada Pelat	93
4.3.2	Beban Dinding.....	96
4.3.3	Beban Angin (W).....	97
4.3.4	Beban Air Hujan (R)	101
4.3.5	Beban Gempa	101
4.3.6	Beban Lift	108
4.4	Kombinasi Pembebanan.....	109
4.5	Perhitungan Struktur	110
4.5.1	Pelat.....	110

4.5.2 Tangga dan Bordes	129
4.5.3 Balok	145
4.5.4 Sloof	304
4.5.5 Kolom	333
4.5.6 Perhitungan Borpile dan Pilecap	377
4.5.7 Penulangan Tiang Bor	396
4.6 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Atas (<i>Upper Structure</i>)	401
4.6.1 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Balok dan Pelat	402
BAB V KESIMPULAN	423
5.1 Kesimpulan	423
5.2 Saran	425
DAFTAR PUSTAKA	427
LAMPIRAN	429

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Letak Proyek Gedung Perkantoran	4
Gambar 2. 1 (S21.3.3) Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah	8
Gambar 2. 2 Koefisien Tekanan Eksternal (Cp).....	18
Gambar 2. 3 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 detik (Ss) di bantuan dasar (Sa) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	21
Gambar 2. 4 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 detik (S1) di batuan dasar (Sa) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	22
Gambar 2. 5 Dimensi Bidang Pelat.....	29
Gambar 2. 6 Dimensi Bidang Pelat.....	30
Gambar 2. 7 Balok Tengah	32
Gambar 2. 8 Perpanjangan Minimum untuk Tulangan pada Slab tanpa Balok	34
Gambar 2. 9 Faktor Kekakuan Kolom	38
Gambar 2. 10 Gaya Lintang pada Kolom	41
Gambar 3. 1 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan	49
Gambar 3. 2 Flow Chart Perencanaan Struktur Atas	50
Gambar 3. 3 Flow Chart Perencanaan Struktur Bawah.....	51
Gambar 3. 4 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat..	53
Gambar 3. 5 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes	55
Gambar 3. 6 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Torsi Balok	57
Gambar 3. 7 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Balok	59
Gambar 3. 8 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Balok	61
Gambar 3. 9 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Kolom.....	65
Gambar 3. 10 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Kolom.....	67

Gambar 4. 1 Diafragma Fleksibel	78
Gambar 4. 2 Lebar Efektif Pelat.....	82
Gambar 4. 3 Mekanika Perencanaan Tangga	91
Gambar 4. 4 Pengaruh Angin pada Dinding.....	100
Gambar 4. 5 Analisa Beban Lift.....	109
Gambar 4. 6 Denah Penempatan Tangga pada Lantai Dasar....	130
Gambar 4. 7 Potongan Tangga.....	130
Gambar 4. 8 Potongan Bordes	131
Gambar 4. 9 Beban yang terjadi pada Pelat Tangga dan Bordes	134
Gambar 4. 10 Free Body Diagram pada Pelat Tangga dan Bordes	136
Gambar 4. 11 Lendutan Batang	138
Gambar 4. 12 Peninjauan Balok Memanjang AS B (5 – 6).....	147
Gambar 4. 13 Tinggi Efektif Balok	147
Gambar 4. 14 Luasan Acp dan Pcp	149
Gambar 4. 15 Penulangan Balok Induk Memanjang 40/60.....	170
Gambar 4. 16 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	172
Gambar 4. 17 Peninjauan Letak Balok Melintang As 3 (A-B)..	181
Gambar 4. 18 Tinggi Efektif Balok	182
Gambar 4. 19 Luasan Acp dan Pcp	184
Gambar 4. 20 Penulangan Balok Melintang 35/50.....	202
Gambar 4. 21 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	204
Gambar 4. 22 Peninjauan Letak Balok Bordes	212
Gambar 4. 23 Tinggi Efektif Balok	214
Gambar 4. 24 Luasan Acp dan Pcp Balok Bordes 30/40	216
Gambar 4. 25 Penulangan Balok Bordes 30/40	233
Gambar 4. 26 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	235
Gambar 4. 27 Peninjauan Letak Balok Anak Memanjang	243
Gambar 4. 28 Tinggi Efektif Balok anak Memanjang	244
Gambar 4. 29 Luasan Acp dan Pcp Balok Anak Memanjang 30/40	246
Gambar 4. 30 Penulangan Balok Anak Memanjang 30/40	264
Gambar 4. 31 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	266
Gambar 4. 32 Peninjauan Letak Balok Anak Melintang 25/35 .	274

Gambar 4. 33 Tinggi Efektif Balok Anak Melintang 25/35	275
Gambar 4. 34 Luasan Acp dan Pcp Balok Anak Melintang 25/35	277
Gambar 4. 35 Penulangan Balok Anak Melintang 25/35	294
Gambar 4. 36 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	296
Gambar 4. 37 Peninjauan Letak Sloof AS 5 (A – B).....	304
Gambar 4. 38 Tinggi Efektif Balok Sloof 45/65	305
Gambar 4. 39 Luasan Acp dan Pcp Balok Sloof 40/60	307
Gambar 4. 40 Penulangan Sloof 45/65	324
Gambar 4. 41 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	326
Gambar 4. 42 Tinggi Efektif Kolom.....	335
Gambar 4. 43 Denah Posisi Kolom K -1 (50/50) pada AS A – 5	335
Gambar 4. 44 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom (Rangka Tidak Bergoyang dan Rangka Bergoyang).....	342
Gambar 4. 45 Diagram interaksi menentukan ρ_{perlu}	346
Gambar 4. 46 Cek kondisi balance Kolom arah X	348
Gambar 4. 47 Kontrol kondisi tekan Kolom arah X	350
Gambar 4. 48 Diagram interaksi Menentukan pperlu Kolom arah Y	354
Gambar 4. 49 Cek kondisi Balance Kolom arah Y	356
Gambar 4. 50 Kontrol kondisi tekan Kolom arah Y	358
Gambar 4. 51 Penampang Kolom K1	360
Gambar 4. 52 Grafik Akibat Momen pada PCACOL.....	361
Gambar 4. 53 Grafik Akibat Momen pada PCACOL dengan Grid	362
Gambar 4. 54 Hasil Output Pada Pcacolumn	362
Gambar 4. 55 Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM	364
Gambar 4. 56 Lintang Rencana untuk SRPMM.....	364
Gambar 4. 57 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar	369
Gambar 4. 58 Dimensi Pile cap Pondasi Tipe 1	381
Gambar 4. 59 Pengaruh Beban Aksial dan Momen.....	382
Gambar 4. 60 Area Kritis di sekitar Kolom	385
Gambar 4. 61 Penualangan Pile cap dan Potongan Pile cap 1 ..	388

Gambar 4. 62 Dimensi Pile cap.....	389
Gambar 4. 63 Pengaruh Beban Aksial dan Momen	390
Gambar 4. 64 Area Kritis di sekitar Kolom.....	393
Gambar 4. 65 Penulangan Pile cap 2 dan Potongan Pile cap 2.....	396
Gambar 4. 66 Tiang Pancang.....	401
Gambar 4. 67 Bagan Alir Prosedur Pekerjaan Balok dan Pelat Struktur	404
Gambar 4. 68 Mendirikan Scafolding.....	405
Gambar 4. 69 Penyetelan U - Head	405
Gambar 4. 70 Mendirikan Scafolding.....	406
Gambar 4. 71 Mendirikan Scafolding.....	406
Gambar 4. 72 pemasangan Horrie beam	407
Gambar 4. 73 Fabrikasi Bekisting	407
Gambar 4. 74 Pemasangan Bodeman	408
Gambar 4. 75 Pemasangan Tembereng.....	409
Gambar 4. 76 Pemasangan Gelagar.....	409
Gambar 4. 77 Pemasangan Multiplek Pelat.....	410
Gambar 4. 78 Pemotongan Besi.....	411
Gambar 4. 79 Pembengkokan Besi.....	411
Gambar 4. 80 Pemasangan Tulangan.....	412
Gambar 4. 81 Pengukuran Jarak Begel.....	412
Gambar 4. 82 Pemasangan Begel.....	413
Gambar 4. 83 Pemasangan Bendrat.....	413
Gambar 4. 84 Pemasangan Tulangan Pelat Lapis Bawah.....	414
Gambar 4. 85 Pemasangan Decking dan Kawat Bendrat.....	414
Gambar 4. 86 Pemasangan Tulangan Pelat Lapis Atas.....	415
Gambar 4. 87 Pengukuran Elevasi	415
Gambar 4. 88 Sketsa Pengukuran Elevasi	415
Gambar 4. 89 Pemasangan Stop Cor	417
Gambar 4. 90 Pembersihan Area dan Pemberian Lem Perekat .	418
Gambar 4. 91 Pembersihan dengan Pompa	419
Gambar 4. 92 Pengisian Beton pada Bucket.....	419
Gambar 4. 93 Pengangkatan Bucket.....	420
Gambar 4. 94 Penuangan.....	420
Gambar 4. 95 Penggunaan Vibrator	421

Gambar 4. 96 Perataan Hasil Cor setelah Vibrator	421
Gambar 4. 97 Curing Pelat	422
Gambar 4. 98 Pembongkaran Bekisting	422

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Peraturan yang Digunakan	5
Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa, dan Es	10
Tabel 2. 3 Faktor Arah Angin (Kd)	12
Tabel 2. 4 Faktor Topografi (Kzt)	14
Tabel 2. 5 Koefisien Tekanan Internal (GCpi)	15
Tabel 2. 6 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (Kh dan Kz).	16
Tabel 2. 7 Konstanta Eksposur Daratan	17
Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs	20
Tabel 2. 9 Koefisien Situs, Fa	23
Tabel 2. 10 Koefisien Situs, Fv	23
Tabel 2. 11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan Ct dan x	25
Tabel 2. 12 Kategori Resiko	26
Tabel 2. 13 Faktor Keutamaan Gempa.....	26
Tabel 2. 14 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa	26
Tabel 2. 15 Tebal Minimum Balok Non Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan tidak Dihitung	29
Tabel 2. 16 Rasio Penulangan Pelat.....	33
Tabel 4. 1 Data SPT Tanah Bangunan	69
Tabel 4. 2 Klasifikasi Situs	70
Tabel 4. 3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Bangunan untuk Beban Gempa	71
Tabel 4. 4 Faktor Keutamaan Gempa	71
Tabel 4. 5 Parameter Percepatan Gempa Peta Hazard Gempa Indonesia 2010	71
Tabel 4. 6 Koefisien Situs, Fa	71
Tabel 4. 7 Koefisien Situs, Fv	72
Tabel 4. 8 Kategori Desain Seismik, SDS	73
Tabel 4. 9 Kategori Desain Seismik, SD1	73
Tabel 4. 10 Nilai Parameter Perioda Pendekatan Ct dan x	74
Tabel 4. 11 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang dihitung.....	75

Tabel 4. 12 Faktor Arah Angin, Kd	98
Tabel 4. 13 Koefisien Tekanan Dinding, Cp	99
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Beban Angin pada setiap Lantai.....	101
Tabel 4. 15 Gaya Gempa.....	103
Tabel 4. 16 Beban Reaksi Lift	108
Tabel 4. 17 Penyelesaian Perhitungan Cross	135
Tabel 4. 18 Rekapitulasi Penulangan Kolom.....	372
Tabel 4. 19 Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom.....	375
Tabel 4. 20 Jumlah Tulangan Yang Dibutuhkan.....	376
Tabel 4. 21 Rekapitulasi Jumlah Bengkokan dan Kaitan.....	376
Tabel 4. 22 Daya dukung ijin borpile	377
Tabel 4. 23 Gaya aksial tiap joint	379

DAFTAR NOTASI

A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_n	= Luas bersih penampang (mm^2)
A_{tp}	= Luas penampang tiang pancang (mm^2)
A_l	= Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
$A_{s'}$	= Luas tulangan tekan (mm^2)
A_t	= Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2)
A_v	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau luasan tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2)
b	= Lebar daerah tekan komponen struktur (mm)
bo	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maximum pada pondasi (mm)
bw	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm) ke garis netral (mm)
C_m	= Faktor lain yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekivalen
C_t	= $bn.d / \Sigma x.2y$, faktor yang menghubungkan sifat tegangan geser
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
d'	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)
db	= Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategangan (mm)
D	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
e	= Eksentrisitas gaya terhadap sumbu (mm)
E	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)

E_s	= Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)
EI	= Kekuatan lentur komponen struktur tekan
F	= Lendutan yang diijinkan (mm)
f_c'	= Kekuatan tekan beton (MPa)
f_y	= Kuat leleh baja yang disyaratkan (MPa)
h	= Tebal atau tinggi total komponen struktur (mm)
I	= Momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor (mm^4)
I_x	= Momen inersia terhadap sumbu x (mm^4)
I_y	= Momen inersia terhadap sumbu y (mm^4)
I_g	= Momen inersia penampang bruto terhadap garis sumbunya dengan mengabaikan tulangannya (mm^4)
K	= Faktor panjang efektif komponen struktur tekan
L	= Panjang bentang balok (mm)
l_b	= Panjang penyaluran (mm)
l_{db}	= Panjang penyaluran dasar (mm)
l_{hb}	= Panjang penyaluran kait (mm)
l_{dh}	= Panjang kait (mm)
l_x	= Ukuran bentang terkecil pelat (mm)
l_y	= Ukuran bentang terbesar pelat (mm)
M_u	= Momen terfaktor (N-mm)
M_n	= Momen nominal (N-mm)
M_{tx}	= Momen tumpuan arah sumbu x (N-mm)
M_{ty}	= Momen tumpuan arah sumbu y (N-mm)
M_{lx}	= Momen lapangan arah sumbu x (N-mm)
M_{ly}	= Momen lapangan arah sumbu y (N-mm)
M_{1b}	= Nilai yang lebih kecil dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisa rangka elastis konvensional, positif bila komponen struktur melengkung dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melengkung dalam kelengkungan ganda
M_{2b}	= Nilai yang lebih besar dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan yang tidak menimbulkan

	goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisa rangka elastis konvensional (N-mm)
P_b	= Kuat beban aksial nominal dalam kondisi regangan seimbang (N)
P_c	= Baban kritis (N)
P_n	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (S)
S	= Jarak sengkang (mm)
S_{max}	= Jarak maksimum sengkang yang diijinkan (mm)
T_c	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (N-mm)
T_n	= Kuat torsi nominal (N-mm)
T_s	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (N-mm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm)
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (N)
V_n	= Kuat geser nominal (N)
V_s	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
V_u	= Gaya geser terfaktor pada suatu penampang (N)
x	= Dimensi pendek dari bagian berbentuk persegi dari penampang (mm)
y	= Dimensi panjang dari bagian berbentuk persegi dari penampang (mm)
x_1	= Jarak dari pusat ke pusat yang pendek dari sengkang tertutup (mm)
y_1	= Jarak dari pusat ke pusat yang panjang dari sengkang tertutup (mm)
α	= Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur suatu pelat dengan lebar yang dibatasi dalam arah lateral oleh sumbu dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi dari balok
α_m	= Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel

βd	= Rasio beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor, dimana beban yang ditinjau hanyalah beban gravitasi dalam menghitung P_c
βc	= Perbandingan sisi kolom terpanjang dengan sisi kolom terpendek
ρb	= Rasio tulangan tarik non pratekan
ρ_{max}	= Rasio tulangan tarik maksimum
ρ_{min}	= Rasio tulangan tarik minimum
ρ'	= Rasio tulangan tekan pada penampang bertulangan ganda
φ	= Faktor reduksi kekuatan
σ	= Tegangan ijin baja (kg/cm^2)
σo	= Tegangan yang terjadi pada suatu penampang (kg/cm^2)
τ	= Tegangan geser yang diijinkan (kg/cm^2)
τo	= Tegangan geser pada suatu penampang (kg/cm^2)
δns	= Faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
δs	= Faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi
ε	= Regangan (mm)
εc	= Regangan dalam beton (mm)
εcu	= Regangan beton maksimum di mana terjadi keretakan(mm)
εs	= Regangan pada baja tarik (mm)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dasar dari perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah untuk menghasilkan suatu struktur yang cukup kuat, dan aman saat terjadi gempa pada struktur tersebut. Oleh karena itu, bangunan harus di desain secara khusus untuk dapat menahan gempa yang terjadi sesuai dengan SNI 1726-2012.

Berdasarkan SNI 1726 – 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, ada beberapa sistem struktur yang dapat diterapkan dalam bangunan untuk menahan gempa, salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Di dalam SRPM ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik C, dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

Pada penyusunan tugas akhir terapan ini menggunakan Bangunan Gedung Graha Perkantoran STC yang terletak di Kabupaten Sumenep. Bangunan ini terdiri dari 9 lantai. Gedung Graha Perkantoran STC menggunakan Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Namun dalam penyusunan tugas akhir terapan ini berdasarkan batasan dan standart kompetensi pada Program Studi Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil, maka perencanaan struktur Gedung Graha Perkantoran STC direncanakan dengan ketinggian bangunan 5 lantai. Sistem yang digunakan dimodifikasi menjadi Single Sistem yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

Metode untuk merencanakan perhitungan gempa yang digunakan yaitu analisis statik ekuivalen, sesuai dengan

Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Perencanaan bangunan gedung Graha Perkantoran STC Sumenep ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). SRPMM adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen – komponen strukturnya dapat menahan gaya – gaya yang bekerja melalui aksi, lentur, geser dan yang selain memenuhi ketentuan – ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa sesuai dengan SNI 03-2847-2013. Sehingga struktur dapat merespon gempa kuat tanpa mengalami keruntuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dihadapi dalam penyusunan laporan tugas akhir terapan ini adalah:

1. Bagaimana cara merencanakan dimensi struktur gedung (*preliminary design*).
2. Bagaimana merencanakan struktur pada bangunan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.
3. Bagaimana merencanakan pondasi sesuai dengan jenis tanah pada bangunan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan laporan tugas akhir terapan ini adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan gedung ini hanya meninjau strukturnya saja, tidak meninjau analisa biaya, manajemen konstruksi, maupun segi arsitektural dan struktur Lift.
2. Analisis beban gempa menggunakan statik ekivalen.
3. Perhitungan struktur hanya meninjau pada 2 portal yang telah ditentukan (portal memanjang dan melintang) pada satu blok bangunan.
4. Perencanaan ini tidak membahas tentang sistem utilitas bangunan, pembuangan saluran air bersih, instalasi AC, finishing dan lain – lain.

1.4 Maksud

Maksud dari penyusunan tugas akhir terapan ini adalah sebagai syarat kelulusan tahap diploma dan juga sebagai standar kompetensi perancana struktur, yang mampu menerapkan perhitungan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) untuk perencanaan struktur Gedung Graha Perkantoran STC dan diaplikasikan ke dalam gambar perencanaan.

1.5 Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir terapan ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menghasilkan sebuah laporan perhitungan struktur gedung dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang dapat di pertanggung jawabkan dan sesuai dengan aturan yang ada dan juga sesuai dengan sistematika penulisan laporan yang ada.
2. Dapat merencanakan penulangan struktur gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Dapat mengaplikasikan dan menyajikan hasil perhitungan perencanaan ke dalam gambar teknik.

1.6 Manfaat

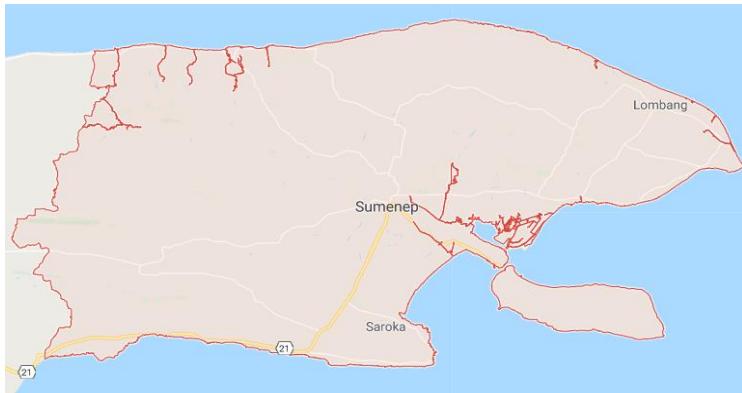
Manfaat dari penyusunan tugas akhir terapan ini adalah:

1. Bagi penulis, dapat mengetahui cara perhitungan struktur gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Bagi pembaca, mampu memberikan bahan bacaan berupa laporan perhitungan struktur dan gambar rencana dari gedung Graha Perkantoran STC Sumenep dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Bagi pembaca, diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi secara lebih detail dalam tata cara

perencanaan struktur beton bertulang dengan berdasarkan aturan - aturan dan pedoman yang berlaku.

1.7 Lokasi Studi

Gedung Graha Perkantoran STC Sumenep terletak di Kabupaten Sumenep, dengan peta lokasi sebagai berikut:



Gambar 1. 1 Letak Proyek Gedung Perkantoran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam menyelesaikan perhitungan struktur bangunan ini agar dapat memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh sebuah gedung maka, pada bab ini akan dijelaskan secara garis besar mengenai teori dan syarat - syarat perencanaan yang digunakan.

2.1 Peraturan yang Digunakan

Perhitungan Struktur gedung Graha Perkantoran STC Sumenep ini mengacu pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2. 1 Peraturan yang Digunakan

NO	PERATURAN	TENTANG
1	SNI 2847-2013	Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung
2	SNI 1727-2013	Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain
3	SNI 1726-2012	Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung
4	PBBI 1971	Peraturan Beton Bertulang Indonesia

2.2 Data Umum Proyek

Data Proyek pembangunan Gedung Perkantoran STC Sumenep adalah sebagai berikut:

Nama Proyek : Proyek Perkantoran STC Sumenep

Alamat Proyek : Kabupaten Sumenep

Pemilik Proyek : PT. STC

Kontraktor : PT. STC

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen, atau Moment Resisting Frame. Istilah ini sering kita dengar pada pembahasan mengenai struktur gedung tahan gempa. SRPM merupakan salah satu "pilihan" sewaktu

merencanakan sebuah bangunan tahan gempa. Ciri-ciri SRPM antara lain: Beban lateral khususnya gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Jadi, peranan balok, kolom, dan sambungan balok kolom di sini sangat penting; Tidak menggunakan dinding geser. Kalaupun ada dinding, dinding tersebut tidak didesain untuk menahan beban lateral; Tidak menggunakan bresing (bracing). Dalam hal ini, bangunan tersebut dapat dianalisis sebagai SRPM pada arah sumbu kuat kolom. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, D, E, dan F.

Prinsip dari sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) yaitu:

1. Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur
 - Keruntuhan geser bersifat mendadak (tidak memberi kesempatan penghuni untuk menyelamatkan diri) => harus dihindari
 - Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasar kapasitas tulangan lentur terpasang (bukan dari hasil analisa struktur)
 - Balok dipaksa runtuh akibat lentur terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur
2. Strong column weak beam (Kolom kuat balok lemah)
 - Kerusakan dipaksakan terjadi pada balok
 - Hubungan Balok Kolom harus didesain sesuai persyaratan gempa

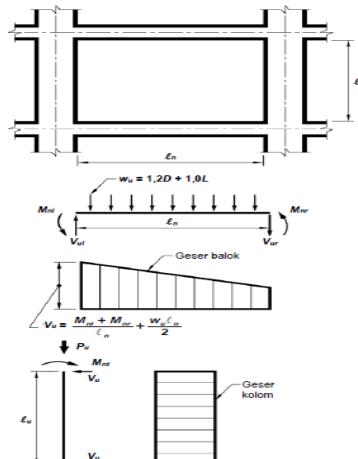
2.3.1 Ketentuan Struktur Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Syarat-syarat dan perumusan yang dipakai pada perencanaan komponen struktur dengan sistem rangka pemikul momen menengah menurut SNI-03-2847-2013:

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan pasal 21.3.4 bila gaya tekan aksial terfaktor, P_u , untuk komponen struktur yang tidak melebihi ($A_g f_c' / 10$). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi ($A_g f_c' / 10$), maka detail tulangan rangka harus memenuhi 21.3.5. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail tulangan pada sebarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh E harus memenuhi pasal 21.3.6.
2. Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:
 1. ΦV_n balok yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b) pasal 21.3.3.1:
 - a. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor (Gambar 2.1).
 - b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.
 2. ΦV_n kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b) pasal 21.3.3.2:
 - a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang

dari Panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi (Gambar 2.1).

- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh Ω_o .



Gambar 2. 1 (S21.3.3) Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah

2.4 Pembebanan

Beban adalah gaya atau akksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Dalam perencanaan bangunan ada beberapa jenis beban yang harus ditinjau yaitu:

2.4.1 Beban Mati (Dead Load)

Berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, kladding gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan

termasuk berat keran. Sesuai *SNI 1727-2013 pasal 3.1.1.* Berikut adalah beban-beban mati yang diperhitungkan:

1. Beban mati pada pelat atap:
 - a) Berat sendiri pelat
 - b) Beban plafond
 - c) Beban instalasi listrik, AC, dll
2. Beban mati pada pelat lantai:
 - a) Berat sendiri pelat
 - b) Beban keramik
 - c) Beban spesi
 - d) Beban plafond
 - e) Beban instalasi listrik, AC, dll
3. Beban mati pada pelat lantai lobby:
 - a) Berat sendiri pelat
 - b) Beban keramik
 - c) Beban spesi
 - d) Beban plafond
 - e) Beban instalasi listrik, AC, dll
4. Beban mati pada balok:
 - a) Berat sendiri balok
 - b) Beban mati pelat atap / pelat lantai
 - c) Berat dinding
5. Beban mati pada pelat tangga
 - a) Beban anak tangga
 - b) Beban keramik
 - c) Beban spesi

2.4.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban kontruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Sesuai *SNI 1727-2013 pasal 4.1-6.*

2.4.3 Beban Hidup Atap

Beban pada atap yang diakibatkan (1) pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan meterial dan (2)

selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian. Sesuai SNI 1727-2013 pasal 4.1-7.

2.4.4 Beban Angin

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan kladding gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut Pasal 26 sampai Pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini. Sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.1.1.

a. Kategori risiko bangunan

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa, dan Es

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan. Bangunan gedung dan	III

<p>struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya,bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.</p>	
<p>Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis^a. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.</p>	IV

Catatan:

*Jenis bangunan sesuai dengan Tabel 1 SNI 1726-2012

Bangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap Kategori Risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya. Pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan Kategori Risiko.

b. Kecepatan angin dasar (V)

Kecepatan angin dasar dan arah angin didapatkan dari BMKG Jawa Timur <http://meteo.bmkg.go.id>

c. Parameter beban angin

- Faktor arah angin (K_d)

Faktor arah angin, K_d , harus ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. 3 Faktor Arah Angin (Kd)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d*
Bangunan Gedung Sistem Penahan Beban Angin Utama Komponen dan Kladding Bangunan Gedung	0,85 0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama Segi empat Segi enam Bundar	0,90 0,95 0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85

Rangka batang menara Segi tiga, segi empat, persegi panjang Penampang lainnya	0,85 0,95
---	--------------

- * Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2.
- * Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.
- Kategori eksposur
 1. **Eksposur B:** Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500ft (457m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.
 2. **Eksposur C:** Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau D tidak berlaku.
 3. **Eksposur D:** Eksposur D berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagai mana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara katagori exposure, harus menggunakan hasil katagori di gaya angin terbesar.
 4. **Pengecualian:** Eksposur menengah antara kategori sebelumnya diperbolehkan di zona transisi asalkan itu

ditetukan oleh metode analisis rasional yang dijelaskan dalam literatur dikenal.

- Faktor topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam tabel di bawah ini. Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan, $K_{zt}=1,0$.

Tabel 2. 4 Faktor Topografi (Kzt)

Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing							
Bentuk bukit	K1/(H /Lh)			γ	μ		
	Eksposur				Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak	
	B	C	D				
Bukit memanjang 2-dimensi (atau lembah dengan negatif H dalam $K1/(H/Lh)$)	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5	
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4	
Bukit simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5	

- Faktor efek tiupan angin (G)

- Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.
- Untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung atau struktur lain adalah kaku atau fleksibel, frekuensi alami fundamental, n_1 , harus ditetapkan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen penahan

dalam analisis yang dibuktikan secara benar. Bangunan bertingkat rendah diizinkan untuk dianggap kaku.

- Klasifikasi ketertutupan

Untuk menentukan koefisien tekanan internal, semua bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, tertutup sebagian, atau terbuka. Jika sebuah bangunan memenuhi definisi bangunan "terbuka" dan "tertutup sebagian", harus diklasifikasikan sebagai bangunan "terbuka". Suatu bangunan yang tidak memenuhi definisi bangunan "terbuka" atau "tertutup sebagian" harus diklasifikasikan sebagai bangunan "tertutup".

- Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan Internal, (GC_{pi}), harus ditentukan dari Tabel di bawah ini berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung.

Tabel 2.5 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Sistem Penahan Beban Angin Utama dan Komponen Dampingan		Seluruh Keunggulan
Tabel 2.5-1 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})		Dinding & Atap
Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, dan Terbuka		
Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})	
Bangunan gedung terbuka	0,00	
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55	
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18	

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi daripermukaan internal.
2. Nilai (GC_{pi}) harus digunakan dengan q_a atau q_s , seperti yang ditetapkan.
3. Dua kasus harus dipertimbangkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - (i) nilai positif dari (GC_{pi}) diterapkan untuk seluruh permukaan internal
 - (ii) nilai negatif dari (GC_{pi}) diterapkan untuk seluruh permukaan internal

d. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h)

Berdasarkan kategori eksposur yang telah ditentukan, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h , sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel di bawah ini. Untuk

situs yang terletak di zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, diizinkan untuk menggunakan nilai menengah dari K_z atau K_h , asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang tercantum dalam literatur yang dikenal.

Tabel 2. 6 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (Kh dan Kz)

Tinggi di atas level tanah, z ft (m)	Eksposur		
	B	C	D
0-15 (0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20 (6,1)	0,62	0,90	1,08
25 (7,6)	0,66	0,94	1,12
30 (9,1)	0,70	0,98	1,16
40 (12,2)	0,76	1,04	1,22
50 (15,2)	0,81	1,09	1,27
60 (18)	0,85	1,13	1,31
70 (21,3)	0,89	1,17	1,34
80 (24,4)	0,93	1,21	1,38
90 (27,4)	0,96	1,24	1,40
100 (30,5)	0,99	1,26	1,43
120 (36,6)	1,04	1,31	1,48
140 (42,7)	1,09	1,36	1,52
160 (48,8)	1,13	1,39	1,55
180 (54,9)	1,17	1,43	1,58
200 (61,0)	1,20	1,46	1,61
250 (76,2)	1,28	1,53	1,68
300 (91,4)	1,35	1,59	1,73
350 (106,7)	1,41	1,64	1,78
400 (121,9)	1,47	1,69	1,82
450 (137,2)	1,52	1,73	1,86
500 (152,4)	1,56	1,77	1,89

Catatan:

1. Koefisien eksposur tekanan velositas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:
Untuk $15 \text{ ft} \leq z \leq z_g$ Untuk $z < 15 \text{ ft}$

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha} \quad K_z = 2,01(15/z_g)^{2/\alpha}$$
2. α dan Z_g ditabulasi dalam Tabel 26.9.1.
3. Interpolasi linier untuk nilai menengah tinggi z yang sesuai.
4. Kategori eksposur yang ditetapkan dalam Pasal 26.7

Tabel 2. 7 Konstanta Eksposur Daratan

Eksposur	α	Z_0 (ft)	\hat{a}	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (ft)	$\bar{\epsilon}$	Z_{\min} (m)*	Dalam metrik
			1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0		9,14
B	7,0	365,76									
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0		4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0		2,13

* Z_{\min} = tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekivalen \bar{z} yang lebih besar dari $0,6h$ atau Z_{\min} .

Untuk bangunan gedung dengan $h \leq Z_{\min}$, \bar{z} harus diambil sebesar Z_{\min} .

e. Tekanan velositas (q atau q_h)

Tekanan velositas, q_z , dievaluasi pada ketinggian z harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_z = 0,00256 K_z K_{zt} K_d V_2 (\text{lb}/\text{ft}^2)$$

Dalam SI: $q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V_2 (\text{N}/\text{m}^2)$; V dalam m/s dimana:

K_d = faktor arah angin

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas

K_{zt} = faktor topografi tertentu

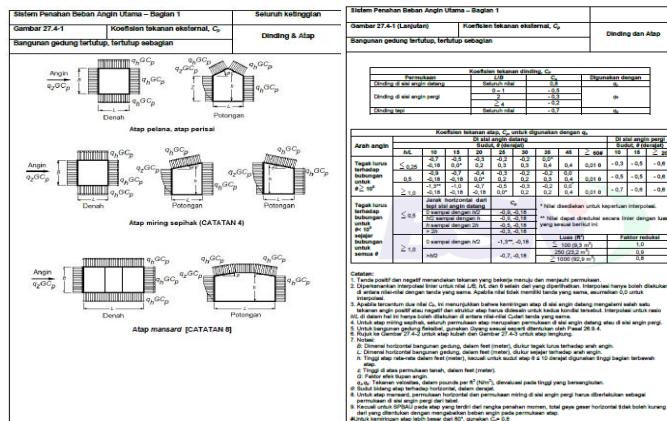
V = kecepatan angin dasar

Q_z = tekanan velositas dihitung pada ketinggian z

Q_h = tekanan velositas dihitung pada ketinggian atap rata-rata h .

Koefisien numerik 0,00256 (0,613 dalam SI) harus digunakan kecuali bila ada data iklim yang tersedia cukup untuk membenarkan pemilihan nilai yang berbeda dari koefisien ini untuk aplikasi desain.

f. Koefisien tekanan eksternal (C_p atau C_N)



Gambar 2. 2 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

g. Tekanan angin (p)

Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung fleksibel harus ditentukan persamaan berikut:

$$p = q GC_p - q_i(GC_{pi})(lb/ft^2)(N/m^2)$$

di mana:

$q = q_z$ untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z diatas permukaan tanah

$q = q_h$ untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian h

$q_i = q_h$ untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bagunan gedung tertutup untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian.

$q_i = q_z$ untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah berpartikel terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak harus

diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan Pasal 26.10.3. Untuk menghitung tekanan internal positif, q_i secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian h ($q_i = q_h$)

G = faktor efek-tiupan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

($GCpi$) = koefisien tekanan internal

q dan q_i harus dihitung dengan menggunakan eksposur. Tekanan harus diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan disisi angin pergi pada permukaan atap seperti ditetapkan dalam gambar di bawah ini.

2.4.5 Beban Gempa

a. Gempa Rencana

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 10 persen. *SNI 1726-2012 Pasal 6.10.2.1*

b. Perhitungan Gempa

- Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata – rata (\bar{N}_{SPT}). *SNI 1726-2012 Pasal 5.4.2*

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n ni}$$

- Dari nilai \bar{N}_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel berikut:

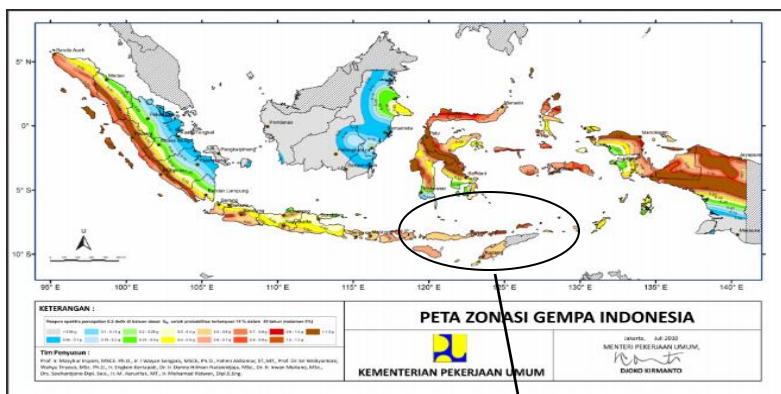
SNI 1726 – 2012 Pasal 5.3

Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	<175	<15	<50
SE (Tanah Lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik – situs yang mengikuti 6.10.1)	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasikan lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa 		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

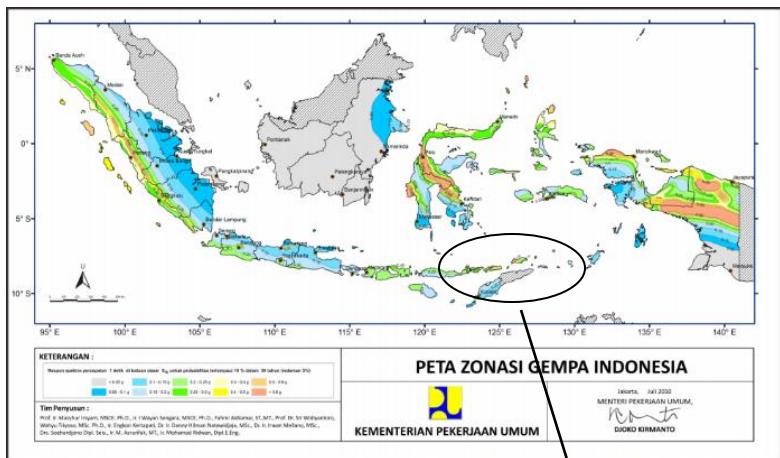
3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan **PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010**.



Gambar 2. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik (S_a) di batuan dasar (S_d) untuk probabilitas terlempui 10% dalam 50 tahun.



Gambar 2.3 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 detik (Ss) di bantuan dasar (Sa) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun



Gambar 3. Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_d) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



Gambar 2. 4 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_d) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun

4. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (Fa) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (Fv) berdasarkan tabel berikut: *SNI 1726-2012 pasal 6.2*

Tabel 2. 9 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF				SS^b	

Tabel 2. 10 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,25$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF				SS^b	

5. Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada periode 0,2 detik (S_{MS}).

Keterangan:

$$S_s = \text{parameter respons spektral percepatan gempa } MCE_R \text{ terpetakan untuk periode pendek 0,2 detik}$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

6. Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}).

Keterangan:

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periода 1,0 detik

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

7. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 0,2 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

8. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

9. Kemudian menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan. *SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1*

$$T = C_t \times h_n^x$$

Keterangan:

h_n = Tinggi struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x

$C_t = 0,0466$

$x = 0,9$

Tabel 2. 11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan Ct dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

10. Membuat Respon Spektrum Gempa

- Untuk perioda lebih kecil T_0 , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS}$$

- Untuk perioda lebih besar T_s , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

11. Menentukan Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan. *SNI 1726-2012 Pasal 4.1.2*

Tabel 2. 12 Kategori Resiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan; rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Tabel 2. 13 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

12. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (R). SNI 1726 – 2012 Pasal 7.2.2.

Tabel 2. 14 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon, R	Faktor Kuat-lebih sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, Cd	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, hn (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
6. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

13. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V)

$$V = C_s \times W$$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{Ie}\right)}$$

Sehingga,

$$V = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{Ie}\right)} \times W$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan *SNI 1726 – 2012 pasal 7.8.1.1*

W = berat seismik efektif menurut *SNI 1726 – 2012 Pasal 7.7.2*

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam *SNI 1726 – 2012 pasal 6.3 atau pasal 6.9*

R = faktor modifikasi respons dalam *tabel 2.8*

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan *SNI 1726 – 2012 pasal 4.1.2*

14. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik per Lantai (F)
15. Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut: *SNI 1726 – 2012 pasal 7.8.3*

$$F_x = C_{vx} \times V$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k}$$

Sehingga,

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \times V$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x .

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut: untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k=1$. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$. Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

16. Input ke dalam SAP 2000 gaya geser dasar seismik per lantai

2.4.6 Kombinasi Pembebatan

Beban beban yang ada harus dikombinasikan agar mendapatkan kekuatan perlu (U) bangunan. Berikut adalah kekuatan perlu dari kombinasi beban terfaktor berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.2.1:

$$U = 1,4D$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$$

$$U = 0,9D + 1,0W$$

$$U = 0,9D + 1,0E$$

2.5 Pelat

2.5.1 Perencanaan Ketebalan Pelat

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

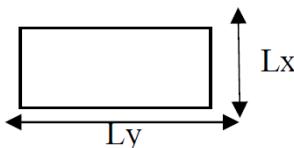
➤ Perencanaan pelat satu arah (oneway slab)

Pelat satu arah terjadi apabila $ly/lx > 2$

Lx = bentang pendek

Ly = bentang Panjang

Seperti pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 5 Dimensi Bidang Pelat

Tebal minimum yang ditentukan dalam tabel 2.11 berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.2.1 dibawah ini, berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak di satukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat di gunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

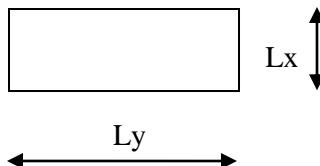
Tabel 2. 15 Tebal Minimum Balok Non Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan tidak Dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
Komponen struktur tidak menumpu atau tidak di hubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar				
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
CATATAN:				
Panjang bentang dalam mm				
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus di modifikasi sebagai berikut:				

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), W_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m^3 . Nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,003 W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09
- (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

➤ Perencanaan pelat dua arah (two wayslab)

Pelat dua arah terjadi apabila $L_y/L_x < 2$; dimana L_x adalah bentang pendek dan L_y adalah bentang panjang, seperti pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2. 6 Dimensi Bidang Pelat

Tebal pelat minimumnya harus memenuhi ketentuan pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

- Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ menggunakan pasal 9.5.3(2)
- Untuk $0,2 < \alpha_m < 2$ ketebalan minimum pelat harus memenuhi

$$h_1 = \frac{L_n \times \left[0.8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5\beta[\alpha_m - 0.2]}$$

Dan tidak boleh kurang dari 120 mm

- Untuk $\alpha_m \geq 2$ ketebalan minimum pelat harus memenuhi

$$h_2 = \frac{L_n \times \left(0.8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana :

l_n = Panjang bentang bersih pada arah memenjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok

f_y = Tegangan leleh

β = Rasio bentang berih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat

α_m = Nilai rata – rata dari α untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel

α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan af tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Persamaan 10 atau persamaan 11 harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Nilai α_m didapat dari

$$\alpha = \frac{E_{balok} I_{balok}}{E_{plat} I_{plat}} \quad I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} \quad I_{plat} = Ly \times \frac{hf^3}{12}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h_w} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h_w} \right)}$$

Perumusan untuk mencari lebar flens pada balok :

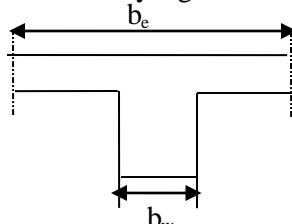
Balok Tengah:

Nilai be:

$$b_e = bw + 2(hw - hf)$$

$$be = bw + 8 hf$$

dari kedua nilai be tersebut diambil yang terkecil.



Gambar 2. 7 Balok Tengah

2.5.2 Analisa Gaya Dalam

Untuk mengetahui pelat tanpa balok tepi, pelat dengan balok tepi fleksibel ataupun pelat dengan balok tepi kaku dapat dilihat besarnya nilai rata-rata rasio kekakuan pelat dengan balok (α_m) sesuai buku desain Beton Bertulang oleh Chua-Kia Wang dan Charles G. Salmon jilid 2, penerbit Erlangga tahun 1992, Jakarta. Dan perhitungan momen – momen yang terjadi pada pelat berdasarkan perhitungan manual menggunakan acuan PBBI 1971 untuk pelat two way dan acuan SNI 2847-2013 untuk pelat one way.

2.5.3 Perhitungan Penulangan Pelat

- Analisis struktur pelat

Rasio kekakuan balok terhadap pelat diatur pada *SNI 2847-2013, Pasal 13.3.6:*

$$\alpha = \frac{Ecb \times Ib}{Ecp \times Ip} > 1$$

Dimana:

Ecb : modulus elastisitas balok beton

Ecp : modulus elastisitas pelat beton

Ib : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

Ip : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

- Rasio Penulangan Pelat

Tabel 2. 16 Rasio Penulangan Pelat

SUMBER	PERSAMAAN
<i>SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1</i>	$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
<i>SNI-03-2847-2013 Lampiran B.8.4.2</i>	$\rho b = \frac{0,85 \times \beta \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right)$
<i>SNI-03-2847-2013 Lampiran B.10.3.3</i>	$\rho_{max} = 0,75 \rho b$
<i>Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a</i>	$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}}$
<i>Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a</i>	$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$

Jika, $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%, sehingga:

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d$$

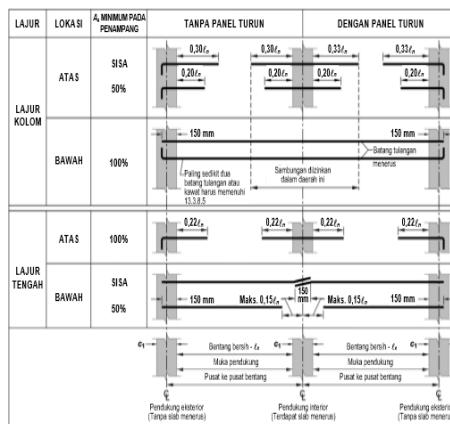
- b. Kontrol jarak spasi tulangan
Berdasarkan *SNI 2847-2013, Pasal 13.3.2*

$$S_{max} < 2 \times h$$

- c. Kontrol tulangan susut dan suhu

Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang, tetapi tidak kurang dari 0,0014 sesuai *SNI 2847-2013, Pasal 7.12.2.1*

- d. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal pelat atau tidak lebih jauh dari 450 mm sesuai *SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.2*
- e. Panjang penyaluran pelat tanpa balok harus mempunyai perpanjangan minimum sebagai berikut sesuai dengan gambar di bawah ini.



Gambar 2. 8 Perpanjangan Minimum untuk Tulangan pada Slab tanpa Balok

1. Penyaluran tulangan momen positif Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat tulangna momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan
2. Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus memenuhi ke tepi pelat paling sedikit 150 mm dalam balok, kolom atau dinding.
3. Penyaluran tulangan momen negatif Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik balok tidak kurang dari:
 1. D
 2. $12 d_b$
 3. $ln/16$
4. Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus dibengkokkan, diakit, atau jikalaup tidak diangkur dalam balok, kolom atau dinding dan harus disalurkan ke muka tumpuan.

2.6 Tangga

2.6.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes.
Merencanakan dimensi tanjakan dan injakan dengan:

$$60 \text{ cm} < (2t + i) < 65 \text{ cm}$$

Keterangan:

t = tinggi tanjakan < 25 cm

i = lebar injakan, dengan $25 \text{ cm} < i < 40 \text{ cm}$

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$
- Syarat sudut kemiringan tangga
 $25^\circ \leq \alpha \geq 40^\circ$
- Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$
- Jumlah injakan
 $n_i = n_t - 1$
- Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan luas segitiga:

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2}i \cdot t = \frac{1}{2}\sqrt{i^2 + t^2} \cdot d$$

Maka Tebal Efektif Pelat Tangga = Tebal Pelat Tangga Rencana + $\frac{1}{2}d$

2.6.2 Pembebanan Tangga

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4.3 pembebanan pada tangga sebagai berikut:

- a) Beban Mati
 - Berat sendiri
 - Spesi
 - Berat railing
 - Keramik
- b) Berdasarkan tabel 4-1 SNI 1727: 2013 Beban Hidup pada tangga adalah 133 kg/m^2

2.6.3 Penulangan Struktur Tangga

Penulangan pada pelat tangga dan pelat bordes menggunakan program bantu SAP 2000 untuk mencari momen yang bekerja pada slab. Prosedur perhitungan tangga dan bordes mengikuti perhitungan pelat. Kemudian di kontrol dengan perhitungan manual.

2.7 Ketentuan-Ketentuan Perhitungan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (*SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4*)

- Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint. *Pasal 21.3.4.1*.
- Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. *Pasal 21.3.4.2*.
Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):
 - $d/4$;
 - Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
 - 300 mm.
- Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. *Pasal 21.3.4.2*.

2.8 Kolom

2.8.1 Perencanaan dimensi kolom

$$\frac{I_{kolom}}{l_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{l_{balok}}$$

Dimana:

- I_{kolom} = inersia kolom ($1/12 \times b \times h^3$)
 l_{kolom} = tinggi bersih kolom

I_{balok} = inersia balok ($1/12 \times b \times h^3$)
 l_{balok} = tinggi bersih balok

2.8.2 Perhitungan Penulangan Kolom

1. Bedakan kolom dengan pengaku (*braced frame*) atau kolom tanpa pengaku (*unbraced frame*)
2. Hitung nilai faktor kekakuan kolom (Ei) berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1*

$$Ei = \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta d}$$

Dimana:

Ec = modulus elastisitas beton = $4700\sqrt{f_c'}$ MPa

Ig = momen inersia penampang kolom = $1/12 b.h^3$ mm⁴

Es = modulus elastisitas baja = 200.000 MPa

Ise = momen inersia tulangan terhadap pusat penampang

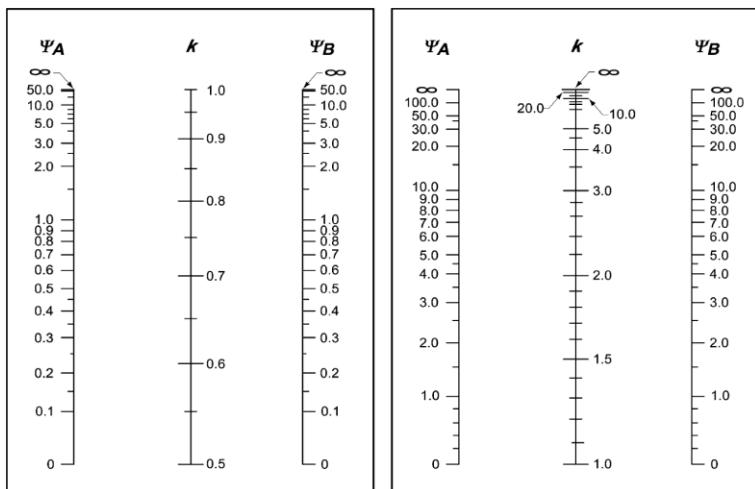
βd = rasio dari beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum.

3. Hitung faktor kekangan ujung kolom atas dan bawah (ψ_a dan ψ_b) berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7*

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right)_{balok}}$$

4. Hitung faktor panjang efektif

Dalam penerapannya dipergunakan nomogram seperti tampak pada gambar. Berdasarkan *pasal 10.10.1.1 SNI 2847:2013*



Gambar 2.9 Faktor Kekakuan Kolom

(a)portal tak bergoyang

(b)portal bergoyang

ψ = adalah rasio $\sum (EI/Lc)$ komponen struktur tekan terhadap $\sum (EI/L)$ komponen struktur lentur dalam suatu bidang di salah satu ujung komponen struktur tekan

L = panjang bentang komponen struktur lentur yang diukur pusat ke pusat pertemuan (*joint*).

5. Kontrol Kelangsungan

Pada saat perencanaan elemen kolom perlu ditetapkan apakah kolom yang kita rencanakan tergolong kolom pendek atau kolom langsing. Begitu pula perlu kita definisikan apakah tergolong kolom dengan pengaku (*braced*) ataukah kolom tanpa pengaku (*unbraced*), dengan itu perlu dilakukan kontrol sesuai dalam *SNI-03- 2847-2013, pasal 10.10*.

➤ Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k \cdot Lu}{r} \leq 22$$

➤ Untuk komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k \cdot L_u}{r} \leq 34 - 12(M_1/M_2) \leq 40$$

Dimana:

$$r = \sqrt{I/A}$$

M1 = momen terkecil ujung kolom

M2 = momen terbesar ujung kolom

6. Hitung beban kritis (P_c) berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6*

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(k \times L_u)^2}$$

7. Hitung faktor C_m berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6*.

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2}$$

Dimana:

C_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen merata ekuivalen

M1 = momen ujung terfaktor 1

M2 = momen ujung terfaktor 2

8. Faktor Pembesaran momen (δ_{ns} dan δ_s)

- Perhitungan untuk rangka portal tidak bergoyang berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6*

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}} \geq 1,0$$

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

- Perhitungan untuk rangka portal bergoyang berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7*

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c}} \geq 1$$

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

Dimana:

M_{1s} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur

tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M_{2s} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

- **Perhitungan Penulangan Lentur**

Hitung:

- Tentukan nilai β
- Nilai M_{ux} dan M_{uy} (nilai terbesar dari M_1 atau M_2)
- $\frac{P_u}{A_g}$ dan $\frac{\phi M_u}{A_g \times h}$
- ρ_{perlu} didapat dari diagram interaksi
- $A_s = \rho_{perlu} \times b \times h$
- Kontrol kemampuan kolom

$$\left(\frac{M_{ny}}{M_u}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{nx}}{M_u}\right)^\alpha \leq 1$$

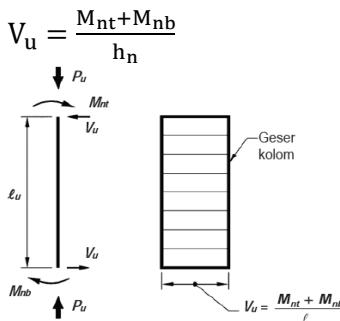
$$M^o \geq \frac{M_u}{\phi}$$

- **Perhitungan penulangan geser**

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.2*

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) (\lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d)$$

Untuk mendapatkan nilai V_u pada kolom dapat diperoleh dari rumus berikut:



Gambar 2. 10 Gaya Lintang pada Kolom

Sedangkan untuk pengecekan kondisi tulangan geser pada kolom menggunakan prinsip perhitungan sama dengan pada penulangan geser balok.

2.8.3 Ketentuan – Ketentuan Perhitungan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (*SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5*)

1. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi *so* sepanjang panjang *Lo* diukur dari muka joint. Spasi *so* tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):
 - a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
 - b. 24 kali diameter tulangan begel
 - c. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
 - d. 300mm

Panjang *l_o* tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut (e), (f), dan (g) :

- e. Seperenam tinggi bersih kolom
 - f. Dimensi terbesar penampang kolom
 - g. 450mm
2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari *so*/2 dari muka joint.
3. Di luar panjang *Lo*, spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.14.

4. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, *so*, seperti didefinisikan dalam 21.3.5.2 sepanjang tinggi penuh di bawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $Ag.fc'/10$. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $Ag.fc'/10$ harus ditingkatkan menjadi $Ag.fc'/4$. Tulangan transversal ini harus menerus di atas dan di bawah kolom seperti yang disyaratkan dalam 21.6.4.6(b).

2.9 Perhitungan Penulangan Struktur Pondasi

Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam perencanaan dimensi pondasi adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui data-data perencanaan
 - Kedalaman tiang pancang (h)
 - Diameter tiang pancang (d)
 - Keliling tiang pancang (K_{tp})
 - Luas penampang tiang pancang (A_{tp})
 - Luas Slimut tiang pancang (As)
 - Tebal selimut beton
 - Mutu beton pada poer (fc')
 - Mutu baja pada poer (fy)
- 2) Menghitung daya dukung tanah
- 3) Merencanakan tiang pancang
- 4) Merencanakan kelompok tiang pancang perhitungan pile
- 5) Merencanakan pilecap (poer) meliputi
 - Penulangan lentur poer
 - Penulangan geser poer
- 6) Menghitung panjang penyaluran tulangan kolom
- 7) Kontrol geser poer

BAB III

METODOLOGI PERENCANAAN

Metodologi dalam Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Graha Perkantoran STC Sumenep dengan menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut:

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan dan pencarian data untuk keperluan desain gedung, meliputi:

a. Data Gambar

Pengumpulan gambar rencana diperoleh gambar struktur dan arsitektur. Dimana nantinya gambar rencana tersebut digunakan untuk menentukan dimensi komponen – komponen struktur gedung.

b. Data Perencanaan

➤ Data Umum Bangunan

- Nama Gedung: Graha Perkantoran STC
- Lokasi: Kabupaten Sumenep Jawa Timur
- Luas Bangunan : $\pm 5.816,04 \text{ m}^2$
- Tinggi Bangunan : 19,25 m

➤ Data Bahan

- Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
- Baja Tulangan Lentur (f_y) : 400 Mpa
- Baja Tulangan Geser (f_{ys}) : 240 Mpa

c. Data tanah untuk perencanaan sebagaimana terlampir

d. Peraturan- peraturan dan buku penunjang lain sebagai dasar teori

- Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (**SNI 2847-2013**)
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (**SNI 1726-2012**)
- Peta Hazard Gempa Indonesia 2010
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia (**PBBI 1971**)

- e. Literatur dari beberapa sumber seperti buku penunjang dan peraturan perencanaan.

3.2 Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berkaitan dengan perancangan dan peraturan-peraturan yang dipakai pada perencanaan struktur gedung, antara lain:

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (*SNI 03-2847-2013*).
2. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung (*SNI 1726-2012*).
3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (*SNI 1727-2013*).
4. Peraturan Beton Bertulang Indonesia. 1971. (*PBBI 1971*)
5. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB
6. Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya: ITS Press.

3.3 Preliminary Desain

3.3.1 Penentuan dimensi balok

Perencanaan lebar efektif balok sesuai dengan *SNI 2847- 2013 Pasal 8.12*

3.3.2 Perencanaan dimensi kolom

Perencanaan dimensi kolom sesuai dengan *SNI 2847- 2013 Pasal 8.10*

3.3.3 Penentuan dimensi pelat

- a. Perencanaan pelat satu arah sesuai dengan *SNI 2847- 2013 Pasal 9.5.2*
- b. Perencanaan pelat dua arah sesuai dengan *SNI 2847- 2013 Pasal 9.5.3*
- c. Analisa gaya pada pelat sesuai dengan hasil output SAP 2000
- d. Penulangan pelat sesuai dengan *SNI 2847- 2013 Pasal 7*

e. Penulangan susut pada suhu sesuai dengan *SNI 2847-2013*
Pasal 7.12

3.3.4 Preliminary Tangga

Perencanaan tangga sesuai dengan acuan dan peraturan yang ada.

3.4 Perhitungan Pembebanan

3.4.1 Beban Mati

Menurut *SNI 1727-2013*, beban mati adalah berat seluruh bahan kontruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya.

3.4.2 Beban Hidup

Menurut *SNI 1727-2013*, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

3.4.3 Beban Angin

Perhitungan beban angin mengacu berdasarkan *SNI 1727-2013*, dimana ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (berupa angin hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negatif ini dinyatakan dalam satuan gaya per luas bidang.

3.4.4 Beban gempa

- a. Analisa beban gempa.
- b. Perhitungan gaya gempa menggunakan metode statik ekivalen yang mengacu *SNI 1726-2012*.
- c. Input gaya gempa menggunakan program bantu SAP 2000.

3.5 Analisa Gaya Dalam

3.5.1 Analisa Gaya Dalam (M,N,D)

3.5.2 Analisa Gaya Dalam Pelat

Untuk perhitungan momen yang terjadi pada pelat berdasarkan pada tabel 13.3.1 dan 13.3.2 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 dan juga *SNI 2847-2013*.

3.5.3 Analisa Gaya Dalam Balok

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada balok menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14.

3.5.4 Analisa Gaya Dalam Kolom

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada kolom, menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14 dan PCACOL 4.5.

Nilai gaya dalam diperoleh dengan menggunakan bantuan program komputer SAP 2000. Untuk struktur sekunder pelat lantai, nilai gaya dalam diperoleh berdasarkan tabel 13.3.1 pada peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

Untuk Analisa struktur tangga dihitung secara terpisah dari struktur utama. Kemudian reaksi perletakannya ditransfer sebagai beban pada struktur utama.

Nilai kombinasi yang digunakan sebagai Analisa adalah:

- 1,4 D
- 1,0 DL + 1,0 LL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL ± 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL ± 1,0 Ey
- 0,9 DL ± 1,0 Ex
- 0,9 DL ± 1,0 Ey

Keterangan:

DL : Beban mati

LL : Beban hidup

W : Beban angin

Ex : Beban gempa respons spectrum (bebani gempa dominan arah x)

E_y : Beban gempa respons spectrum (beban gempa dominan arah y)

3.6 Perhitungan tulangan Struktur

Komponen-komponen struktur di desain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 1726- 2012. Perhitungan meliputi:

1. Output SAP 2000 yang berupa momen lentur (M), momen torsi (T), gaya aksial (P) dan gaya geser (D).
2. Perhitungan penulangan geser, lentur, dan punter pada semua komponen struktur utama
3. Kontrol perhitungan penulangan
4. Membuat tabel penulangan yang terpakai pada elemen struktur yang di hitung (struktur atas dan struktur bawah)
5. Gambar detail penulangan

3.7 Cek Syarat

1. Pelat
 - a. Kontrol jarak spasi tulangan
 - b. Kontrol jarak spasi tulangan susut
 - c. Kontrol perlu tulangan susut
 - d. Kontrol lendutan
 - e. Kontrol retak
2. Balok
 - a. Kontrol M_n pasang $\geq M_n$ untuk penulangan lentur
 - b. Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 5 kondisi
3. Kolom
 - a. Kontrol kemampuan kolom
 - b. Kontrol momen yang terjadi M_n pasang $\geq M_n$

3.8 Gambar Rencana

3.8.1 Gambar Arsitektur

- a. Gambar denah
- b. Gambar tampak

3.8.2 Gambar Potongan

- a. Potongan memanjang
- b. Potongan melintang

3.8.3 Gambar Penulangan

- a. Gambar penulangan pelat

- b. Gambar penulangan tangga
- c. Gambar penulangan balok
- d. Gambar penulangan kolom
- e. Gambar penulangan sloof

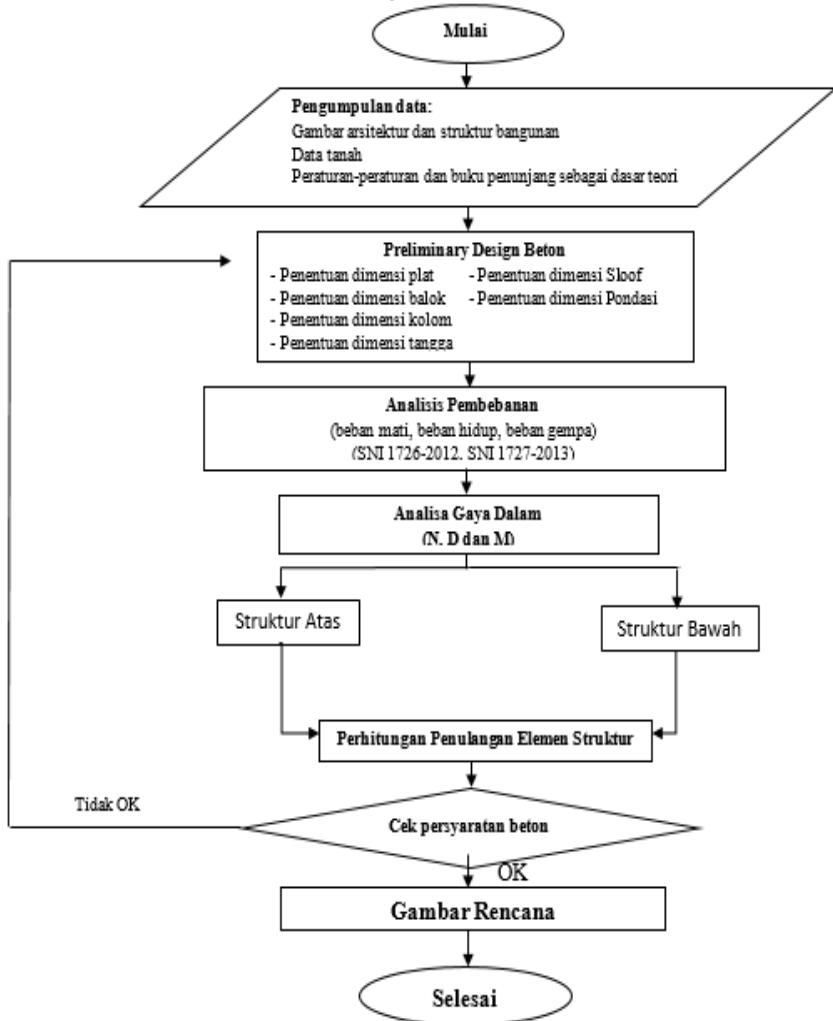
3.8.4 Gambar Detail

- a. Gambar detail panjang penyaluran
 - Panjang penyaluran plat lantai
 - Panjang penyaluran plat tangga
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran kolom
 - Panjang penyaluran sloof
 - Panjang penyaluran pondasi
 - Gambar detail penjangkaran tulangan
 - Gambar detail pondasi dan poer

3.8.5 Gambar Struktur

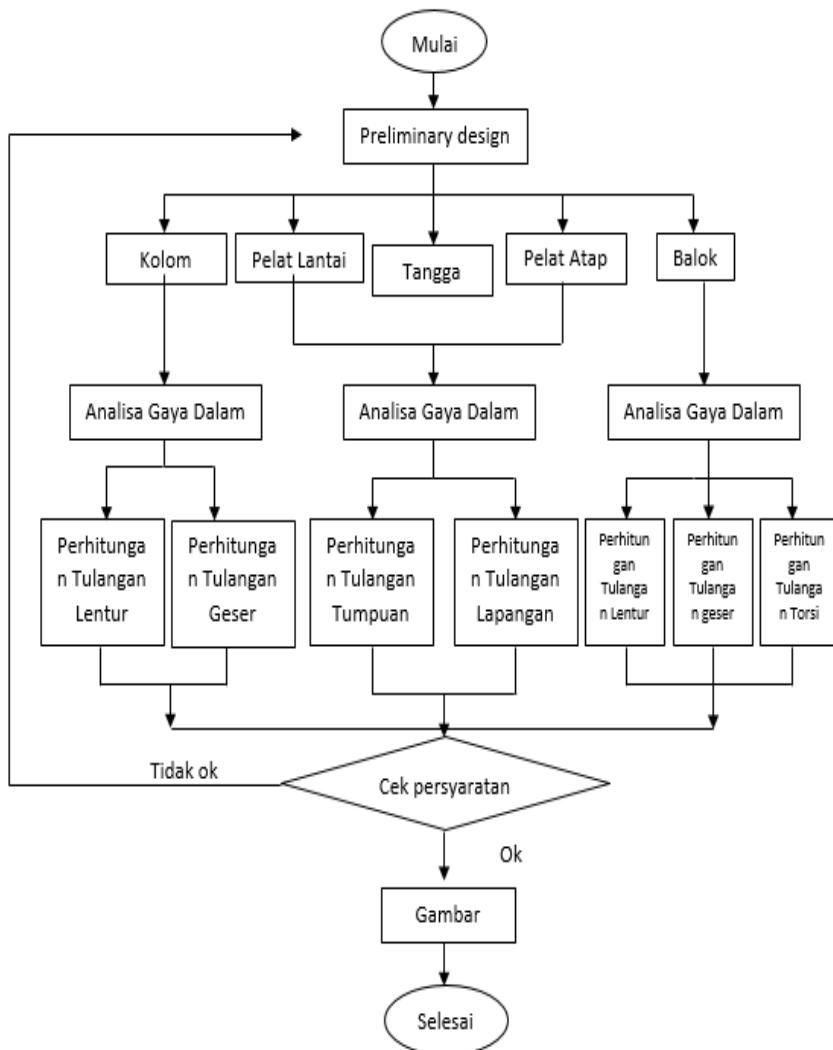
- a. Gambar balok
- b. Gambar kolom
- c. Gambar sloof
- d. Gambar pelat
- e. Gambar pondasi

3.9 Flow Chart Metodologi



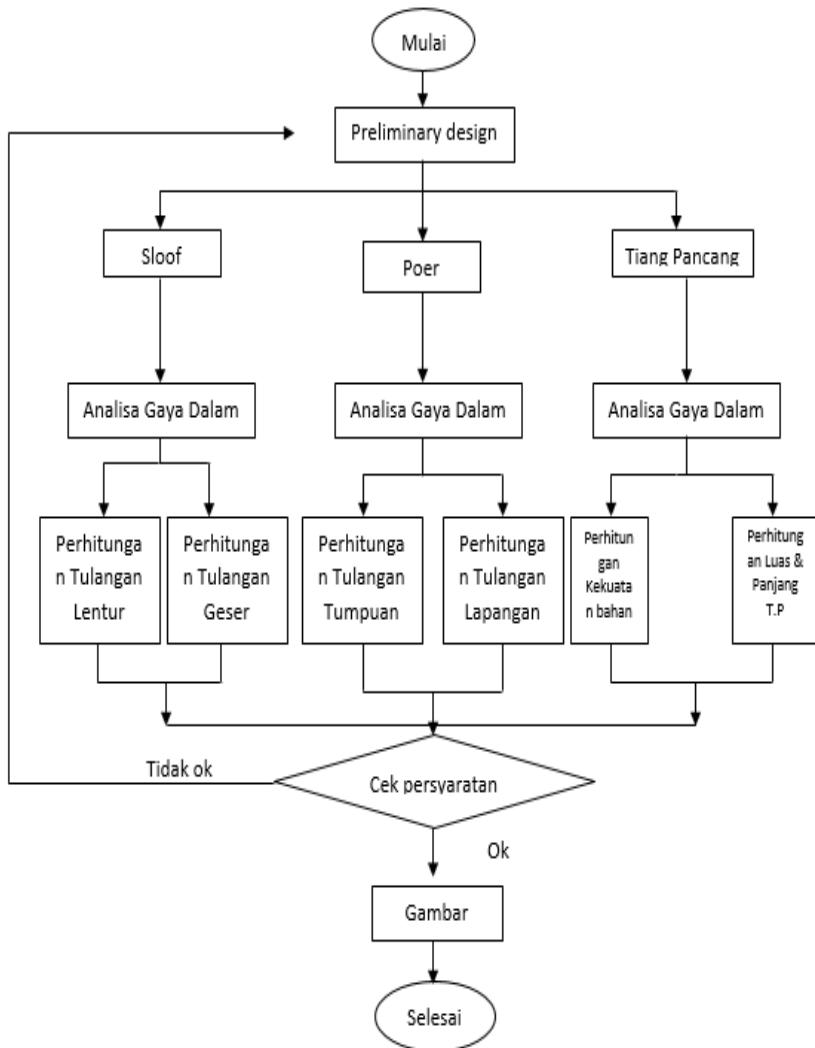
Gambar 3. 1 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan

3.9.1 Flow chart Struktur Atas



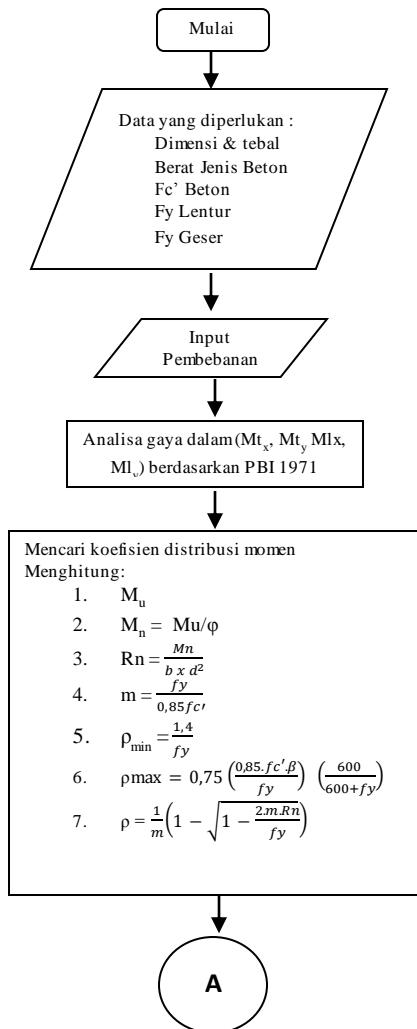
Gambar 3.2 Flow Chart Perencanaan Struktur Atas

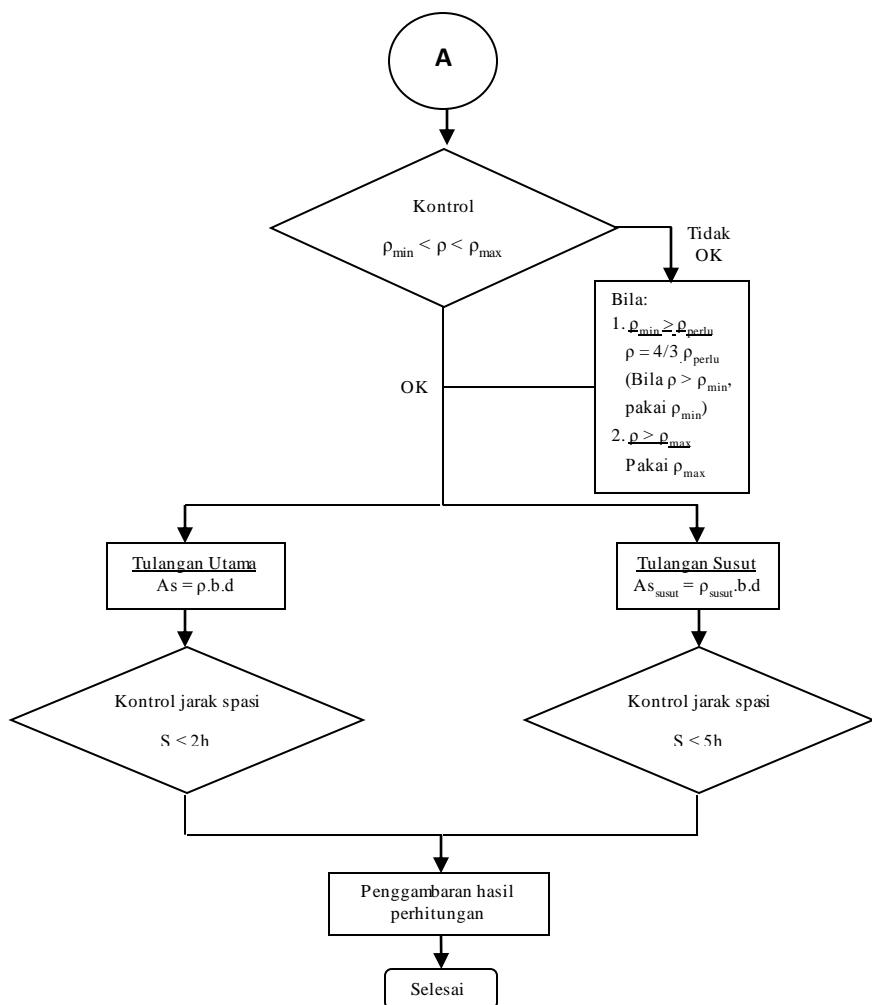
3.9.2 Flowchart Struktur Bawah



Gambar 3. 3 Flow Chart Perencanaan Struktur Bawah

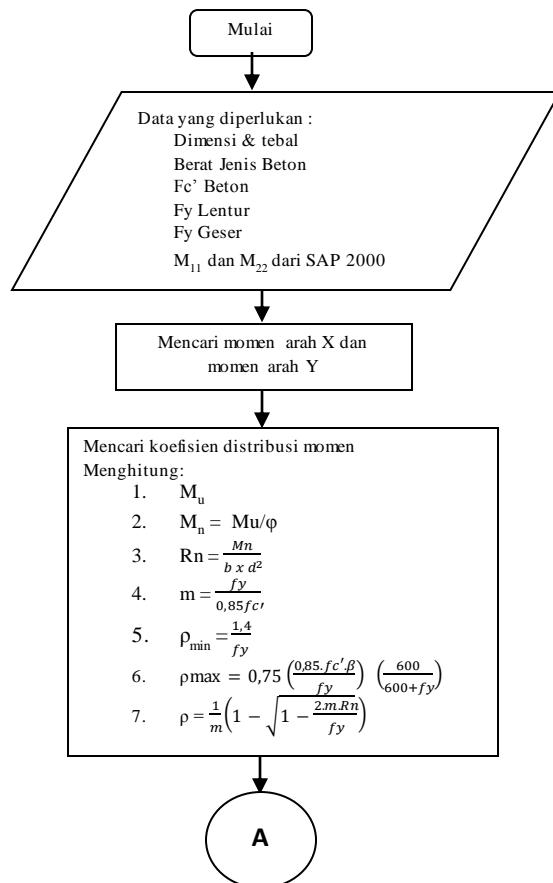
3.9.3 Flow Chart Perhitungan Pelat

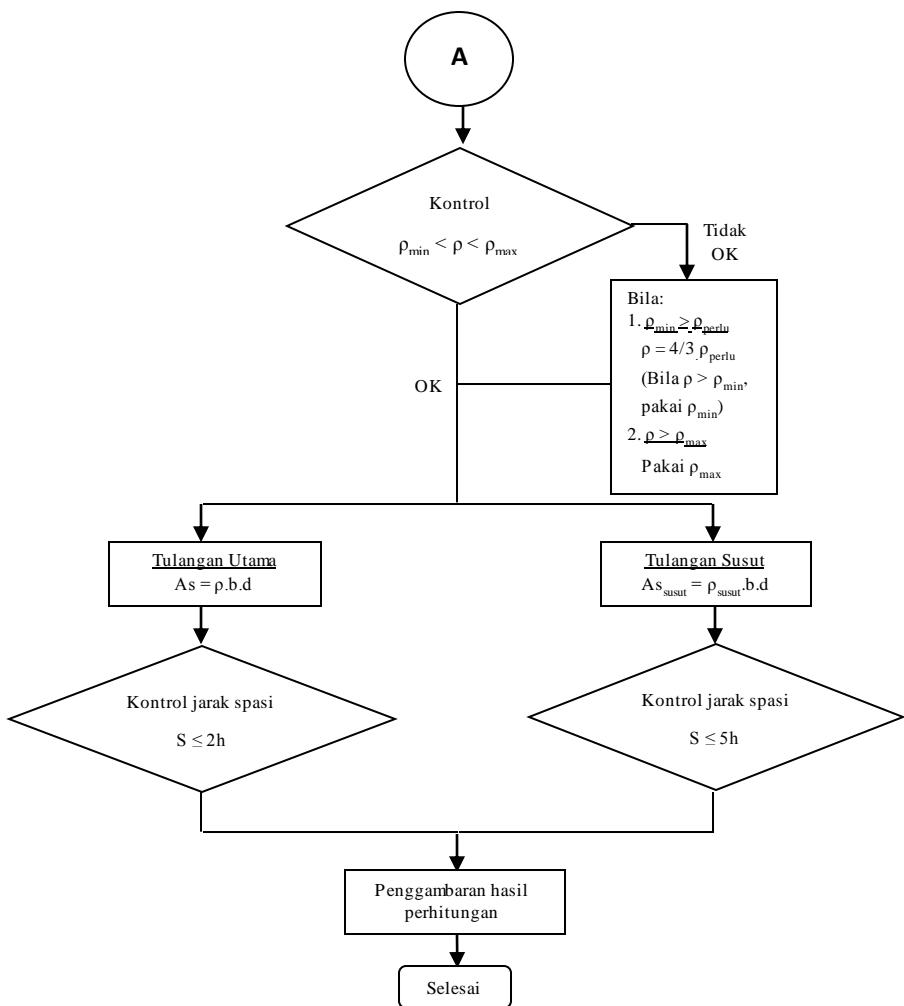




Gambar 3. 4 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat

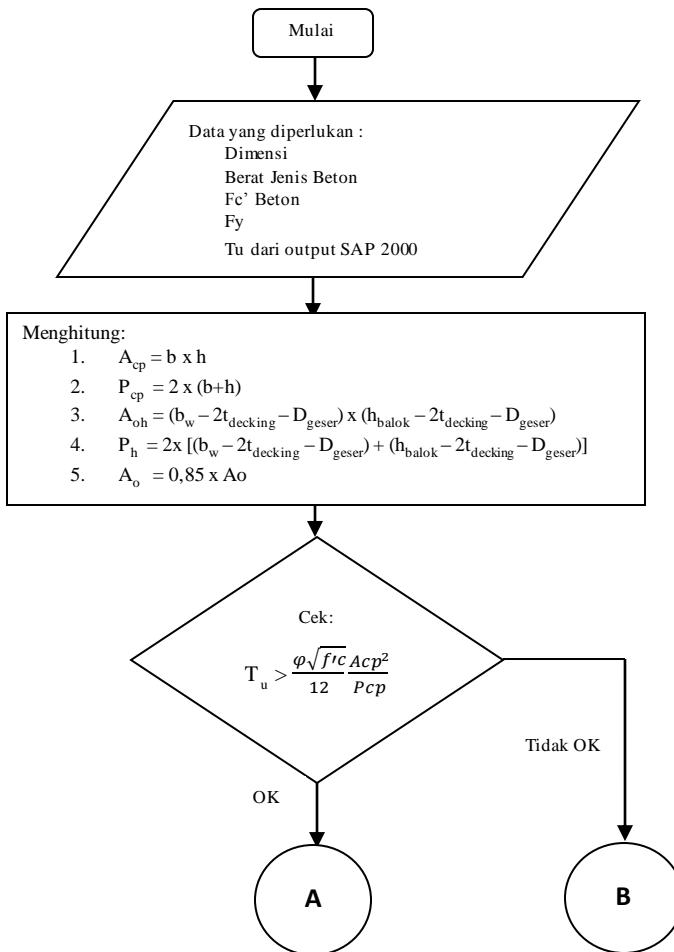
3.9.4 Flow Chart Perhitungan Penulangan Pelet Tangga dan Bordes

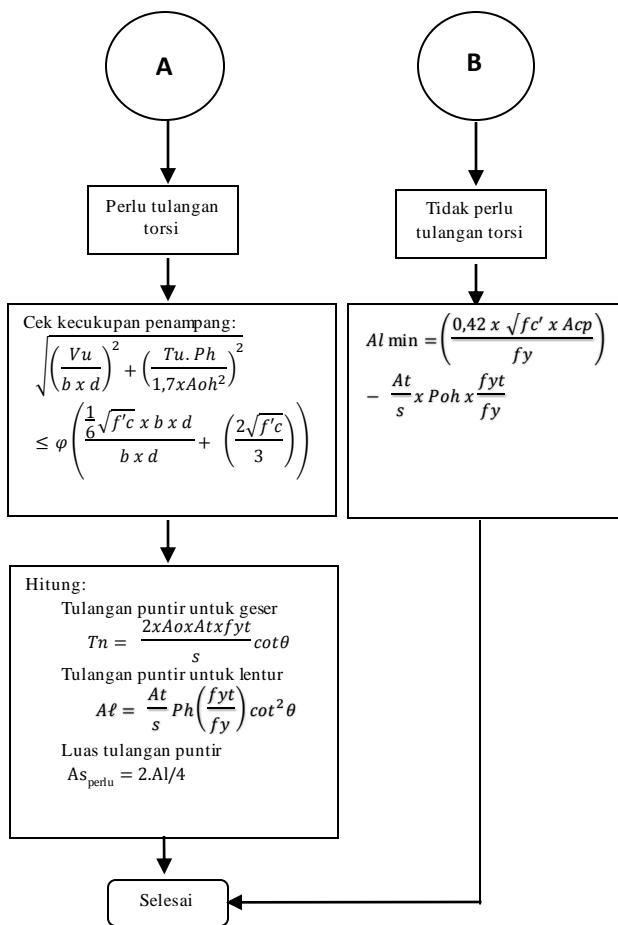




Gambar 3. 5 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

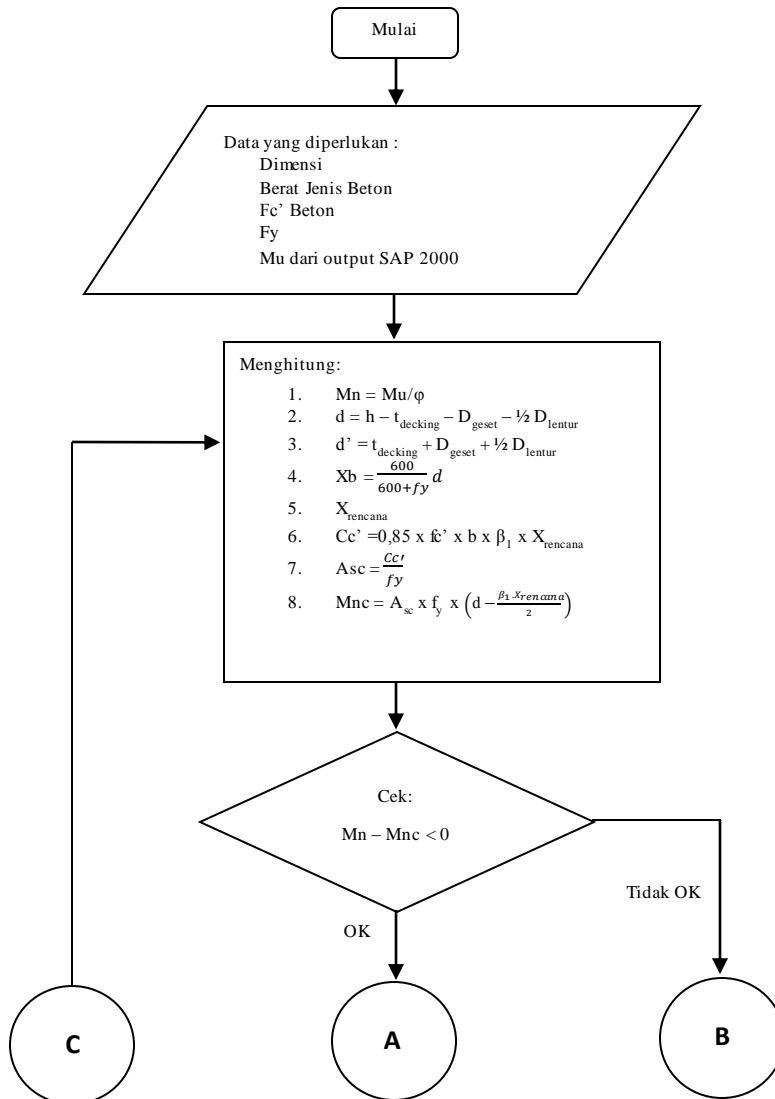
3.9.5 Flow Chart Perhitungan Penulangan Torsi Balok

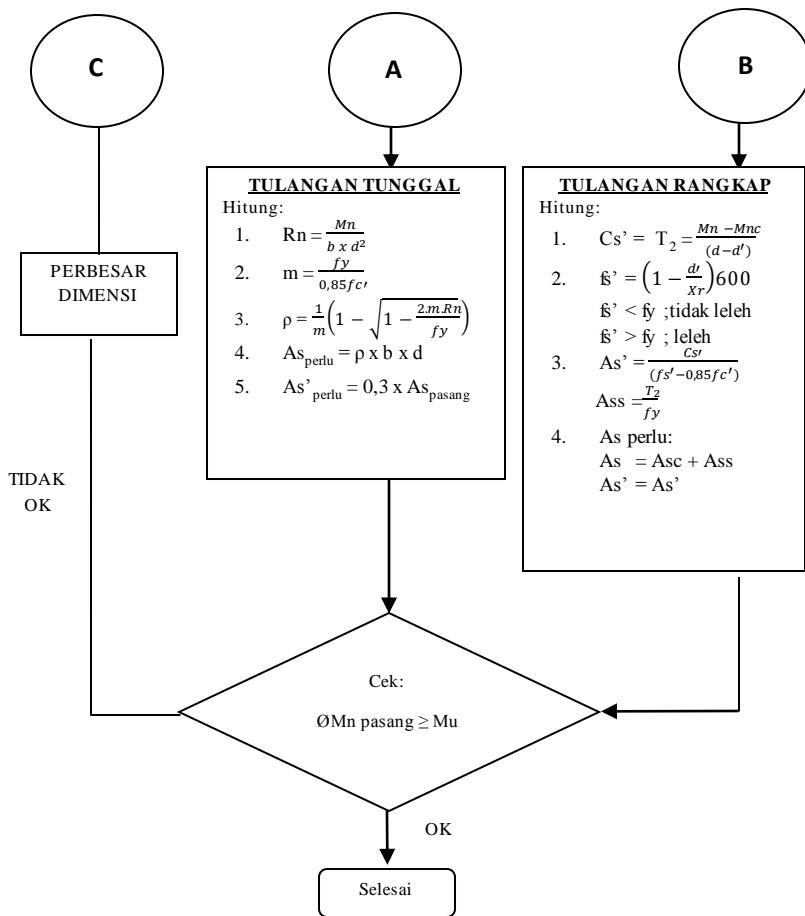




Gambar 3. 6 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Torsi Balok

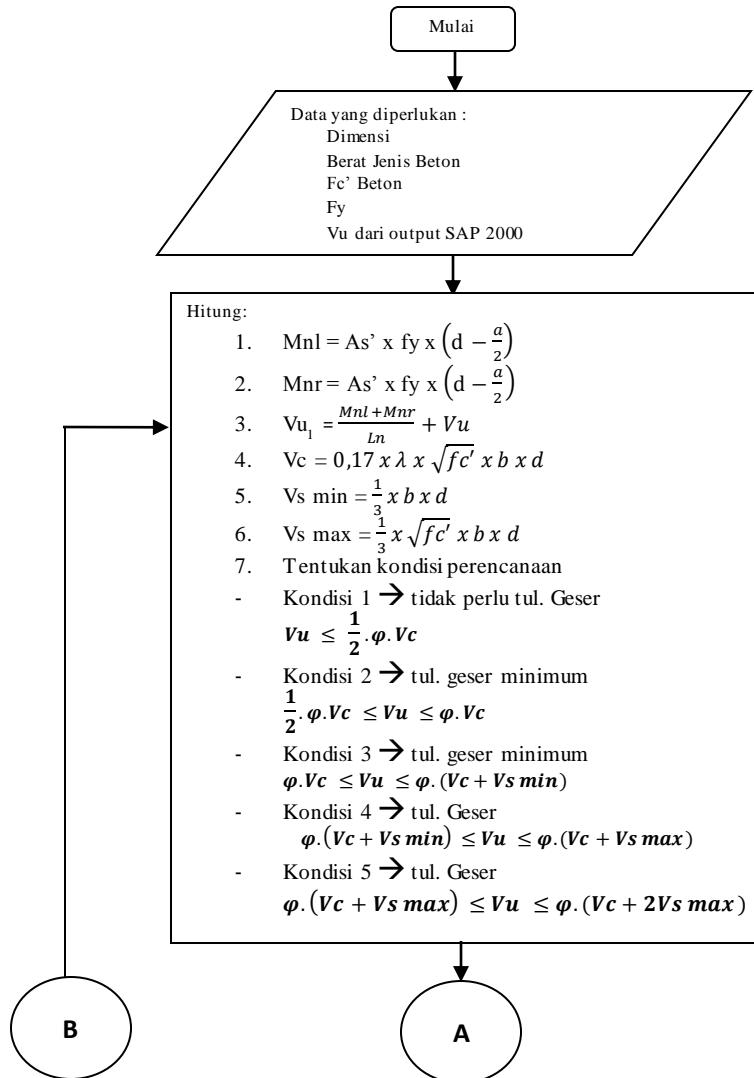
3.9.6 Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Balok

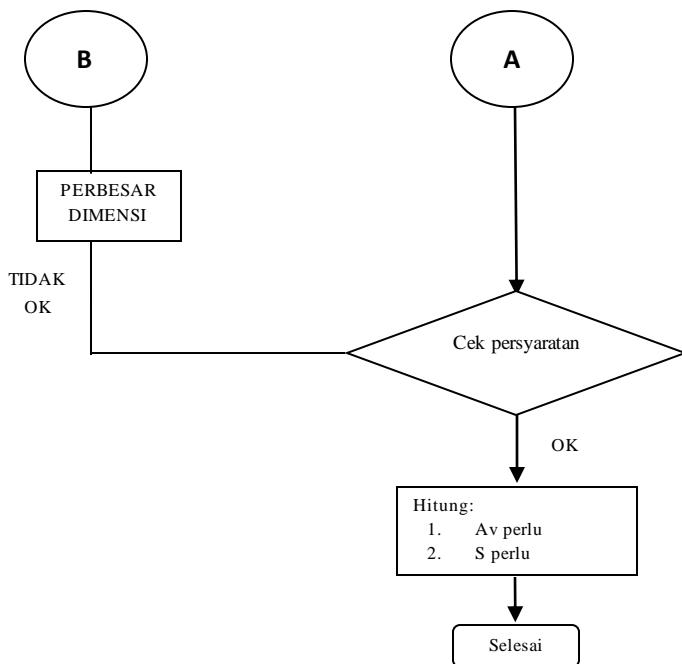




Gambar 3. 7 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Balok

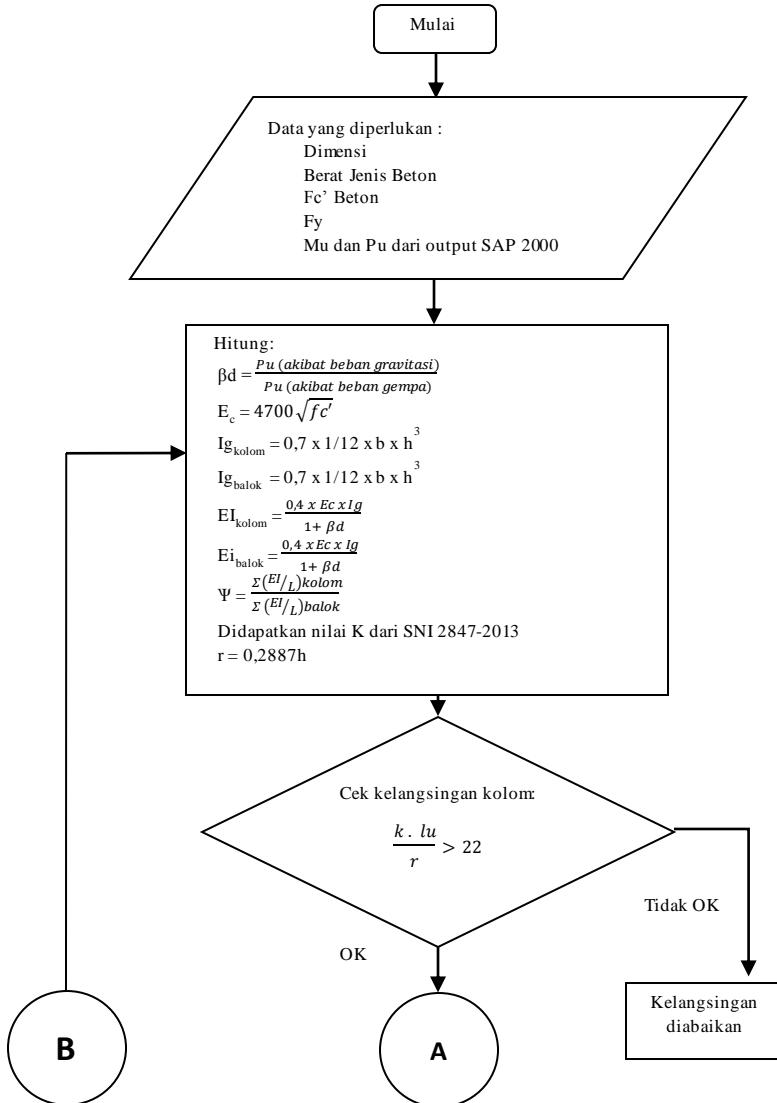
3.9.7 Flow Chart Perhitungan Geser Balok

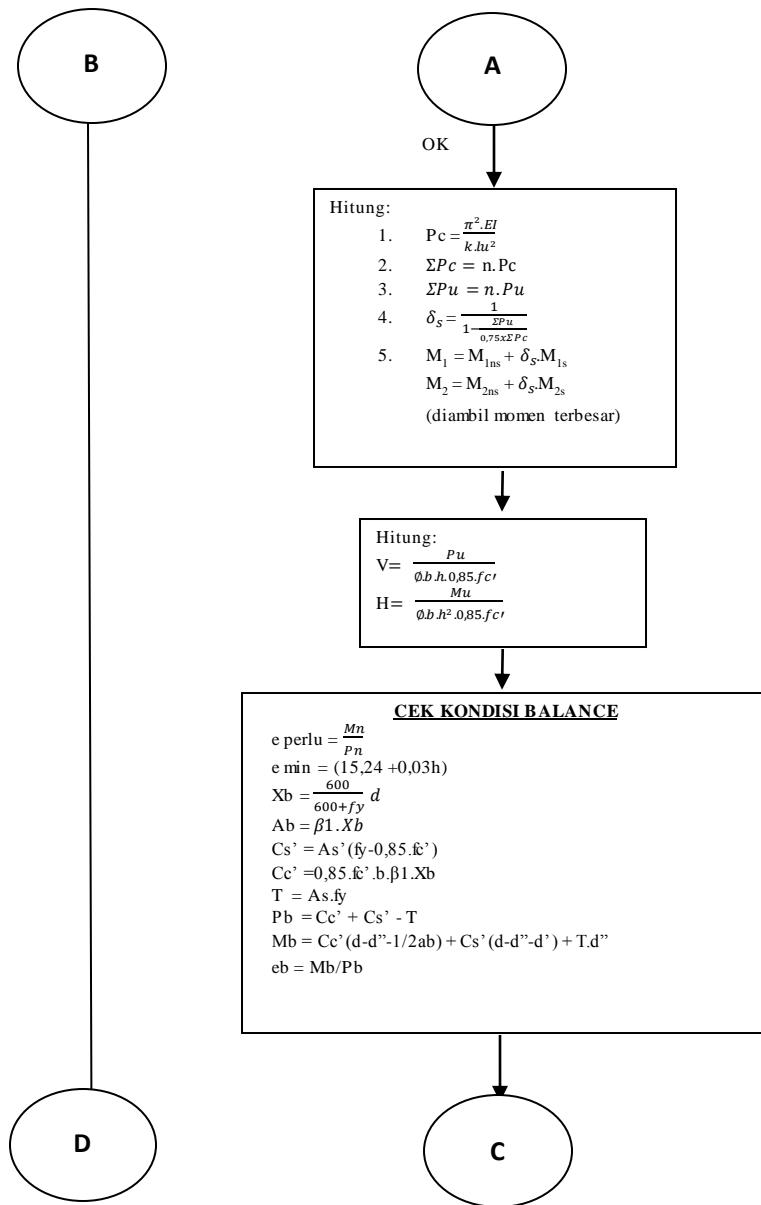


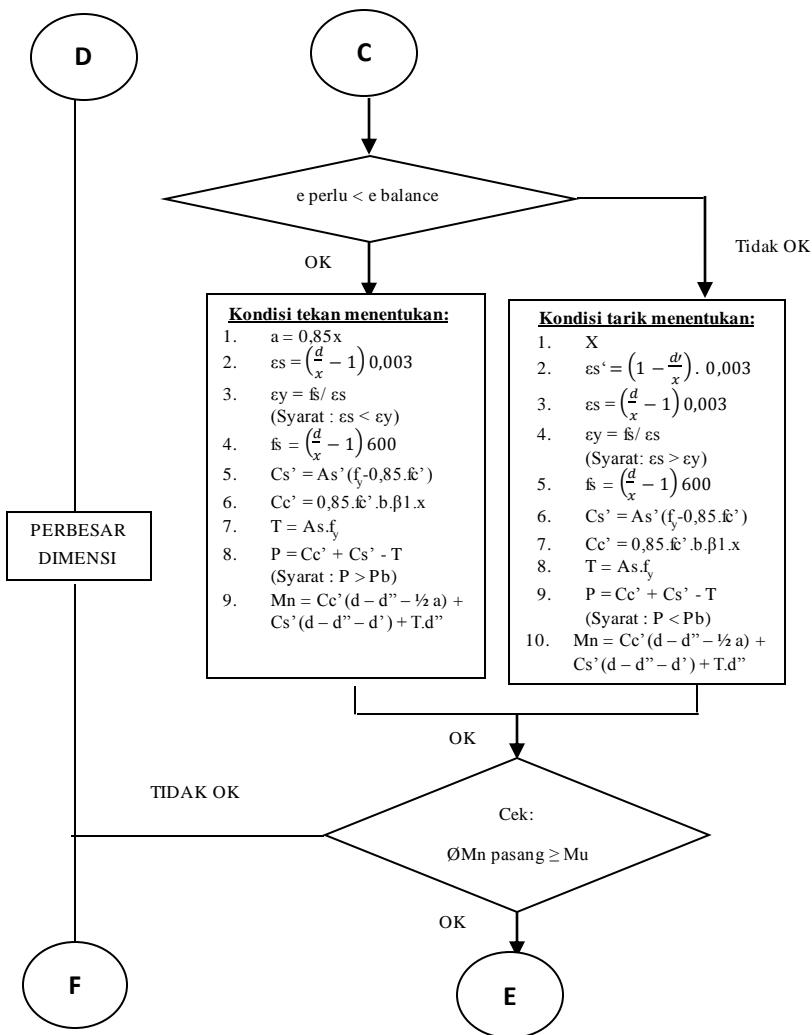


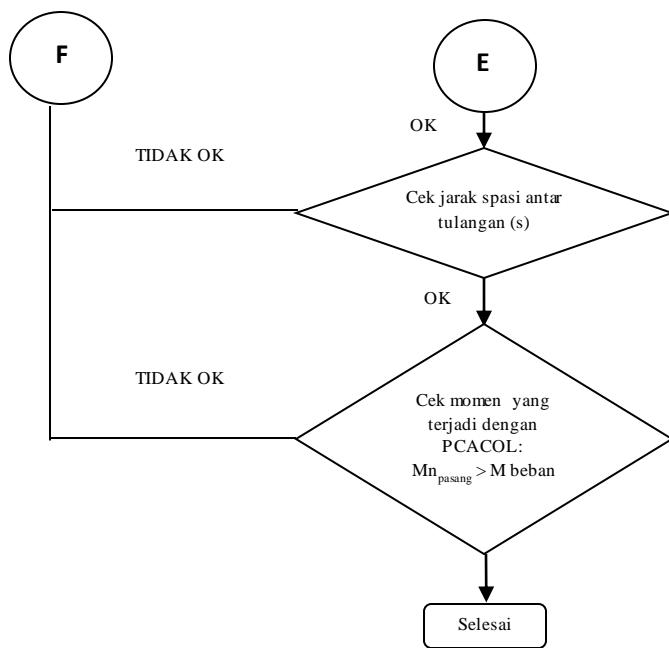
Gambar 3. 8 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Balok

3.9.8 Flow Chart Perhitungan Penulangan Lentur Kolom



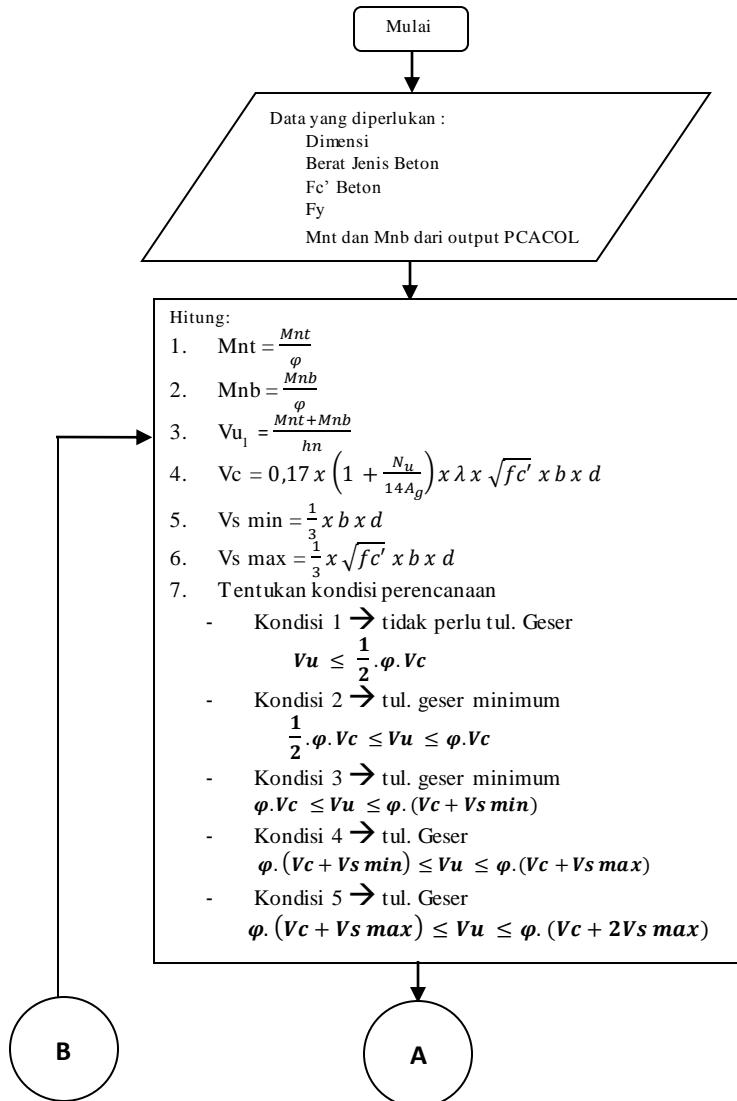


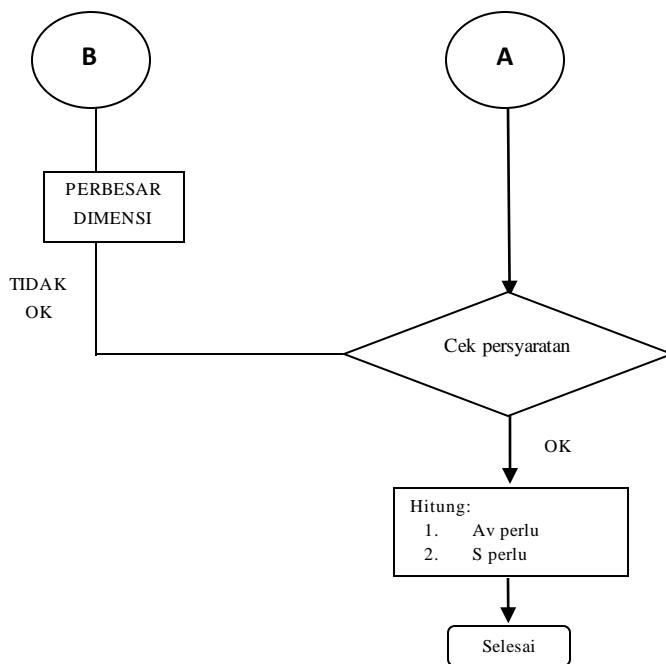




Gambar 3. 9 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Lentur Kolom

3.9.9 Flow Chart Perhitungan Penulangan Geser Kolom





Gambar 3. 10 Flow Chart Proses Perhitungan Penulangan Geser Kolom

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Metode Sistem Struktur

Dalam menentukan metode sistem struktur untuk perhitungan struktur dalam perencanaan ini berdasarkan SNI 1726 – 2012 dan peta hazard Indonesia 2010 dengan probabilitas terlampui 10% dalam 500 tahun. Penentuan sistem struktur tergantung pada kategori desain seismik bangunan. Langkah – langkah penentuan sistem struktur adalah:

1. Klasifikasi situs

Tabel 4. 1 Data SPT Tanah Bangunan

	Di	Ni	di/Ni
2	13	0,154	
2	11	0,182	
2	15	0,133	
2	22	0,091	
2	19	0,105	
2	11	0,182	
2	14	0,143	
2	18	0,111	
2	21	0,095	
2	23	0,087	
2	29	0,069	
2	33	0,061	
2	37	0,054	
2	43	0,047	
2	42	0,048	
2	37	0,054	
2	44	0,045	
2	49	0,041	
2	40	0,050	
2	50	0,040	
Jumlah	40	571	1,792

Berdasarkan nilai SPT diatas didapatkan:

$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\sum Ni} = 22,321$$

Tabel 4. 2 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	<175	<15	<50
SE (Tanah Lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik – situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likufaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Berdasarkan Klasifikasi situs SNI 1726 – 2012, tanah pada lokasi proyek di kota sumenep termasuk ke dalam situs **SD (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (I_c)

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726 – 2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan perkantoran yang menjadi obyek pada tugas akhir ini termasuk kedalam kategori resiko II.

Tabel 4. 3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Bangunan untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan; rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Tabel 4. 4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor Keutamaan Gempa (Ie)
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

3. Menentukan parameter pergerakan tanah.

a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1).

Nilai S_s dan S_1 didapat berdasarkan peta hazard Gempa Indonesia 2010 dengan lokasi bangunan di kabupaten Sumenep, Jawa timur.

Tabel 4. 5 Parameter Percepatan Gempa Peta Hazard Gempa Indonesia 2010

Parameter	Nilai
S_s	0,458
S_1	0,179

b. Koefisien situs (F_a dan F_v)

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726 – 2012 Pasal 6.2 Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. 6 Koefisien Situs, Fa

Ss	Fa

0,25	1,6
0,5	1,4

Dengan interpolasi linier:

Untuk $S_s = 0,458$ didapatkan $F_a = 1,434$

Tabel 4. 7 Koefisien Situs, F_v

S_1	F_v
0,1	2,4
0,2	2

Dengan interpolasi linier:

Untuk $S_1 = 0,179$ didapatkan $F_v = 2,084$

c. Parameter respons spektral

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \times S_s \\ &= 1,434 \times 0,458 \\ &= 0,657 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{ml} &= F_v \times S_1 \\ &= 2,084 \times 0,179 \\ &= 0,373 \end{aligned}$$

d. Parameter percepatan spektral desain

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,657 \\ &= 0,438 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{ml} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,373 \\ &= 0,249 \end{aligned}$$

e. Penentuan kategori desain seismik.

Penentuan KDS berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726 – 2012 pasal 6.5 dengan menggunakan S_{DS} dan S_{D1} .

$$S_{DS} = 0,438$$

Tabel 4. 8 Kategori Desain Seismik, SDS

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

$$S_{D1}=0,249$$

Tabel 4. 9 Kategori Desain Seismik, SD1

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Karena S_{D1} termasuk kedalam kategori desain seismik D, maka ditinjau pasal 6.5 SNI 1726 – 2012. Jika S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 6 saja (SNI 1726 – 2012 Pasal 6.5), dimana berlaku semua ketentuan dibawah:

1. Pada masing – masing dua arah orthogonal, perkiraan periode fundamental struktur T_a , yang ditentukan sesuai dengan 7.8.2.1 adalah kurang dari T_s , dimana T_s ditentukan sesuai dengan 6.4.
- Menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan. *SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1 Berdasarkan Tabel 15*

Tabel 4. 10 Nilai Parameter Perioda Pendekatan Ct dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Sebuah sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

$$Ta = C_t \times h_n^x$$

$$Ta = 0,0466 \times 19,25^{0,9}$$

$$Ta = 0,667 \text{ detik}$$

$$Ts = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,249}{0,438} = 0,568$$

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan periода fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahanan gaya gempa terdiri dari rangka penahanan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$Ta = 0,1 \text{ N} = 0,1 \times 5 = 0,5$$

$$Ts > Ta \quad (\text{Oke})$$

Keterangan:

h_n = Tinggi struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

T_a = Periода fundamental pendekatan

Nilai T tidak boleh melebihi koefisien C_u , C_u diperoleh dari hasil interpolasi.

Berdasarkan Tabel 14 SNI 1726:2012

Tabel 4. 11 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_s
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$SD1 = 0,249$$

Maka dicari dengan cara interpolasi.

SD1	Cu
0,3	1,4
0,249	x
0,2	1,5

$$Cu = 1,4 + \left(\frac{0,249 - 0,3}{0,2 - 0,3} \right) (1,5 - 1,4)$$

$$= 1,451$$

$$T < Cu$$

$$0,667 < 1,451 \quad (\text{Oke})$$

- Ketentuan Nilai k berdasarkan *pasal 7.8.3 SNI 1726:2012*
 - Nilai $T < 0,5$ detik; maka nilai $k = 1$
 - Nilai $T > 2,5$ detik; maka nilai $k = 2$
 - Nilai $0,5 \text{ detik} < T < 2,5 \text{ detik}$; maka nilai k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

T	k
0,5	1
0,667	x
2,5	2

$$k = 1,0 + \left(\frac{0,667 - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) (2,0 - 1,0)$$

$$k = 1,0835$$

2. Pada masing – masing dua arah orthogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk

menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,249}{0,438} = 0,1137 \text{ detik}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.4)

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,249}{0,438} = 0,568 \text{ detik}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.4)

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1)

$$T_a = 0,0466 \cdot 19,25^{0,9}$$

(SNI 1726:2012 Tabel 15)

$$T_a = 0,667 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas, maka termasuk kedalam persamaan:

$$T_0 < T_a < T_s \rightarrow S_a = S_{DS}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.4)

Sehingga didapatkan nilai $S_a = S_{DS} = 0,438$

- Persamaan 22 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik C_s . Berdasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2012.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{(Ie)}}$$

$$C_s = \frac{0,438}{\frac{5}{1,0}} = 0,0876$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek seperti ditentukan dalam 6.3 atau 6.9

R = faktor modifikasi respons dalam tabel 9

Ie = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.

Nilai C_s di atas tidak perlu melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)}$$

$$C_s = \frac{0,249}{0,667 \left(\frac{5}{1,0} \right)} = 0,075$$

Nilai C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \geq 0,01$$

$$C_s = 0,044 \cdot 0,438 \cdot 1,0 > 0,01$$

$0,0193 > 0,01$ (Oke)

Jadi, digunakan nilai $C_s = 0,075$

Keterangan:

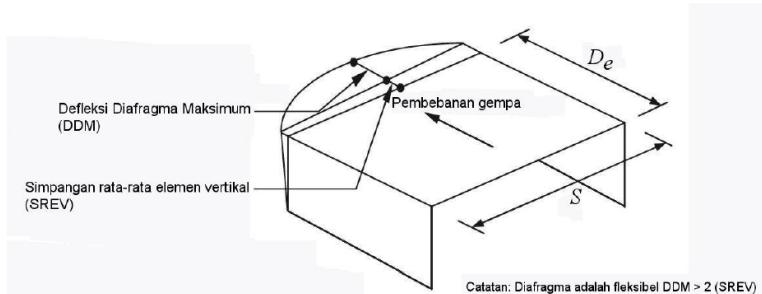
Dimana Ie dan R sebagaimana didefinisikan dalam 7.8.1.1, dan

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 6.10.4

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 7.8.2

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 6.10.4

4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 7.3.1 atau diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen – elemen vertikal penahan gaya gempa. Berdasarkan SNI 1726 – 2012 pasal 7.3.1.2, dimana kondisi diafragma kaku yaitu diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup beton dengan perbandingan lebar dan Panjang (S/D_e) bangunan sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horizontal dapat diidealisasikan sebagai diafragma kaku.



Gambar 4. 1 Diafragma Fleksibel

$$\frac{S}{D_e} < 3$$

$$\frac{S}{D_e} < 3$$

$$\frac{19\text{ m}}{60\text{ m}} < 3$$

$$0,316 < 3$$

(Memenuhi)

Karena memenuhi 4 persyaratan diatas, maka penentuan kategori desain seismik berdasar pada tabel 6 SNI 1726 – 2012, yaitu termasuk kedalam **kategori desain seismic C**, sehingga perhitungan struktur direncanakan menggunakan **Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**.

4.2 Preliminary Design

Data Desain Preliminary Data untuk struktur Gedung beton bertulang ini adalah sebagai berikut:

Tipe Bangunan : Gedung Perkantoran

Letak Bangunan : Sumenep

Lebar Bangunan : 19,351 m

Panjang Bangunan : 60,111 m

Tinggi Bangunan : 19,25 m

Mutu Beton : 30 MPa

Mutu Baja : 400 MPa

4.2.1 Preliminary Balok

Preliminary desain balok bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi balok. Tinggi minimum balok (h_{min}) tanpa memperhitungkan lendutan ditentukan pada Tabel 9.5 (a) pasal

9.5 SNI 2847 - 2013 dimana tinggi minimum untuk balok tertumpu sederhana adalah:

$$h_{min} = \frac{l}{16}$$

Sedangkan untuk tinggi minimum balok anak adalah:

$$h_{min} = \frac{l}{21}$$

Sedangkan untuk tinggi minimum balok kantilever adalah:

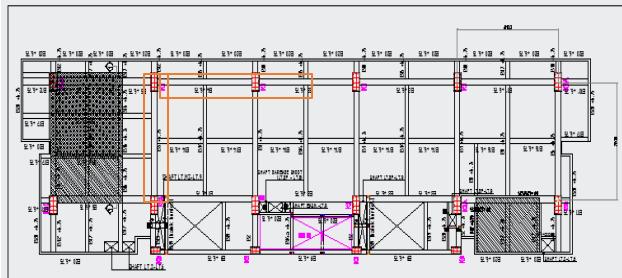
$$h_{min} = \frac{l}{8}$$

Dengan catatan, untuk nilai f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$, sehingga untuk mutu baja 400 Mpa nilai h_{min} adalah:

$$h_{min} = \frac{l}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700})$$

Sedangkan untuk lebar balok diestimasikan berkisar antara $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$ dari tinggi balok.

A. Balok Induk



- Preliminary Balok Induk Melintang, dipilih terpanjang ($L = 750$ cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{750 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 45,54 \text{ cm}$$

Maka digunakan tinggi (h) untuk balok yaitu 50 cm.

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 50 \text{ cm} = 33,3 \text{ cm}$$

Maka digunakan lebar (b) untuk balok yaitu 35 cm. Sehingga dimensi untuk balok induk melintang adalah 35 cm x 50 cm.

- Preliminary Balok Induk Memanjang, dipilih terpanjang ($L = 810 \text{ cm}$)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{810 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 49,18 \text{ cm}$$

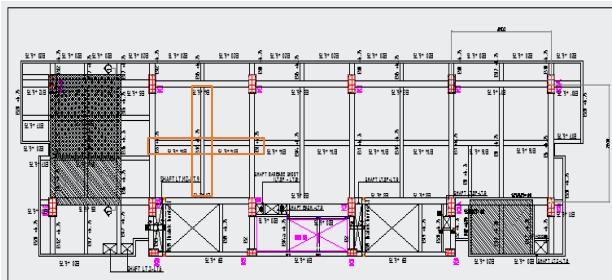
Maka digunakan tinggi (h) untuk balok yaitu 60 cm.

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 60 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

Maka digunakan lebar (b) untuk balok yaitu 40 cm. Sehingga dimensi untuk balok induk memanjang adalah 40 cm x 60 cm.

B. Balok Anak



- Preliminary Balok Anak Melintang, dipilih terpanjang ($L = 750 \text{ cm}$)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{750 \text{ cm}}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 34,69 \text{ cm}$$

Maka digunakan tinggi (h) untuk balok yaitu 35 cm.

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 35 \text{ cm} = 23,33 \text{ cm}$$

Maka digunakan lebar (b) untuk balok yaitu 25 cm. Sehingga dimensi untuk balok induk melintang adalah 25 cm x 35 cm.

- Preliminary Balok Anak Memanjang, dipilih terpanjang ($L = 810 \text{ cm}$)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{810 \text{ cm}}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 37,47 \text{ cm}$$

Maka digunakan tinggi (h) untuk balok yaitu 40 cm.

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 40 \text{ cm} = 26,67 \text{ cm}$$

Maka digunakan lebar (b) untuk balok yaitu 30 cm. Sehingga dimensi untuk balok induk memanjang adalah 30 cm x 40 cm.

4.2.2 Preliminary Sloof

Preliminary desain sloof bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi sloof.

- Preliminary Sloof Memanjang dan melintang ($L = 810 \text{ cm}$)

1. Tinggi Sloof (h)

$$h_{min} = \frac{810 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 49,18 \text{ cm}$$

Maka digunakan tinggi (h) untuk Sloof yaitu 60 cm.

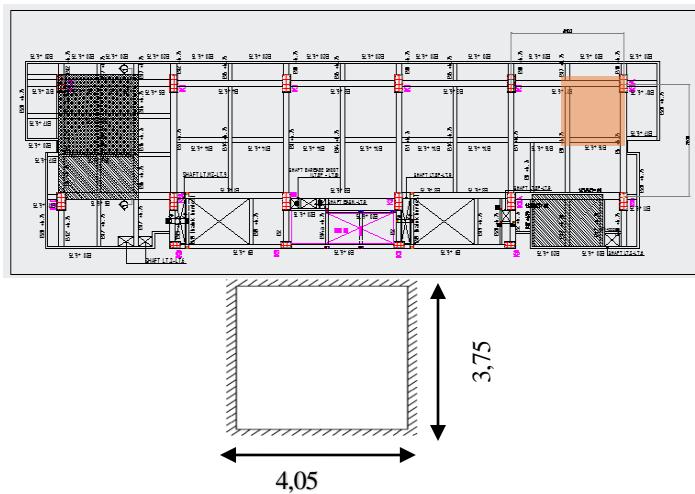
2. Lebar Sloof (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 60 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

Maka digunakan lebar (b) untuk Sloof yaitu 40 cm. Sehingga dimensi untuk Sloof memanjang adalah 40 cm x 60 cm.

4.2.3 Preliminary Pelat

Untuk menentukan tebal pelat, maka diambil satu macam pelat (diambil yang memiliki luas terbesar): tipe Pelat A dengan dimensi 405 cm x 375 cm.



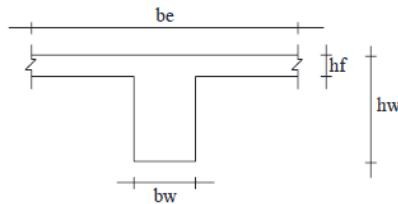
Perhitungan Perencanaan:

$$Ln = 405 - \left(\frac{30}{2} + \frac{40}{2} \right) = 370 \text{ cm}$$

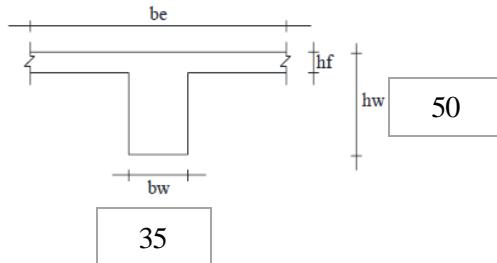
$$Sn = 375 - \left(\frac{25}{2} + \frac{35}{2} \right) = 345 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{370}{345} = 1,072 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

1. Menghitung Rasio Kekakuan (α) Balok Induk Melintang dan Balok Induk Memanjang dimensi 35/50 dan 40/60:



- Gambar 4. 2 Lebar Efektif Pelat
asumsi tebal pelat (hf) awal adalah 12 cm,
■ AS Kanan (1)



$$\text{Tinggi balok (h)} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar balok (bw)} = 35 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal pelat (hf)} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = h - hf = 50 - 12 = 38 \text{ cm}$$

$$be = bw + 8 hf = 35 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 131 \text{ cm}$$

$$be = bw + 2 hw = 35 \text{ cm} + 2 \cdot 38 \text{ cm} = 111 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 111 \text{ cm}$

Faktor modifikasi (*Design Beton Bertulang CHU-KYA WANG CHARLES G.SALMON 16.4.2b*)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right) x [4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)^3]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) x \left(\frac{12}{38}\right) x [4 - 6 \left(\frac{12}{38}\right) + 4 \left(\frac{12}{38}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) x \left(\frac{12}{38}\right)^3]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) x \left(\frac{12}{38}\right)}$$

$$K = 1,624$$

Momen inersia balok:

$$I_{balok} = \frac{1}{12} x K x bw x h^3 = \frac{1}{12} x 1,624 x 35 \text{ cm} x (50 \text{ cm})^3 \\ = 591.964,6 \text{ cm}^4$$

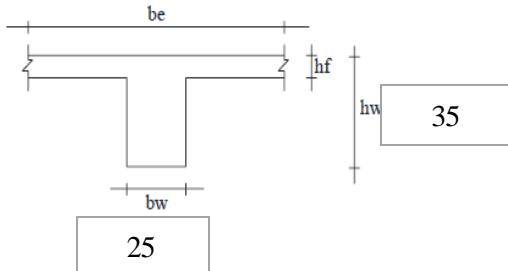
Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Ly x \frac{(hf)^3}{12} = 375 \text{ cm} x \frac{(12 \text{ cm})^3}{12} = 54.000 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat;

$$\alpha_1 = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{591.964,6 \text{ cm}^4}{54.000 \text{ cm}^4} = 10,96$$

■ AS Kiri (2)



$$\text{Tinggi balok (h)} = 35 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar balok (bw)} = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal Pelat (hf)} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = h - hf = 35 - 12 = 23 \text{ cm}$$

$$be = bw + 8 hf = 25 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 121 \text{ cm}$$

$$be = bw + 2 hw = 25 \text{ cm} + 2 \cdot 23 \text{ cm} = 71 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 71 \text{ cm}$

Faktor modifikasi (*Design Beton Bertulang CHU-KYA WANG CHARLES G.SALMON 16.4.2b*)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right) x [4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)^3]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{71}{25} - 1\right) x \left(\frac{12}{23}\right) x [4 - 6 \left(\frac{12}{23}\right) + 4 \left(\frac{12}{23}\right)^2 + \left(\frac{71}{25} - 1\right) x \left(\frac{12}{23}\right)^3]}{1 + \left(\frac{71}{25} - 1\right) x \left(\frac{12}{23}\right)}$$

$$K = 1,597$$

Momen inersia balok :

$$I_{balok} = \frac{1}{12} x K x b x h^3 = \frac{1}{12} x 1,597 x 25 \text{ cm} x (35 \text{ cm})^3 \\ = 142.648,7 \text{ cm}^4$$

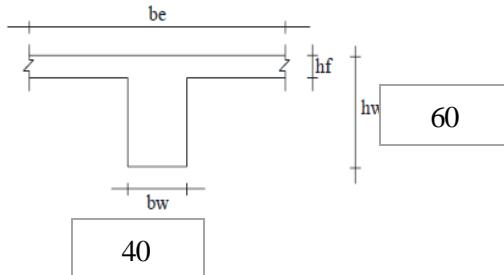
Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Ly x \frac{(hf)^3}{12} = 375 \text{ cm} x \frac{(12 \text{ cm})^3}{12} = 54.000 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat;

$$\alpha_1 = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{142.648,7 \text{ cm}^4}{54.000 \text{ cm}^4} = 2,642$$

- AS Atas (a)



Tinggi balok (h) = 60

Lebar balok (bw) = 40 cm

Tebal pelat (hf) = 12 cm

Tinggi balok (hw) = $h - hf = 60 - 12 = 48$ cm

$be = bw + 8 hf = 40 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 136 \text{ cm}$

$be = bw + 2 hw = 40 \text{ cm} + 2 \cdot 48 \text{ cm} = 136 \text{ cm}$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 136 \text{ cm}$

Faktor modifikasi (**Design Beton Bertulang CHU-KYA WANG CHARLES G.SALMON 16.4.2b**)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right) x [4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)^3]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{48}\right) x [4 - 6 \left(\frac{12}{48}\right) + 4 \left(\frac{12}{48}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{48}\right)^3]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{48}\right)}$$

$$K = 1,670$$

Momen inersia balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} x K x b x h^3 = \frac{1}{12} x 1,670 x 40 \text{ cm} x (60 \text{ cm})^3 \\ &= 1.202.400 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

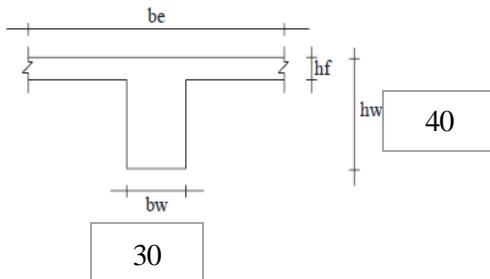
Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Lx \times \frac{(hf)^3}{12} = 405 \text{ cm} \times \frac{(12 \text{ cm})^3}{12} = 58.320 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat;

$$\alpha_1 = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{1.202.400 \text{ cm}^4}{58.320 \text{ cm}^4} = 20.617$$

- AS bawah (b)



$$\text{Tinggi balok (h)} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar balok (bw)} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal Pelat (hf)} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = h - hf = 40 - 12 = 28 \text{ cm}$$

$$be = bw + 8 hf = 30 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 126 \text{ cm}$$

$$be = bw + 2 hw = 30 \text{ cm} + 2 \cdot 28 \text{ cm} = 86 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka: be = 86 cm

Faktor modifikasi (*Design Beton Bertulang CHU-KYA*

WANG CHARLES G.SALMON 16.4.2b)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right) x [4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)^3]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{28}\right) x [4 - 6 \left(\frac{12}{28}\right) + 4 \left(\frac{12}{28}\right)^2 + \left(\frac{12}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{28}\right)^3]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{28}\right)}$$

$$K = 1,578$$

Momen inersia balok:

$$I_{balok} = \frac{1}{12} x K x b x h^3 = \frac{1}{12} x 1.578 x 30 \text{ cm} x (40 \text{ cm})^3$$

$$= 252.494,77 \text{ cm}^4$$

Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Ly x \frac{(hf)^3}{12} = 405 \text{ cm} x \frac{(12 \text{ cm})^3}{12} = 58.320 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat;

$$\alpha_1 = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{252.494,77 \text{ cm}^4}{58.320 \text{ cm}^4} = 4,33$$

nilai rata-rata dari $\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$

$$\alpha = \frac{10,96 + 2,642 + 20,617 + 4,33}{4} = 9,637$$

Penentuan tebal minimum pelat (h min):

Karena nilai $\alpha m > 2,0$; maka dipakai persamaan (2)

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} = \frac{370(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + 9x1,072} = 8,800 \text{ cm}$$

Sehingga dipakai tebal pelat (hf) = 12 cm

4.2.4 Preliminary Kolom

untuk membuat sifat struktur menjadi “strong column, weak beam”, maka untuk preliminary dimensi kolom dari lantai 1 – 5 adalah Sebagai berikut:

- Tinggi Kolom Lantai 1 = 3,6 m = 360 cm
- Dimensi balok induk melintang 35/50 dan balok induk memanjang 40/60

Panjang Balok Melintang = 7,5 m = 750 cm

$$\frac{L_{kolom}}{I_{kolom}} \geq \frac{L_{Balok}}{I_{balok}}$$

$$\frac{\frac{L_{kolom}}{360}}{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3} \geq \frac{\frac{L_{Balok}}{750}}{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{360} \geq \frac{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}{750}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{360} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 35 \cdot 50^3}{750}$$

$$62,5 \text{ } bh^3 = 131.250.000$$

$$62,5 h^4 = 131.250.000$$

$$h^4 = 2.100.000$$

$$h = 38,068 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

direncanakan $b = h$

Panjang Balok Memanjang = 8,1 m = 810 cm

$$\frac{360}{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3} \geq \frac{810}{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{360} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 60^3}{810}$$

$$\frac{bh^3}{4.320} = 888,889$$

$$h^4 = 3.840.000,48$$

$$h = 44,267 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

direncanakan $b = h$

jadi, dipakai dimensi kolom Lantai 1 = 50/50

- Tinggi Kolom Lantai 2 = 4,1 m = 410 cm

Dimensi balok induk Melintang 35/50 dan balok induk memanjang 40/60

Panjang Balok Melintang = 7,5 m = 750 cm

$$\frac{L_{kolom}}{I_{kolom}} \geq \frac{L_{Balok}}{I_{balok}}$$

$$\frac{\frac{L_{kolom}}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{410} \geq \frac{\frac{L_{Balok}}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}{750}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{410} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}{750}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{410} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 35 \cdot 50^3}{750}$$

$$62,5 bh^3 = 149.479.167$$

$$62,5 h^4 = 149.479.167$$

$$h^4 = 2.391.667$$

$$h = 39,33 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

direncanakan $b = h$

Panjang Balok Memanjang = 8,1 m = 810 cm

$$\frac{410}{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3} \geq \frac{810}{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{410} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 60^3}{810}$$

$$\frac{bh^3}{4,920} = 888,889$$

$$h^4 = 4.373.333,333$$

$$h = 45,730 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

direncanakan $b = h$

jadi, dipakai dimensi kolom Lantai 2 = 50/50

- Tinggi Kolom Lantai 3-5 = 3,85 m = 385 cm
Dimensi balok induk Melintang 35/50 dan balok Memanjang 40/60

Panjang balok Melintang = 7,5 m = 750 cm

$$\frac{L_{kolom}}{I_{kolom}} \geq \frac{L_{Balok}}{I_{balok}}$$

$$\frac{\frac{L_{kolom}}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{385} \geq \frac{\frac{L_{Balok}}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}{750}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{385} \geq \frac{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}{750}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{385} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 35 \cdot 50^3}{750}$$

$$62,5 bh^3 = 140.364.583$$

$$62,5 h^4 = 140.364.583$$

$$h^4 = 2.245.833$$

$$h = 38,71 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

direncanakan $b = h$

Panjang Balok Memanjang = 8,1 m = 810 cm

$$\frac{385}{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3} \geq \frac{810}{\frac{1}{12} \cdot b_{Balok} \cdot (h_{Balok})^3}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{kolom} \cdot (h_{kolom})^3}{385} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 60^3}{810}$$

$$\frac{bh^3}{4.620} = 888,889$$

$$h^4 = 4.106.666,667$$

$$h = 45,016 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

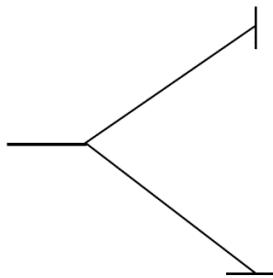
direncanakan $b = h$

jadi, dipakai dimensi kolom Lantai 3-5 = 50/50

4.2.5 Perencanaan Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data – data yang di input adalah sebagai berikut:

1. Perletakan = Jepit – Bebas – Jepit
2. Pembebanan = Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
3. Kombinasi = 1,2 DL + 1,6 LL
4. Distribusi = (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.



Gambar 4. 3 Mekanika Perencanaan Tangga

Dalam perancangan ini, terdapat 3 macam tipe tangga yaitu tangga tipe 1, tangga tipe 2, dan tipe 3. Tangga tipe 1 dan 2 mempunyai ketinggian yang berbeda. Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1. Adapun data – data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut:

Tipe Tangga 1

1. Data – data perencanaan:

- Lebar injakan (i) = 0,3 m = 30 cm
- Tinggi tanjakan (t) = 0,15 m = 15 cm
- Tinggi tangga = 3,6 m = 360 cm
- Tinggi bordes = 1,80 m = 180 cm
- Panjang datar tangga = 4,6 m = 460 cm

2. Perhitungan

a. Panjang miring tangga

$$L = \sqrt{Tinggi\ Bordes^2 + Panjang\ Tangga^2}$$

$$L = \sqrt{(180\text{cm})^2 + (460\text{cm})^2}$$

$$L = 494\text{ cm}$$

b. Jumlah tanjakan

$$nt = \frac{Tinggi\ Bordes}{Tinggi\ Tanjakan} = \frac{180\ cm}{15\ cm} = 12\ buah$$

c. Jumlah injakan

$$\begin{aligned} ni &= nt - 1 \\ &= 12 - 1 = 11\ buah \end{aligned}$$

d. Sudut kemiringan

$$\alpha = \text{arc} \cdot \tan\left(\frac{t}{i}\right)$$

$$\alpha = \text{arc} \cdot \tan\left(\frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right) = 26,565^\circ$$

- e. Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 26,565^\circ \leq 40^\circ (\text{memenuhi})$$

Tipe Tangga 2

1. Data – data perencanaan:

- Lebar injakan (i) = 0,3 m = 30 cm
- Tinggi tanjakan (t) = 0,15 m = 15 cm
- Tinggi tangga = 4,1 m = 410 cm
- Tinggi bordes = 2,05 m = 205 cm
- Panjang datar tangga = 4,6 m = 460 cm

2. Perhitungan

- a. Panjang miring tangga

$$L = \sqrt{\text{Tinggi Bordes}^2 + \text{Panjang Tangga}^2}$$

$$L = \sqrt{(205\text{cm})^2 + (460\text{cm})^2}$$

$$L = 503,612 \text{ cm}$$

- b. Jumlah tanjakan

$$nt = \frac{\text{Tinggi Bordes}}{\text{Tinggi Tanjakan}} = \frac{205 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 13,6 \approx 14 \text{ buah}$$

- c. Jumlah injakan

$$ni = nt - 1$$

$$= 14 - 1 = 13 \text{ buah}$$

- d. Sudut kemiringan

$$\alpha = \text{arc} \cdot \tan\left(\frac{t}{i}\right)$$

$$\alpha = \text{arc} \cdot \tan\left(\frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right) = 26,565^\circ$$

- e. Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 26,57^\circ \leq 40^\circ (\text{memenuhi})$$

Tipe Tangga 3

1. Data – data perencanaan:
 - Lebar injakan (i) = 0,3 m = 30 cm
 - Tinggi tanjakan (t) = 0,15 m = 15 cm
 - Tinggi tangga = 3,85 m = 385 cm
 - Tinggi bordes = 1,925 m = 192,5 cm
 - Panjang datar tangga = 4,6 m = 460 cm

2. Perhitungan

- a. Panjang miring tangga

$$L = \sqrt{Tinggi\ Bordes^2 + Panjang\ Tangga^2}$$

$$L = \sqrt{(192,5\ cm)^2 + (460\ cm)^2}$$

$$L = 498,654\ cm$$

- b. Jumlah tanjakan

$$nt = \frac{Tinggi\ Bordes}{Tinggi\ Tanjakan} = \frac{192,5\ cm}{15\ cm}$$

$$= 12,833 \approx 13\ buah$$

- c. Jumlah injakan

$$ni = nt - 1$$

$$= 13 - 1 = 12\ buah$$

- d. Sudut kemiringan

$$\alpha = arc \cdot \tan \left(\frac{t}{i} \right)$$

$$\alpha = arc \cdot \tan \left(\frac{15\ cm}{30\ cm} \right) = 26,565^\circ$$

- e. Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 26,565^\circ \leq 40^\circ \text{ (memenuhi)}$$

4.3 Perhitungan Pembebanan

4.3.1 Pembebanan pada Pelat

Pembebanan pada pelat berdasarkan pada SNI 1727 – 2013 dan brosur yang telah dilampirkan. Karena struktur pelat merupakan salah satu struktur maka direncanakan hanya menerima beban mati (Q_{DL}) dan beban hidup (Q_{LL}).

A. Pelat Lantai Atap

a. Beban Mati

	Berat sendiri ($t = 12$ cm)	=	288 kg/m^2	21
	Spesi ($t = 2$ cm)	=	42 kg/m^2	
	Plafond Kalsi 3 (Brosur)	=	$8,6 \text{ kg/m}^2$	
	Penggantung Plafond (ASCE 7)	=	10 kg/m^2	
	Mekanikal Elektrikal (ASCE 7)	=	19 kg/m^2	
	Waterproofing (ASCE 7)	=	7 kg/m^2	
	Total	=	$378,6 \text{ kg/m}^2$	
b.	Beban Hidup			
	Atap datar (Tabel 4-1 SNI 1727:2013)	=	96 kg/m^2	

B. Pelat Lantai 5

a.	Beban Mati			
	Berat sendiri ($t = 12$ cm)	=	288 kg/m^2	22
	Spesi ($t = 2$ cm)	=	44 kg/m^2	
	Keramik	=	13 kg/m^2	
	Plafond kalsi 3 (ASCE 7)	=	$8,6 \text{ kg/m}^2$	
	Penggantung Plafond (ASCE 7)	=	10 kg/m^2	
	Mekanikal elektrikal (ASCE 7)	=	19 kg/m^2	
	Total	=	$382,6 \text{ kg/m}^2$	
b.	Beban Hidup			
	Ruang Makan (Tabel 4 -1 SNI 1727:2013)	=	479 kg/m^2	

C. Pelat Lantai 2, 3 dan lantai 4

a.	Beban Mati		
----	------------	--	--

	Berat sendiri ($t= 12$ cm)	=	288 kg/m^2	22
	Spesi ($t = 2$ cm)	=	44 kg/m^2	
	Keramik	=	13 kg/m^2	
	Plafond Kalsi 3 (Brosur)	=	$8,6 \text{ kg/m}^2$	
	Penggantung Plafond (ASCE 7)	=	10 kg/m^2	
	Mekanikal elektrikal (ASCE 7)	=	19 kg/m^2	
	Total	=	$382,6 \text{ kg/m}^2$	
b.	Beban Hidup			
	Ruang Kantor (Tabel 4 -1 SNI 1727:2013)	=	240 kg/m^2	
	Koridor di atas lantai pertama (Tabel 4 -1 SNI 1727:2013)	=	383 kg/m^2	

D. Pelat Tangga

a. Beban Mati

	Berat sendiri ($t= 22$ cm)	=	528 kg/m^2	
	Railing / pegangan	=	10 kg/m^2	
	Keramik	=	57 kg/m^2	
	Total	=	595 kg/m^2	

b. Beban Hidup

	Hidup di Tangga dan penggantung (Tabel 4-1 SNI 1727:2013)	=	479 kg/m^2	
	Hidup di Pegangan / Railing tangga (Pasal 4.5 SNI 1727:2013)	=	89 kg/m^2	

E. Pelat Bordes

a. Beban Mati

Berat sendiri ($t = 15$ cm)	=	360 kg/m^2	
Keramik + spesi (20 mm) (brosur)	=	57 kg/m^2	
Total =			417 kg/m^2
b. Beban Hidup			
Hidup di tangga dan penggantung (Tabel 4-1 SNI 1727:2013)	=	479 kg/m^2	
Hidup di pegangan / Railing tangga (pasal 4.5 SNI 1727:2013)	=	89 kg/m^2	

4.3.2 Beban Dinding

Pembebatan pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan brosur yang telah dilampirkan.

Material	BJ	=	
Bata Ringan Citicon ($t = 10$ cm) (Brosur)	500 kg/m^3	=	50 kg/m^2
Plester D200 ($t = 2$ cm) (Brosur)	$20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	=	40 kg/m^2
Acian NP S540 ($t = 0,5$ cm) (Brosur)	$3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	=	$7,5 \text{ kg/m}^2$
Total		=	$97,5 \text{ kg/m}^2$

Beban dinding didistribusikan pada komponen balok sebagai beban mati, dengan perhitungan pembebatan menyesuaikan dengan tinggi lantai pada bangunan.

➤ Data tinggi lantai:

- Lantai 1 (H1) = 3,6 m
- Lantai 2 (H2) = 4,1 m
- Lantai 3 (H3) = 3,85 m
- Lantai 4 (H4) = 3,85 m
- Lantai 5 (H5) = 3,85 m

➤ Perhitungan pembebatan

- Lantai 1 (H1)	Beban merata dinding	$= H1 \times Q_{dinding}$ $= 3,6 \text{ m} \times 97,5 \text{ kg/m}^2$ $= 351 \text{ kg/m}$
- Lantai 2 (H2)	Beban merata dinding	$= H2 \times Q_{dinding}$ $= 4,1 \text{ m} \times 97,5 \text{ kg/m}^2$ $= 399,75 \text{ kg/m}$
- Lantai 3 (H3)	Beban merata dinding	$= H3 \times Q_{dinding}$ $= 3,85 \text{ m} \times 97,5 \text{ kg/m}^2$ $= 375,375 \text{ kg/m}$
- Lantai 4 (H4)	Beban merata dinding	$= H4 \times Q_{dinding}$ $= 3,85 \text{ m} \times 97,5 \text{ kg/m}^2$ $= 375,375 \text{ kg/m}$
- Lantai 5 (H5)	Beban merata dinding	$= H5 \times Q_{dinding}$ $= 3,85 \text{ m} \times 97,5 \text{ kg/m}^2$ $= 375,375 \text{ kg/m}$

4.3.3 Beban Angin (W)

Bangunan gedung dan struktur lain yang termasuk harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI 1727-2013. Beban angin dinding maksimum dan minimum yang terjadi akan didistribusikan pada kolom. Berikut tahapan perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur bangunan:

- Kecepatan angin dasar (V) = 34 knot = 17,49 m/s (Berdasarkan angin terbesar selama tahun 2017, diambil dari (<http://sumenepkab.go.id>))
- Faktor arah angin (K_d) = 0,85 (SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1)

Tabel 4. 12 Faktor Arah Angin, Kd

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung Sistem Penahan Beban Angin Utama Komponen dan Kladding Bangunan Gedung	0,85 0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama Segi empat Segi enam Bundar	0,90 0,95 0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat papan reklame terikat dan kerangka kisi	0,85 0,85
Rangka batang menara Segi tiga, segi empat, persegi panjang Penampang lainnya	0,85 0,95

*Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam pasal 2. Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam pasal 2.3 dan pasal 2.4.

- Kategori eksposur = B (SNI 1727-2013 Pasal 26.7.3)
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1,0 (SNI 1727-2013 Pasal 26.8.2)
- Faktor efek angin (G) = 0,85 (SNI 1727-2013 Pasal 26.9.1)
- Klasifikasi ketertutupan = Bangunan tertutup
- Koefisien eksposur tekanan velositas, (K_z dan K_h)

Tinggi bangunan, $z = 19,25 \text{ m}$

$Z_g = 365,76 \text{ m}$ (SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1)

$\alpha = 7$ (SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1)

$$k_z = 2,01 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{2/\alpha} = 2,01 \left(\frac{19,25 \text{ m}}{365,76 \text{ m}} \right)^{2/7} = 0,86$$

(SNI 1727 – 2013 Pasal 27.3.1)

Interpolasi untuk mencari K_h

$Z(\text{m})$	Eksposur B
18	0,85
19,25	K_h
21,3	0,89

- $K_h = 0,865$
- Tekanan velositas, (q_z atau q_h)

$$q_z = 0,613 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot k_d \cdot v^2$$

$$q_z = 0,613 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (17,49 \text{ m/s})^2$$

$$q_z = 13,81 \text{ kg/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot k_h \cdot k_z \cdot k_d \cdot v^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot 0,865 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot (17,49 \text{ m/s})^2$$

$$q_h = 13,78 \text{ kg/m}^2$$

(Berdasarkan SNI 1727 – 2013 Pasal 27.3.2)

Keterangan:

K_d = faktor arah angina, lihat pasal 26.6

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas, lihat pasal 27.3.1

K_{zt} = faktor topografi tertentu, lihat pasal 26.8.2

V = kecepatan angin dasar, lihat pasal 26.5

q_z = tekanan velositas dihitung menggunakan persamaan 27.3 -1 pada ketinggian z

q_h = tekanan velositas dihitung menggunakan persamaan 27.3 – 1 pada ketinggian atap rata – rata h.

- Koefisien tekanan eksternal (untuk dinding pada gedung)

Panjang bangunan, L = 60 m

Lebar bangunan, B = 19 m

$$\frac{L}{B} = \frac{40,5 \text{ m}}{10,7 \text{ m}} = 3,79$$

Tabel 4. 13 Koefisien Tekanan Dinding, C_p

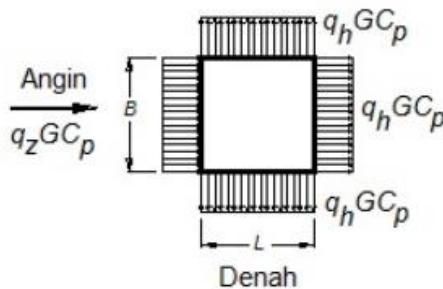
Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 – 1	- 0,5	q_h
Dinding di sisi angin pergi	2	- 0,3	
	≥ 4	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	q_h

C_p = 0,8 (Untuk dinding pada angin datang berdasarkan SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1)

C_p = -0,242 (Untuk dinding pada angin pergi berdasarkan SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1)

C_p = -0,7 (Untuk dinding pada angin tepi berdasarkan SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1)

- Pengaruh angin pada dinding



Gambar 4. 4 Pengaruh Angin pada Dinding
Pada arah angin datang,

$$\begin{aligned}
 &= q_z \cdot G \cdot C_p \\
 &= 13,81 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \\
 &= 9,39 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Pada arah angin pergi,

$$\begin{aligned}
 &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= 13,79 \text{ N/m}^2 \cdot 0,85 \cdot -0,21 \\
 &= -2,46 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Pada arah angin tepi,

$$\begin{aligned}
 &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= 26,947 \text{ N/m}^2 \cdot 0,85 \cdot -0,7 \\
 &= -8,2 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka untuk rekapitulasi beban angin yang terjadi pada setiap lantai pada bangunan ini adalah:

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Beban Angin pada setiap Lantai

Lantai bangunan	Tinggi bangunan (m)	Zg (m)	α	qz.G.Cp	qh.G.Cp	qh.G.Cp
				Datang	Pergi	Tepi
				(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	3,6	366	7	9,39	2,46	8,2
2	4,1	366	7	9,39	2,46	8,2
3	3,85	366	7	9,39	2,46	8,2
4	3,85	366	7	9,39	2,46	8,2
5	3,85	366	7	9,39	2,46	8,2

4.3.4 Beban Air Hujan (R)

Berdasarkan SNI 1727 – 2013 Pasal 8.3, beban hujan rencana adalah sebagai berikut:

$$R = 0,0098 \cdot (d_s + d_h)$$

d_s = tinggi statis

d_h = tinggi hidrolik

Apabila direncanakan $d_s = 10$ mm dan $d_h = 20$ mm, maka:

$$R = 0,0098 \cdot (10 + 20) = 0,294 \text{ kN/m}^2 = 29,4 \text{ kg/m}^2$$

4.3.5 Beban Gempa

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara Analisa dinamis 2 dimensi. Metode statik ekuivalen ditetapkan sesuai peta wilayah gempa daerah di Surabaya.

Gedung Perkantoran Graha STC merupakan bangunan bertingkat, dengan jumlah tingkat Gedung ialah 5 tingkat.

- **Tinggi Bangunan**

- H1 = 0 m
- H2 = 3,6 m
- H3 = 7,7 m
- H4 = 11,55 m
- H5 = 15,4 m
- H6 = 19,25 m

- **Berat Bangunan**

Lantai	Beban (kg)
W0	234.716,1945
W1	436.660,0627

W2	432.256,2713
W3	432.256,2713
W4	432.480,94
W5	302.204,572
W Total	2.270.574,312

- **Geser dasar seismik**

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,075 \times 2.270.574,312 \text{ kg}$$

$$V = 169.219,97 \text{ kg}$$

- **Gaya Dasar Seismik per Lantai (F)**

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 30)

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum W_i h_i^k}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 31)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

$$T = 0,667 \text{ s}$$

Ketentuan Nilai k berdasarkan pasal 7.8.3 SNI 1726 : 2012

- Nilai $T < 0,5$ detik; maka nilai $k = 1$
- Nilai $T > 2,5$ detik; maka nilai $k = 2$
- Nilai $0,5 \text{ detik} < T < 2,5 \text{ detik}$; maka nilai k dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

T	k
0,5	1
0,667	x
2,5	2

$$k = 1,0 + \left(\frac{0,667 - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) (2,0 - 1,0)$$

$$k = 1,0835$$

Tabel 4. 15 Gaya Gempa

Lantai	hx (m)	wx (kg)	wx.hx^k (kg.m)	Cvx	V=Cs.W	F1 (kg)	ex	ey	Mx (kg.m)	My (kg.m)
Lt. 1 (F1)	0	234716,19	0	0,00	169219,97	0	0,14	0,602	0	0
Lt. 2 (F2)	3,6	436660,06	1749859	0,06		10710	0,49	2,590	5241,2	27736,2617
Lt. 3 (F3)	7,7	432256,27	3948414	0,14		24165	0,49	2,590	11826	62584,6075
Lt. 4 (F4)	11,55	432256,27	6127045	0,22		37499	0,49	2,590	18352	97117,1484
Lt. 5 (F5)	15,4	432480,94	8372818	0,30		51243	0,48	2,492	24499	127711,406
Lt. Atap	19,25	302204,57	7451199	0,27		45603	0,14	2,100	6248,5	95766,2266
Jumlah		2270574,31	27649336	1	169219,97	169219,97			0	0

Cek Gaya Geser

$$V = F1+F2+F3+F4+F5+F6$$

$$169.219,97 \text{ Kg} = 169.219,97 \text{ Kg (OK)}$$

• Beban Gempa per Kolom**- Lantai 1 (dasar)**

$$\text{Fix} = 0$$

$$\text{Fiy} = 0$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly	(m^2)							
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	7,5	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	7,5	32,4					
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	7,5	24,3					
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	7,5	16,2					
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	7,5	8,1					
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	7,5	0					
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0	40,5					
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	0	32,4					
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	0	24,3					
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	0	16,2					
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	0	8,1					
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	0	0					
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	11	32,4					
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	11	24,3					
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	11	16,2					
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	11	8,1					
			4							

- Lantai 2

$$\begin{aligned}
 Mx &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\
 &= 0,9 \text{ m} \cdot 10709,520 \text{ kg} \\
 &= 9.640,246 \text{ Kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 My &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\
 &= 0,189 \text{ m} \cdot 10709,520 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$= 2023,48 \text{ kg.m}$$

$$F_{ix} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	7,5	40,5				703,0	883,4
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	7,5	32,4				703,0	797,8
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	7,5	24,3				703,0	712,1
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	7,5	16,2				703,0	626,5
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	7,5	8,1				703,0	540,9
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	7,5	0				703,0	455,3
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0	40,5				577,6	883,4
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	0	32,4				577,6	797,8
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	0	24,3				577,6	712,1
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	0	16,2				577,6	626,5
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	0	8,1				577,6	540,9
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	0	0				577,6	455,3
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	11	32,4				756,4	797,8
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	11	24,3				756,4	712,1
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	11	16,2				756,4	626,5
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	11	8,1				756,4	540,9
			4							

- Lantai 3

$$Mx = \text{Eksentrisitas } x \cdot F_3$$

$$= 0,714 \text{ m} \cdot 24165,157 \text{ kg}$$

$$= 17253,4 \text{ kg.m}$$

$$My = \text{Eksentrisitas } y \cdot F_3$$

$$= 0,219 \text{ m} \cdot 24165,157 \text{ kg}$$

$$= 5291,046 \text{ kg.m}$$

$$F_{ix} = \frac{F_3}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m^2)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	7,5	40,5	24165,2	11826,4	62584,6	1586,2	1993,2
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	7,5	32,4				1586,2	1800,1
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	7,5	24,3				1586,2	1606,9
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	7,5	16,2				1586,2	1413,7
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	7,5	8,1				1586,2	1220,6
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	7,5	0				1586,2	1027,4
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0	40,5				1303,4	1993,2
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	0	32,4				1303,4	1800,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	0	24,3				1303,4	1606,9
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	0	16,2				1303,4	1413,7
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	0	8,1				1303,4	1220,6
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	0	0				1303,4	1027,4
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	11	32,4				1706,9	1800,1
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	11	24,3				1706,9	1606,9
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	11	16,2				1706,9	1413,7
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	11	8,1				1706,9	1220,6
			4							

- Lantai 4

$$\begin{aligned}
 Mx &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_4 \\
 &= 0,714 \text{ m} \cdot 37498,856 \text{ kg} \\
 &= 26773,37 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 My &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_4 \\
 &= 0,219 \text{ m} \cdot 37498,856 \text{ kg} \\
 &= 8210,506 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_4}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_4}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m^2)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	7,5	40,5				2461,4	3093,0
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	7,5	32,4				2461,4	2793,3
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	7,5	24,3				2461,4	2493,6
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	7,5	16,2				2461,4	2193,8
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	7,5	8,1				2461,4	1894,1
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	7,5	0				2461,4	1594,3
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0	40,5				2022,6	3093,0
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	0	32,4				2022,6	2793,3
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	0	24,3				2022,6	2493,6
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	0	16,2				2022,6	2193,8
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	0	8,1				2022,6	1894,1
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	0	0				2022,6	1594,3
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	11	32,4				2648,7	2793,3
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	11	24,3				2648,7	2493,6
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	11	16,2				2648,7	2193,8
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	11	8,1				2648,7	1894,1
			4							

- Lantai 5

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_5 \\
 &= 0,702 \text{ m} \cdot 51243,476 \text{ kg} \\
 &= 35983,534 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_5 \\
 &= 0,131 \text{ m} \cdot 51243,476 \text{ kg} \\
 &= 6701,012 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_5}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_5}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m^2)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	7,5	40,5				3359,9	4188,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	7,5	32,4				3359,9	3794,0
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	7,5	24,3				3359,9	3399,8
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	7,5	16,2				3359,9	3005,6
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	7,5	8,1				3359,9	2611,5
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	7,5	0				3359,9	2217,3
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0	40,5				2774,1	4188,1
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	0	32,4				2774,1	3794,0
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	0	24,3				2774,1	3399,8
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	0	16,2				2774,1	3005,6
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	0	8,1				2774,1	2611,5
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	0	0				2774,1	2217,3
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	11	32,4				3609,9	3794,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	11	24,3				3609,9	3399,8
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	11	16,2				3609,9	3005,6
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	11	8,1				3609,9	2611,5

- **Lantai Atap**

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_6 \\
 &= 0,717 \text{ m} \cdot 45602,965 \text{ kg} \\
 &= 32704,01 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_6 \\
 &= 0,000 \text{ m} \cdot 45602,965 \text{ kg} \\
 &= 0,000 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{ix} &= \frac{F_6}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)} \\
 F_{iy} &= \frac{F_6}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}
 \end{aligned}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m^2)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	7,5	40,5				2039,0	2744,6
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	7,5	32,4				2039,0	2406,8
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	7,5	24,3				2039,0	2069,0
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	7,5	16,2				2039,0	1731,2
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	7,5	8,1				2039,0	1393,4
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	7,5	0				2039,0	1055,6
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0	40,5				1761,3	2744,6
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	0	32,4				1761,3	2406,8
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	0	24,3				1761,3	2069,0
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	0	16,2				1761,3	1731,2
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	0	8,1				1761,3	1393,4
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	0	0				1761,3	1055,6
			3							

4.3.6 Beban Lift

Beban yang bekerja akibat pergerakan *elevator* dianggap sebagai beban terpusat akibat gaya yang bekerja terhadap beban kapasitas *elevator* sendiri yang diasumsikan *elevator* akan berhenti di setiap lantai bangunan. Sedangkan beban reaksi akibat ruang mesin *lift* dan *pit lift* sudah diketahui pada katalog sesuai dengan spesifikasi *elevator* rencana.

Tabel 4. 16 Beban Reaksi Lift

Tipe	Hitch Beam Reaction (kg)	
	R1	R2
Hyundai Elevator 2P - CO	8900	6900

Maka besarnya gaya yang diakibatkan oleh pergerakan *elevator* dengan kecepatan konstan (GLB), adalah:

Dengan kapasitas massa lift adalah 1000 kg

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W = m \cdot g$$

$$N = W = 1000 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

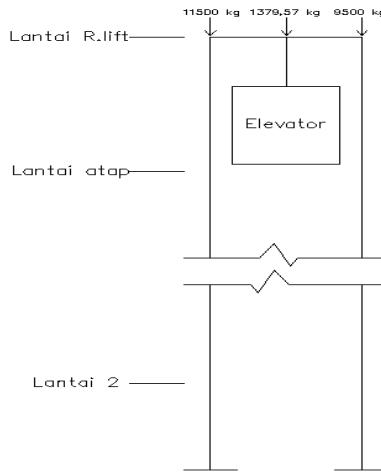
$$= 9810 \text{ N} = 9,81 \text{ kN}$$

Besarnya gaya akibat koefisien kejut, adalah:

$$\bar{N} = \left(1 + \frac{20}{(50 + L)} \right) \times N$$

$$\bar{N} = \left(1 + \frac{20}{(50 + 2,700)}\right) \times 9,81 \text{ kN}$$

$$\bar{N} = 13,53 \text{ kN} = 1379,57 \text{ kg}$$



Gambar 4. 5 Analisa Beban Lift

4.4 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur beton harus mampu memikul semua beban kombinasi pembebanan dibawah ini berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 4.2:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5Lr
3. 1,2D + 1,6L + 0,5R
4. 1,2D + 1,6Lr + 1,0L
5. 1,2D + 1,6Lr + 0,5W
6. 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5Lr
7. 1,2D + 1,0 W + 1,0L + 0,5R
8. 0,9D + 1,0W
9. 1,2D + 1,0EX + 1,0L
10. 1,2D + 1,0EY + 1,0L
11. 0,9D + 1,0EX
12. 0,9D + 1,0EY
13. $(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0\rho)EX + 1,0L \rightarrow 1,31D + 1,3EX + 1,0L$

$$14. (1,2+0,2S_{DS})D + (1,0\rho)EY + 1,0L \rightarrow 1,31D + 1,3EY + 1,0L$$

Dimana nilai :

$$S_{DS} = 0,567$$

$$\rho = 1,3 \text{ (SNI 1726-2012 Pasal 7.3.4)}$$

$$\Omega_0 = 2,5$$

Keterangan:

D : Beban Mati

Lr : Beban Hidup Atap

L : Beban Hidup

R : Beban Hujan

W : Beban Angin

E : Beban Gempa

4.5 Perhitungan Struktur

4.5.1 Pelat

4.5.1.1 Pelat Lantai

Pada perhitungan pelat lantai yang ditinjau adalah pada pelat ukuran 3,75 m x 4,05 m.

Data – data perencanaan:

$$\text{Tipe pelat} = S1$$

$$\text{Mutu beton (fc')} = 30 \text{ Mpa}$$

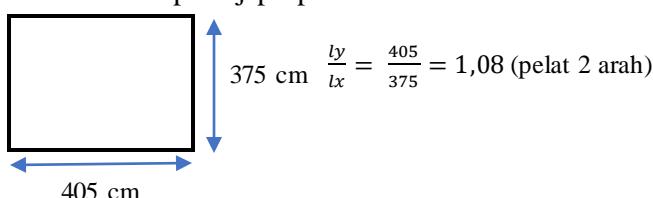
$$\text{Mutu baja tul. Lentur (fy)} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja tulangan Geser} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\emptyset = 0,8$$

Di asumsikan pelat jepit penuh



Beban Mati		
Beban Mati	Berat sendiri	288 kg/m ²
	Spesi	42 kg/m ²
	Keramik	16,5 kg/m ²
	Plafond + penggantung	16,4 kg/m ²
	Mekanikal	40 kg/m ²
	Plumbing	25 kg/m ²
	Q _{DL}	427,9 kg/m ²
Beban Hidup		
Beban Hidup	Perkantoran	240 kg/m ²
	Q _{LL}	240 kg/m ²
Beban Ultimate		
Beban Ultimate	Q _u =	1,2 Q _{DL} + 1,6 Q _{LL}
		897,48 kg/m ²

$$dx = h - \text{decking} - \left(\frac{d \cdot \text{tulangan lentur}}{2} \right)$$

$$= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{10}{2} \right)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$dy = h - \text{decking} - d \cdot \text{tulangan lentur} - \left(\frac{d \cdot \text{tulangan lentur}}{2} \right)$$

$$= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 - \left(\frac{10}{2} \right)$$

$$= 85 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{(0,85 \times f'c')} = \frac{400}{(0,85 \times 30 \text{ MPa})} = 15,68$$

$$\rho_{\text{minimum}} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{30}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f'c'x \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\text{maksimum}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,0244$$

Perhitungan momen pelat

Momen	X			
Lapangan	M_{Lx}	24,2	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	305,424 kg.m
	M_{Ly}	21	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	265,037 kg.m
Tumpuan	M_{Tx}	57,6	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	726,959 kg.m
	M_{Ty}	53,6	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	676,475 kg.m

1. Penulangan Arah X

- Tumpuan X

$$\begin{aligned} M_u &= M_{Tx} \\ &= 726,959 \text{ Kg.m} = 7.269.590 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{7.269.590}{0,8} \\ &= 9.086.987,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{9.086.987,5 \text{ Nmm}}{1000 \times 95^2} \\ &= 1,007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,007}{400}} \right) \\ &= 0,00257 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$

$0,0035 > 0,00257 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena $\rho_{\text{minimum}} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times 1,3 \\ &= 0,00257 \times 1,3 \\ &= 0,00334 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$

$0,0035 > 0,00334 < 0,024$ (Tidak oke)

$$\begin{aligned} As_{\text{Tulangan perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 95 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10-200 mm

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu
 : $392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan:

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga :

$$200\text{mm} < 2 \cdot t_{plat}$$

$$200\text{mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200\text{mm} < 240 \text{ mm (OK)}$$

Maka untuk tulangan arah sumbu X tumpuan dipasang tulangan D10 -200 mm

- **Lapangan X**

$$\begin{aligned} Mu &= M_{Lx} \\ &= 305,424 \text{ Kg.m} \\ &= 3.054.240 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\emptyset} \\ &= \frac{3.054.240}{0,8} \\ &= 3.817.800 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\ &= \frac{3.817.800}{1000 \times 95^2} \\ &= 0,423 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,423}{400}} \right) \\ &= 0,001066 \end{aligned}$$

Syarat : ρ minimum < ρ perlu < ρ maksimum
 $0,0035 > 0,001066 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena $\rho_{\text{minimum}} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times 1,3 \\ &= 0,001066 \times 1,3 \\ &= 0,001386\end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$

$$0,0035 > 0,001386 < 0,024 \text{ (Tidak oke)}$$

Karena meski ρ_{perlu} dinaikkan 30 % tetap lebih kecil dari ρ_{minimum} maka yang dipakai untuk kebutuhan tulangan yaitu $\rho_{\text{minimum}} = 0,0035$

$$\begin{aligned}\text{As Tulangan perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 95 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10 - 200 mm

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &: \text{As pasang} > \text{As perlu} \\ &: 392,69 \text{ mm}^2 > 355,1989 \text{ mm}^2 \text{ (oke)}\end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan:

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$200\text{mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}}$$

$$200\text{mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200\text{mm} < 240 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka untuk tulangan arah sumbu X lapangan dipasang tulangan D10 -200 mm.

2. Penulangan Arah Y

- Tumpuan Y

$$\begin{aligned}\text{Mu} &= M_{Ty} \\ &= 676,475 \text{ Kg.m} \\ &= 6.764.750 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{\emptyset}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{6.764.750}{0,8} \\
 &= 8.455.937,5 \text{ Nmm} \\
 &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{8.455.937,5 \text{ Nmm}}{1000 \times 85^2} \\
 &= 1,170 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,170}{400}} \right) \\
 &= 0,002997
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$
 $0,0035 < 0,002997 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena $\rho_{\text{minimum}} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times 1,3 \\
 &= 0,002997 \times 1,3 \\
 &= 0,0039
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$
 $0,0035 < 0,0039 < 0,024$ (oke)

Karena meski ρ_{perlu} dinaikkan 30 % tetap lebih kecil dari ρ_{minimum} maka yang dipakai untuk kebutuhan tulangan yaitu $\rho_{\text{perlu}} = 0,0039$

$$\begin{aligned}
 \text{As Tulangan perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,0039 \times 1000 \times 95 \\
 &= 370,185 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10-200 mm

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times b}{s} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu
 $392,5 \text{ mm}^2 > 370,185 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pda penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$200 \text{ mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}}$$

$$200 \text{ mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} (\text{OK})$$

Maka untuk tulangan arah sumbu Y tumpuan dipasang tulangan D10 -200 mm

- **Lapangan Y**

$$\begin{aligned} M_u &= M_{Ly} \\ &= 265,037 \text{ Kg.m} \\ &= 2.650.300 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\emptyset} \\ &= \frac{2.650.300}{0,8} \\ &= 3.312.875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{3.312.875 \text{ Nmm}}{1000 \times 85^2} \\ &= 0,458 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,458}{400}} \right) \\ &= 0,001147 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho \text{ minimum} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ maksimum}$

$$0,0035 > 0,001147 < 0,024 \text{ (Tidak oke)}$$

Karena $\rho \text{ minimum} > \rho \text{ perlu}$ maka $\rho \text{ perlu}$ harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \rho \text{ minimum} \times 1,3 \\ &= 0,001147 \times 1,3 \\ &= 0,00149 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho \text{ minimum} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ maksimum}$

$$0,0035 < 0,00149 < 0,024 \text{ (Tidak oke)}$$

Karena meski ρ perlu dinaikkan 30 % tetapi lebih kecil dari ρ minimum maka yang dipakai untuk kebutuhan tulangan yaitu $\rho_{\text{minimum}} = 0,0035$

$$\begin{aligned} \text{As Tulangan perlu} &= \rho \text{ perlu} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 95 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10 - 200 mm

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu
 $: 392,69 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan:

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$200 \text{ mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}}$$

$$200 \text{ mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka untuk tulangan arah sumbu Y lapangan dipasang tulangan D10 -200mm.

- Tulangan susut :

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut : } A_s &= 0,0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan pakai} = \text{D10-200} \longrightarrow A_s = 392,69 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan susut dipakai D10-200

Kesimpulan penulangan

Tumpuan	Arah X	D10-200 mm
	Arah Y	D10-200 mm
Lapangan	Arah X	D10-200 mm
	Arah Y	D10-200 mm

4.5.1.2 Pelat Kantilever

Pada perhitungan pelat lantai yang ditinjau adalah pada pelat ukuran 3,75 m x 4,05 m.

Data – data perencanaan:

Tipe pelat	= S3
Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Mutu baja tul. Lentur (f_y)	= 400 Mpa
Mutu baja tulangan Geser	= 240 Mpa
β	= 0,85
\emptyset	= 0,8

Beban Mati		
	Berat sendiri	288 kg/m ²
	Spesi	42 kg/m ²
	Plafond + penggantung	16,4 kg/m ²
	Mekanikal	40 kg/m ²
	Plumbing	25 kg/m ²
	Q_{DL}	411,4 kg/m ²
Beban Hidup		
	Perkantoran	240 kg/m ²
	Q_{LL}	96 kg/m ²
Beban Ultimate		
Q_u	=	$1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$ 647,28 kg/m ²



$$\frac{ly}{lx} = \frac{405}{167,5} = 2,4 \text{ (pelat 1 arah)}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \left(\frac{d \cdot \text{tulangan lentur}}{2} \right) \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{10}{2} \right) \\
 &= 95 \text{ mm} \\
 M_u &= \frac{1}{8} q_u \times \ell^2
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{8} 647,28 \text{ kg/m}^2 \times (4,05\text{m})^2 \\ = 1.327,12 \text{ kg.m} = 13.271.200 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= \frac{Mu}{\emptyset} \\ &= \frac{13.271.200}{0.8} \\ &= 16.589.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{b x d^2} \\
 &= \frac{16.589.000 \text{ Nmm}}{1000 x 95^2} \\
 &\equiv 1.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,8}{400}}\right) \\ &\equiv 0,0046\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Tulangan perlu} &= \rho \min \times b \times d \\ &= 0,0046 \times 1000 \times 95 \\ &= 437 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10-175 mm

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{175} \\ &= 448,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu

: $448,57 \text{ mm}^2 > 448,57 \text{ mm}^2$ (oke)

Tulangan susut :

Tulangan pakai = D10-200 → $A_s = 392,69 \text{ mm}^2$

Jadi untuk tulangan susut dipakai D10-200

Untuk tulangan balok kantilever dipasang tulangan utama D13-200 dan tulangan susut D10-200

4.5.1.3 Pelat Atap

Pada perhitungan pelat lantai yang ditinjau adalah pada pelat ukuran 3,75 m x 4,05 m.

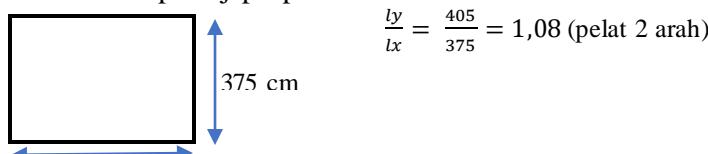
Data – data perencanaan:

Tipe pelat	= S1
Mutu beton (fc')	= 30 Mpa
Mutu baja tul. Lentur (fy)	= 400 Mpa
Mutu baja tulangan Geser	= 240 Mpa
β	= 0,85
\emptyset	= 0,8

Data pembebanan pada pelat lantai:

Beban Mati		
Berat sendiri	288	kg/m ²
Spesi	42	kg/m ²
Plafond + penggantung	16,4	kg/m ²
Mekanikal	40	kg/m ²
Plumbing	25	kg/m ²
Q_{DL}	411,4	kg/m ²
Beban Hidup		
Perkantoran	240	kg/m ²
Q_{LL}	96	kg/m ²
Beban Ultimate		
Q_u	=	$1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$
		647,28 kg/m ²

Di asumsikan pelat jepit penuh



$$\frac{ly}{lx} = \frac{405}{375} = 1,08 \text{ (pelat 2 arah)}$$

$$\begin{aligned}
 dx &= h - \text{decking} - \left(\frac{d \cdot \text{tulangan lentur}}{\frac{10}{2}} \right) \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{10}{2} \right) \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - \text{decking} - d_{\text{tulangan lentur}} - \left(\frac{d_{\text{tulangan lentur}}}{2} \right) \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 - \left(\frac{10}{2} \right) \\
 &= 85 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{(0,85 \times f'c')} \\
 &= \frac{400}{(0,85 \times 30 \text{ MPa})} = 15,68 \\
 \rho_{\text{minimum}} &= \frac{1,4}{\frac{f_y}{400}} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035 \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f'c'x_{\text{R1}}}{\frac{f_y}{600 + f_y}} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,0325 \\
 \rho_{\text{maksimum}} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen pelat

Momen	X			
Lapangan	M_{L_x}	24,2	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	220,277 kg.m
	M_{L_y}	21	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	191,150 kg.m
Tumpuan	M_{T_x}	57,6	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	524,30 kg.m
	M_{T_y}	53,6	$0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X$	487,887 kg.m

1. Penulangan Arah X

- Tumpuan X

$$\begin{aligned}
 Mu &= M_{T_x} \\
 &= 524,30 \text{ Kg.m} \\
 &= 5.243.000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
 &= \frac{5.243.000}{0,8} \\
 &= 6.553.750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{6.553.750 \text{ Nmm}}{1000 \times 95^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,726$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,726}{400}}\right) \\ &= 0,00185\end{aligned}$$

Syarat : ρ minimum < ρ perlu < ρ maksimum
 $0,0035 < 0,00185 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena ρ minimum > ρ perlu maka ρ perlu harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \rho \text{ perlu} \times 1,3 \\ &= 0,00185 \times 1,3 \\ &= 0,002405\end{aligned}$$

Syarat : ρ minimum < ρ perlu < ρ maksimum
 $0,0035 > 0,002405 < 0,024$ (Tidak oke)

$$\begin{aligned}\text{As Tulangan perlu} &= \rho \text{ min} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 95 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10-200 mm

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,669 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu
 $: 392,669 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga :

$$200mm < 2 \cdot t_{plat}$$

$$200mm < 2 \cdot 120mm$$

$$200mm < 240mm \text{ (OK)}$$

Maka untuk tulangan arah sumbu X tumpuan dipasang tulangan D10 – 200 mm

- Lapangan X

$$Mu = M_{Lx}$$

$$= 220,277 \text{ Kg.m}$$

$$= 2.202.770 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{2.202.770}{0,8} = 2.753.462,5 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{\emptyset \times Mn}{b \times d^2} = \frac{2.753.462,5 \text{ Nmm}}{1000 \times 95^2} = 0,3051$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,3051}{400}} \right) = 0,000765$$

Syarat : $\rho \text{ minimum} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ maksimum}$
 $0,0035 > 0,000765 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena $\rho \text{ minimum} > \rho \text{ perlu}$ maka $\rho \text{ perlu}$ harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \rho \text{ perlu} \times 1,3 \\ &= 0,000765 \times 1,3 \\ &= 0,000995 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho \text{ minimum} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ maksimum}$
 $0,0035 > 0,000995 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena meski $\rho \text{ perlu}$ dinaikkan 30% tetap lebih kecil dari $\rho \text{ minimum}$ maka yang dipakai untuk kebutuhan tulangan yaitu $\rho \text{ minimum} = 0,0035$.

$$\begin{aligned} \text{As Tulangan perlu} &= \rho \text{ min} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 95 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10 - 240 mm

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu

: $392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga :

$$200\text{mm} < 2 \cdot t_{plat}$$

$$200\text{mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200\text{mm} < 240 \text{ mm (OK)}$$

Maka untuk tulangan arah sumbu X lapangan dipasang tulangan D10 -200 mm

2. Penulangan Arah Y

- Tumpuan Y

$$M_u = M_{Ty}$$

$$= 487,887 \text{ Kg.m}$$

$$= 4.878.870 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{4.878.870}{0,8}$$

$$= 6.098.587,5 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{6.098.587,5}{1000 \times 85^2}$$

$$= 0,8441$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,8441}{400}} \right)$$

$$= 0,002147$$

Syarat : $\rho_{minimum} < \rho_{perlu} < \rho_{maksimum}$

$$0,0035 > 0,002147 < 0,024 \text{ (Tidak oke)}$$

Karena $\rho_{minimum} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} harus dibesarkan sebesar 30 % .

$$\rho_{perlu} = \rho_{perlu} \times 1,3$$

$$= 0,002147 \times 1,3$$

$$= 0,00279$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$
 $0,0035 > 0,00279 < 0,024$ (Tidak oke)

$$\begin{aligned} \text{As Tulangan perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 95 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10-200 mm

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu
 $: 392,69 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan:

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pda penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$200 \text{ mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}}$$

$$200 \text{ mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} (\text{OK})$$

Maka untuk tulangan arah sumbu Y tumpuan dipasang tulangan D10 -200 mm.

- Lapangan Y

$$\begin{aligned} Mu &= M_{Ly} \\ &= 191,150 \text{ Kg.m} \\ &= 1.911.500 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\frac{\emptyset}{0,8}} \\ &= \frac{1.911.500}{0,8} \\ &= 2.389.375 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{\frac{b \times d^2}{1000 \times 85^2}} \\ &= \frac{2.389.375 \text{ Nmm}}{1000 \times 85^2} \\ &= 0,331 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,331}{400}} \right)$$

$$= 0,000829$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$
 $0,0035 > 0,000829 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena $\rho_{\text{minimum}} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} harus dibesarkan sebesar 30 %

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times 1,3 \\ &= 0,000829 \times 1,3 \\ &= 0,001078\end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maksimum}}$
 $0,0035 < 0,001078 < 0,024$ (Tidak oke)

Karena meski ρ_{perlu} dinaikkan 30% tetap lebih kecil dari ρ_{minimum} maka yang dipakai untuk kebutuhan tulangan yaitu $\rho_{\text{minimum}} = 0,0035$

$$\begin{aligned}\text{As Tulangan perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 85 \\ &= 297,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan D10 - 200 mm

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat : As pasang > As perlu
 $392,69 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2$ (oke)

Kontrol jarak tulangan:

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2, disebutkan untuk spasi tulangan pda penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga :

$$200\text{mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}}$$

$$200\text{mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$200\text{mm} < 240 \text{ mm} (\text{OK})$$

Maka untuk tulangan arah sumbu Y lapangan dipasang tulangan D10 - 200mm.

- **Tulangan susut :**

$$\text{Luas tulangan susut : } A_s = 0,0018 \times 1000 \times 120 \\ = 216 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan pakai } = D10-200 \rightarrow A_s = 392,69 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan susut dipakai D10-200

Kesimpulan penulangan

Tumpuan	Arah X	D10-200 mm
	Arah Y	D10-200 mm
Lapangan	Arah X	D10-200 mm
	Arah Y	D10-200 mm

- Kontrol

Kontrol Lendutan dan Retak Beton

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \\ = 4700\sqrt{30 \text{ Mpa}} \\ = 25.742,96$$

Modulus elastisitas baja ($E_s = 200.000 \text{ Mpa}$)

Rasio modulus elastistas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000}{25.742,96} = 7,69$$

Batas lendutan maksimal (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{lx}{240} = \frac{3.750 \text{ mm}}{240} = 15,63 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat

$$I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \\ = \frac{1}{12} 1.000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}^3 \\ = 144.000.000 \text{ mm}^4$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas

$$C = n \times \frac{As \text{ pakai}}{b} \\ = 7,69 \times \frac{392,69 \text{ mm}^2}{1000 \text{ m}} = 3,02$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} [As + \frac{E_s h}{E_c 2d}] (d - c)^2 + \frac{Lx \cdot c^2}{3} \\ = 7,69 [327,25 \text{ mm}^2 + 0] (95 \text{ mm} - 2,51 \text{ mm})^2 + \frac{3200 \times 2,51^2}{3} \\ = 21.534.317,06 \text{ mm}^4$$

Momen maksimum

$$M\alpha = \frac{1}{8} \cdot Qu \cdot Lx^2 = \frac{1}{8} \cdot 647,28 \text{ kg/mm}^2 \cdot (3,75)^2 \cdot \\ = 1.137,7 \text{ Kg.m} = 11.377.968,75 \text{ Nmm}$$

Modulus keruntuhan beton (fy)

$$fr = 0,62 \lambda \sqrt{fc'} \\ = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \\ = 3,39 \text{ Mpa}$$

Momen retak (Mcr)

$$Mcr = \frac{fr.Ig}{yt} \\ = \frac{3,39 \text{ Mpa} \times 144.000.000}{120 \text{ mm}/2} \\ = 8.136.000 \text{ Nmm}$$

Momen Inersia (Ie)

$$Ie = \left(\frac{Mcr}{Ma} \right)^3 \cdot Ig + [1 - \left(\frac{Mcr}{Ma} \right)^3] \cdot Icr \\ = \left(\frac{8.136.000 \text{ Nmm}}{11.377.968,75 \text{ Nmm}} \right)^3 \cdot 144.000.000 \text{ mm}^4 + [1 - \left(\frac{8.136.000}{11.377.968,75} \right)^3] \cdot \\ 21.534.317,06 \text{ mm}^4 \\ = 13.713.433,29 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis

$$\delta e = \frac{5}{384} \left(\frac{Qu.lx^4}{Ec.Ie} \right) \\ = \frac{5}{384} \left(\frac{0,006428 \text{ N/mm}^2 \cdot 3750^4}{25742,96 \times 13.713.433,29 \text{ mm}^4} \right) \\ = 0,0472 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (p)

$$p = \frac{As}{b.d} \\ = \frac{392,69 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm}} \\ = 0,00413$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2 \\ \lambda = \frac{\xi}{1+50\rho}^2 \\ = \frac{2}{1+50 \times 0,00413} \\ = 1,65$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\begin{aligned}\delta g &= \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Q u l x^4}{E c I e} \right) \\ &= 1,65 \frac{5}{384} \left(\frac{0,006428 \text{ N/mm}^2 \cdot 3750^4}{25.742,96 \times 13.713.433,29 \text{ mm}^4} \right) \\ &= 0,0778\end{aligned}$$

Lendutan total

$$\begin{aligned}\delta_{total} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 0,0472 \text{ mm} + 0,0778 \text{ mm} \\ &= 0,125 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}\delta_{total} &< \Delta_{ijin} \\ 0,125 \text{ mm} &< 15,63 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

Tegangan ijin pada tulangan (fs)

$$f_s = 0,6 \cdot f_y = 0,6 \times 400 \text{ MPa} = 240 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}d_c &= t_{selimut} - \frac{1}{2} d_{tul} \\ &= 20 \text{ mm} - (1/2 \text{ d}_{tul}) = 15 \text{ mm}\end{aligned}$$

Luas efektif beton tarik (Ae)

$$A_e = 2 d_c S_{tul} = 2 \times 15 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} = 6.000 \text{ mm}^2$$

Nilai lebar retak

$$\begin{aligned}\omega &= 11 \cdot 10^{-6} \beta f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A_e} \\ &= 11 \cdot 10^{-6} \times 0,85 \times 240 \text{ MPa} \times \sqrt[3]{15.6000 \text{ mm}^2} \\ &= 0,101 \text{ mm}\end{aligned}$$

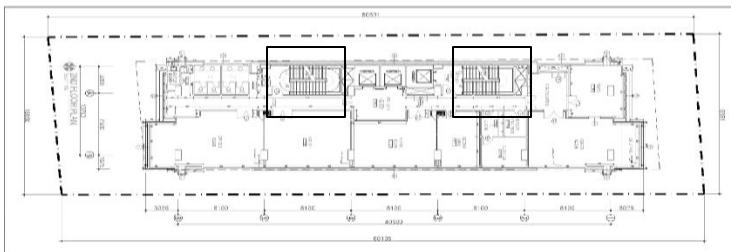
Syarat:

$$\begin{aligned}\omega &< 0,4 \text{ mm} \\ 0,101 \text{ mm} &< 0,4 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

4.5.2 Tangga dan Bordes

4.5.2.1 Desain Struktur Tangga

Struktur tangga yang didesain meliputi pelat tangga, balok tangga, pelat bordes serta balok bordes (bila memakai). Sebagai contoh perhitungan ditinjau tangga yang menghubungkan lantai 1 dengan lantai 2. Denah untuk penempatan tangga yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 6 Denah Penempatan Tangga pada Lantai Dasar

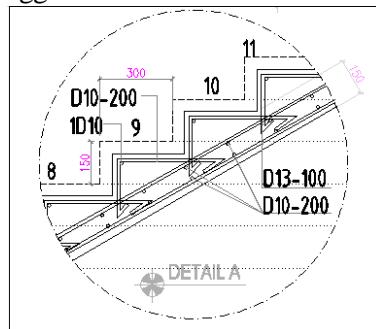
4.5.2.2 Desain Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Spesifikasi Teknik untuk pelat tangga dan pelat bordes yang didesain adalah sebagai berikut:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

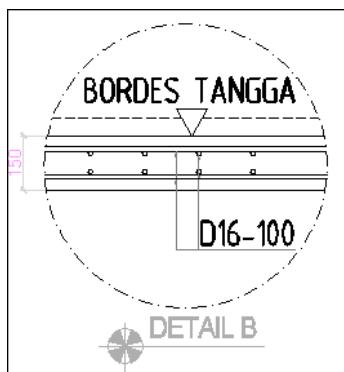
$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

Tulangan menggunakan D13



Gambar 4. 7 Potongan Tangga

Tebal pelat tangga = 150 mm



Gambar 4. 8 Potongan Bordes

Tebal pelat bordes = 150 mm

Tebal efektif pelat tangga:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas } \Delta 1 &= 0,5 \times i \times t \\
 &= 0,5 \times 300 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \\
 &= 22.500 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas } \Delta 2 &= 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \times d \\
 &= 0,5 \times (300^2 + 150^2)^{0,5} \times d \\
 &= 0,5 \times (90.000 + 22.500)^{0,5} \times d \\
 &= 167,71 \text{ mm} \times d
 \end{aligned}$$

Persamaan Luas $\Delta 1 = \Delta 2$

$$\begin{aligned}
 22.500 \text{ mm}^2 &= 167,71 \text{ mm}^2 \times d \\
 d &= \frac{22.500}{167,71} = 134,16 \text{ mm} \\
 0,5 d &= 67,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tebal efektif pelat tangga = 150 mm + 67,08 mm

$$= 217,1 \text{ mm} \approx 220 \text{ mm}$$

(Yang dipakai) = 22 cm = 0,22 m

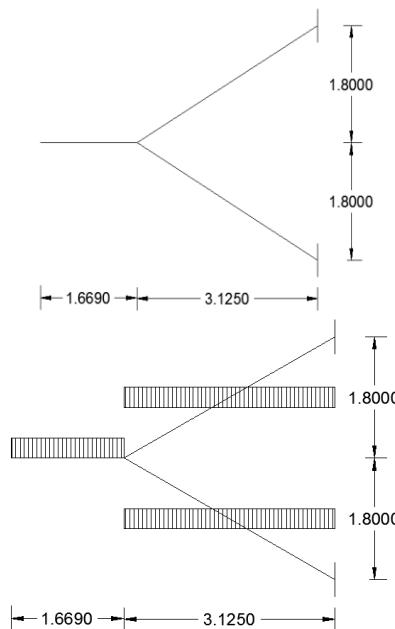
4.5.2.3 Tangga Utama

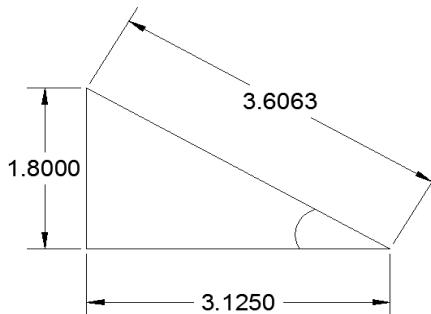
Dalam perhitungan penulangan pelat tangga utama, tangga yang dipilih adalah tangga penghubung lantai 1 dengan lantai 2. Untuk menghitung penulangan pelat tangga dan pelat bordes, menentukan momen yang terjadi pada pelat dengan 2 cara yaitu dihitung dengan menggunakan metode *cross* dan berdasarkan pada *output* aplikasi SAP 2000. Dari kedua hasil

momen tersebut diambil nilai terbesar untuk menghitung penulangan pelat tangga dan pelat bordes.

- Data – data perencanaan

= Tangga Utama – 1
Mutu beton (f_c') = 30 MPa
Mutu baja tul. Lentur (f_y) = 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y) = 240 MPa
β = 0,85
φ = 0,8
Tebal pelat tangga = 22 cm
Tebal pelat bordes = 15 cm
Diameter tulangan lentur = 13 mm
Diameter tulangan susut = 10 mm
- Perhitungan penulangan pelat:
 - Momen pelat:
 - **Metode Cross**





Panjang miring tangga = $\sqrt{(3,125)^2 + (1,80)^2} = 3,606 \text{ m}$

$$\sin \alpha = \frac{1,80}{3,606} = 0,4992$$

$$\cos \alpha = \frac{3,125}{3,606} = 0,867$$

4.5.2.4 Pembebanan pelat tangga dan pelat bordes

Pelat tangga dan pelat bordes menerima kombinasi beban ultimate dari beban mati dan beban hidup.

1. Beban mati (DL)

Beban mati untuk tangga:

$$\text{Berat sendiri} = 0,22 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 528 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik + spesi} = 57 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{qDL Total} = 585 \text{ kg/m}^2$$

Beban mati untuk bordes:

$$\text{Berat sendiri} = 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik + spesi} = 57 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{qDL Total} = 417 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban hidup (LL)

$$\text{Beban hidup tangga / bordes} = 479 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{qLL Total} = 479 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban ultimate

Beban ultimate untuk tangga:

$$Q_u \text{ tangga} = 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL}$$

$$= 1,2 \cdot 585 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \cdot 479 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1.468,4 \text{ kg/m}^2$$

Beban ultimate untuk bordes:

$$\begin{aligned} Qu \text{ bordes} &= 1,2 qDL + 1,6 qLL \\ &= 1,2.417 \text{ kg/m}^2 + 1,6.479 \text{ kg/m}^2 \\ &= 1.266,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban merata yang terjadi pelat:

q tangga

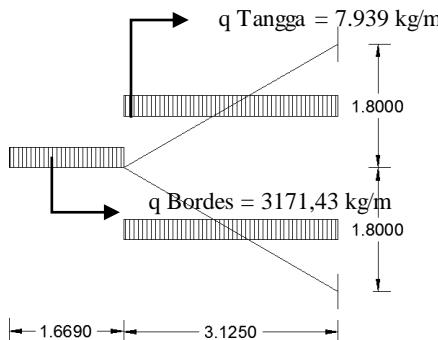
$$\begin{aligned} q &= Qu \text{ tangga} \times \text{lebar tangga} \\ &= 1.468,4 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 2.202,6 \text{ kg/m} \\ q \text{ datar} &= \frac{qtangga}{\cos\alpha} \\ &= \frac{2.202,6 \text{ kg/m}}{0,867} \\ &= 2.540,48 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

q bordes

$$\begin{aligned} q &= Qu \text{ bordes} \times \text{lebar tangga} \\ &= 1.266,8 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 1.900,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4.5.2.5 Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Untuk menghitung gaya – gaya yang terjadi pada pelat tangga dan bordes, maka digunakan penyelesaian dengan cara cross / distribusi momen:



Gambar 4. 9 Beban yang terjadi pada Pelat Tangga dan Bordes

Penyelesaian untuk cross/distribusi momen:

$$\begin{aligned}\mu_{BA}; \mu_{BC}; \mu_{BD} &= \frac{4EI}{L} : \frac{0EI}{L} : \frac{4EI}{L} \\ &= \frac{4EI}{3,125} : \frac{0EI}{1,669} : \frac{4EI}{3,125} \\ &= 1,28 EI : 0 : 1,28 EI\end{aligned}$$

$$\mu_{BA} = \frac{1,28 EI}{1,28 EI + 0 + 1,28 EI} = 0,5$$

$$\mu_{BC} = \frac{0 EI}{1,28 EI + 0 + 1,28 EI} = 0$$

$$\mu_{BD} = \frac{1,28 EI}{1,28 EI + 0 + 1,28 EI} = 0,5$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}\sum \mu &= 1 \\ 0,5 + 0 + 0,5 &= 1 (\text{OK!})\end{aligned}$$

Momen primer (MF) yang terjadi:

$$\begin{aligned}MF_{BA} &= \frac{1}{12} \cdot qtangga \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 2.540,48 \cdot 3,125^2 \\ &= 2.067,45 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MF_{AB} &= -\frac{1}{12} \cdot qtangga \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \cdot 2.540,48 \cdot 3,125^2 \\ &= -2.067,45 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MF_{BC} &= -\frac{1}{2} \cdot qbordes \cdot L^2 = -\frac{1}{2} \cdot 1.900,2 \cdot 1,669^2 \\ &= -2.646,56 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MF_{DB} &= -\frac{1}{12} \cdot qtangga \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \cdot 2.540,48 \cdot 3,125^2 \\ &= -2.067,45 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MF_{BD} &= \frac{1}{12} \cdot qtangga \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 2.540,48 \cdot 3,125^2 \\ &= 2.067,45 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

Tabel 4.17 Penyelesaian Perhitungan Cross

Titik	A	B			D
Batang	AB	BA	BC	BD	DB
FD	0	-0,5	0	-0,5	0
MF	-2067,4	2067,4	-2646,5	2067,4	-2067,4
MD	0	-744,17	0	-744,17	0

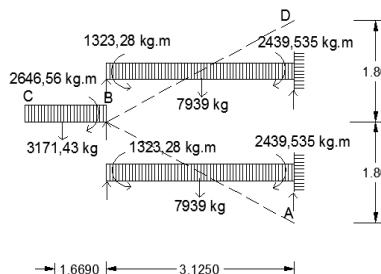
MI	-372,1	0	0	0	-372,1
MD	0	0	0	0	0
M akhir	-2439,5	1323,28	-2646,5	1323,28	-2439,5

$$\text{Kontrol, } \sum M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} + M_{BD} = 0$$

$$1323,28 \text{ kg.m} - 2646,56 \text{ kg.m} + 1323,28 \text{ kg.m} = 0$$

0 = 0 (OK!)



Gambar 4. 10 Free Body Diagram pada Pelat Tangga dan Bordes

Batang BC

$$\sum MC = 0$$

$$-Vb \cdot 1,669 + q \cdot L \cdot 1/2L + M_{BC} = 0$$

$$-Vb \cdot 1,669 + 1900,2 \cdot 1,669 \cdot 0,8345 + 2646,56 = 0$$

$$-Vb \cdot 1,669 = -5293,122$$

$$= 3171,43 \text{ kg} (\uparrow)$$

$$\sum V = 0$$

$$= 3171,43 - 3171,43 = 0 \text{ (OK)}$$

Batang BD

$$\sum MB = 0$$

$$-Vd \cdot 3,125 + q \cdot L \cdot 1/2L + M_{bd} - M_{bd} = 0$$

$$-Vd \cdot 3,125 + 2540,48 \cdot 3,125 \cdot 1,5625 + 2439,535 - 1323,28 = 0$$

$$-Vd \cdot 3,125 = -13520,9425$$

$$= 4326,7016 \text{ kg} (\uparrow)$$

$$\sum MD = 0$$

$$-Vb \cdot 3,125 - q \cdot L \cdot 1/2L + M_{db} + M_{bd} = 0$$

$$-Vb \cdot 3,125 - 2540,48 \cdot 3,125 \cdot 1,5625 + 2439,535 - 1323,28 = 0$$

$$-Vb \cdot 3,125 = 11288,4325$$

$$= 3612,2984 \text{ kg} (\uparrow)$$

$$\sum V = 0$$

$$= 4326,7016 + 3612,2984 - 7939 = 0 \text{ (OK)}$$

Batang BA

$$\sum MB = 0$$

$$-Va \cdot 3,125 + q \cdot L \cdot 1/2L - M_{ba} + M_{ab} = 0$$

$$-Va \cdot 3,125 + 2540,48 \cdot 3,125 \cdot 1,5625 - 1323,28 + 2439,535 = 0$$

$$-Va \cdot 3,125 = -13520,9425$$

$$= 4326,7016 \text{ kg} (\uparrow)$$

$$\sum MA = 0$$

$$-Vb \cdot 3,125 - q \cdot L \cdot 1/2L - M_{ba} + M_{ab} = 0$$

$$-Vb \cdot 3,125 - 2540,48 \cdot 3,125 \cdot 1,5625 - 1323,28 + 2439,535 = 0$$

$$-Vb \cdot 3,125 = 11288,4325$$

$$= 3612,2984 \text{ kg} (\uparrow)$$

$$\sum V = 0$$

$$= 4326,7016 + 3612,2984 - 7939 = 0 \text{ (OK)}$$

Momen Maksimal

Batang DB

$$D = 0$$

$$0 = -Vd + q \cdot x$$

$$0 = -4326,7016 \text{ kg} + 2540,48 \text{ kg/m. } x$$

$$X = 1,703 \text{ m} \quad (dari titik c)$$

$$M_{max} = +Vd \cdot x - q \cdot x \cdot 1/2x$$

$$= +4326,7016 \cdot 1,703 - (2540,48 \text{ kg/m. } 1,703 \text{ m}) \cdot 1/2$$

$$1,703 \text{ m}$$

$$= 7368,373 - 3683,961$$

$$= 3684,4115 \text{ kg.m}$$

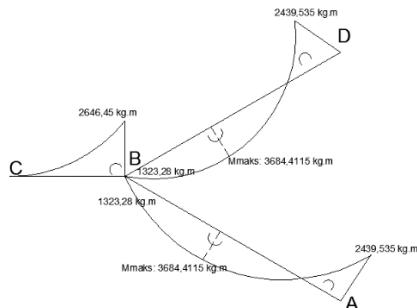
Batang AB

$$D = 0$$

$$0 = -Va + q \cdot x$$

$$0 = -4326,7016 \text{ kg} + 2540,48 \text{ kg/m. } x$$

$$\begin{aligned}
 X &= 1,703 \text{ m} && (\text{dari titik } c) \\
 M_{\max} &= + V_a \cdot x - q \cdot x \cdot 1/2x \\
 &= + 4326,7016 \cdot 1,703 - (2540,48 \text{ kg/m} \cdot 1,703 \text{ m}) \cdot 1/2 \\
 &\quad 1,703 \text{ m} \\
 &= 7368,373 - 3683,961 \\
 &= 3684,4115 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 11 Lendutan Batang

- Output SAP 2000

- Tangga

$$M_{11} = 2.864,59 \text{ Kg.m}$$

$$M_{22} = 6.346,84 \text{ Kg.m}$$

- Bordes

$$M_{11} = 6.417,25 \text{ Kg.m}$$

$$M_{22} = 3.157,03 \text{ Kg.m}$$

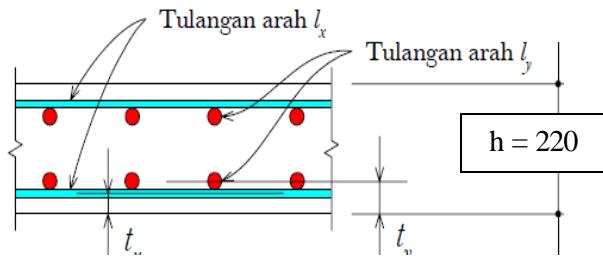
- Perhitungan tulangan:

$$\text{Tebal decking} \quad = 20 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan rencana Tangga} \quad = 13 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan rencana Bordes} \quad = 16 \text{ mm}$$

Tinggi Manfaat:

Pelat tangga:

$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 220 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 6,5 \text{ mm} \\ &= 193,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 220 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 6,5 \text{ mm} \\ &= 180,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pelat bordes

$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 8 \text{ mm} \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - d_{\text{rencana}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - 8 \text{ mm} \\ &= 106 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 0,836}{400 \text{ MPa}} \right) \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,0398 \cdot 0,6 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 30} \end{aligned}$$

$$= 15,69$$

• **PENULANGAN PELAT TANGGA**

- **Arah X**

$$\text{Mu} = 6.346,84 \text{ Kg.m} = 63.468.400 \text{ N.mm}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{\varphi} = \frac{63.468.400}{0,8} = 79.335.500 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{\text{Mn}}{b \cdot dx^2} = \frac{79.335.500}{1000 \cdot 193,5^2} = 2,119 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) =$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot 2,119}{400}} \right) =$$

$$\rho = 0,064 \cdot (1 - 0,913)$$

$$\rho = 0,00557$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00557 < 0,024 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00557 \cdot 1000 \cdot 193,5$$

$$= 1.077,408 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: Smaks \leq 2h

$$\text{Smaks} = 2 \text{ (220)}$$

$$\text{Smaks} = 440$$

Dipakai tulangan D - 13

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{As} =$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{3,14 \cdot 13^2 \cdot 1000}{1.077,408} = 123,133 \text{ mm}$$

Maka dipakai S = 100 mm

Kontrol jarak tulangan:

$$\text{Smaks} \geq \text{Stul}$$

$$440 > 100 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Tulangan yang dipakai: D - 13

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right) \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \cdot \left(\frac{1000}{100}\right) \\
 &= 1.326,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

AS pakai > AS perlu

$$1.326,65 \text{ mm}^2 > 1.201,248 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah X digunakan D 13 – 100 mm.

Arah Y

$$Mu = 2.864,59 \text{ Kg.m} = 28.645.900 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{28.645.900}{0,8} = 35.807.375 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dy^2} = \frac{35.807.375}{1000 \cdot 180,5^2} = 1,099 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}}\right) =$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot 1,099}{400}}\right) =$$

$$\rho = 0,064 \cdot (1 - 0,956)$$

$$\rho = 0,00282$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00282 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka ρ diperbesar 30%, $\rho = 0,00282 \times 1,3 = 0,00366$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00366 \cdot 1000 \cdot 180,5$$

$$= 660,774 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $Smaks \leq 2h$

$$Smaks = 2 \cdot (220)$$

$$Smaks = 440$$

Dipakai tulangan D -13

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{As} =$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{3,14 \cdot 13^2 \cdot 1000}{660,774} = 200,772 \text{ mm}$$

Maka dipakai $S = 100 \text{ mm}$

Kontrol jarak tulangan:

$\text{Smaks} \geq \text{Stul}$

$440 \text{ mm} > 100 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Tulangan yang dipakai: $D - 13$

$$\begin{aligned} \text{AS}_{\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \cdot \left(\frac{1000}{100}\right) \\ &= 1.326,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$\text{AS}_{\text{pakai}} > \text{AS}_{\text{perlu}}$

$1.326,65 \text{ mm}^2 > 660,774 \text{ mm}^2$ (Memenuhi)

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah Y digunakan $D 13 - 100 \text{ mm}$

- Tulangan susut dan suhu

$$\rho_{\text{susut}} = 0,0018$$

$$\text{AS}_{\text{susut}} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 180,5$$

$$= 324,9 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $\text{Smaks} \leq 5h \leq 450 \text{ mm}$

$$\text{S}_{\text{maks}} = 5 \cdot (220 \text{ mm})$$

$$\text{S}_{\text{maks}} = 1100 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $D - 10$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{\text{As}}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{3,14 \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{324,9 \text{ mm}^2}$$

$$S = 241,613 \text{ mm}$$

Maka diapakai $S = 200 \text{ mm}$

Kontrol jarak tulangan:

$\text{S}_{\text{maks}} \geq \text{S}_{\text{tul}}$

$1100 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$ (Memenuhi)

Tulangan yang dipakai: $D10 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Spakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right) \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (10\text{mm})^2 \cdot \left(\frac{1000\text{ mm}}{200\text{ mm}}\right) \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$A_{\text{Spakai}} > A_{\text{Susut}}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 324,9 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, untuk tulangan susut pelat tangga digunakan D13 – 200 mm

- **PENULANGAN PELAT BORDES**

- **Arah X**

$$Mu = 6.417,25 \text{ Kg.m} = 64.172.500 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{64.172.500 \text{ N.mm}}{0,8} = 80.215.625 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} = \frac{80.215.625 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (122\text{mm})^2} = 5,389 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}}\right) =$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,69.5,389}{400}}\right) =$$

$$\rho = 0,064 \cdot (1 - 0,760) = 0,0154$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0154 < 0,024 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$A_{\text{Sperlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0154 \times 1000 \text{ mm} \times 122$$

$$= 1.873,92 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2 \cdot (150)$$

$$S_{\text{maks}} = 300$$

Dipakai tulangan D – 16

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{As} =$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{3,14 \cdot (16mm)^2 \cdot 1000mm}{1.873,92 mm^2}$$

$$S = 107,24 \text{ mm}$$

Maka dipakai $S = 100 \text{ mm}$

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\max} \geq S_{\text{tul}}$$

$$300 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Tulangan yang dipakai: D 16 – 100 mm

$$\begin{aligned} AS_{\text{pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (16mm)^2 \cdot \left(\frac{1000mm}{100 \text{ mm}}\right) \\ &= 2.009,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$AS_{\text{pakai}} > AS_{\text{perlu}}$$

$$2.009,6 \text{ mm}^2 > 1.873,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah X digunakan D 16 – 100 mm

Arah Y

$$Mu = 3.157,03 \text{ Kg.m} = 31.570.300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{31.570.300 \text{ N.mm}}{0,8} = 39.462.875 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} = \frac{39.462.875 \text{ N.mm}}{1000 \cdot (106mm)^2} = 3,512 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) =$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,69.3,512}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,064 \cdot (1 - 0,8512) = 0,0095$$

Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0095 < 0,024 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$AS_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0095 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 106 \text{ mm}$$

$$= 1.007 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{maks} \leq 2h$

$S_{maks} = 2 (150)$

$S_{maks} = 300 \text{ mm}$

Dipakai tulangan D -16

$$S = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{As} = \\ S = \frac{1}{4} \cdot \frac{3,14 \cdot 16^2 \cdot 1000}{1.007}$$

$$S = 199,56 \text{ mm}$$

Maka dipakai $S = 100 \text{ mm}$

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{maks} \geq S_{tul}$$

$$300\text{mm} > 100 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai: D 16 – 100 mm

$$As_{paku} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{s}\right) \\ = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \cdot \left(\frac{1000}{100}\right) \\ = 2.009,6 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$AS_{paku} > AS_{perlu}$$

$$2.009,6 \text{ mm}^2 > 1.007 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, untuk tulangan pelat tangga arah Y digunakan D 16 – 100 mm

- Kesimpulan penulangan:

Pelat Tangga	Arah X	D 13 – 100 mm
	Arah Y	D 13 – 100 mm
	Susut	D 10 – 200 mm
Pelat Bordes	Arah X	D 16 – 100 mm
	Arah Y	D 16 – 100 mm

4.5.3 Balok

4.5.3.1 Perhitungan Balok Induk Memanjang

Pada perhitungan penulangan balok induk, balok induk yang dihitung secara manual adalah balok induk yang

mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Untuk perhitungan penulangan balok yang lain akan digunakan tabel pada program bantu Microsoft Excel.

Perhitungan tulangan balok induk diambil dari data balok induk memanjang (400 x 600) mm as joint B (5-6) pada elevasi $\pm 15,4$ m. Berikut ialah data perencanaan balok induk, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

Data Perencanaan:

As balok	: B (5-6)
Bentang balok (L balok)	: 8100 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3850 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

[*SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1*]

Jarak spasi tulangan antar lapis (s)	: 25 mm
--------------------------------------	---------

[*SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2*]

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
---------------------------------	---------

[*SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.(1)*]

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

[*SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3)*]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
---	-------

[*SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)*]

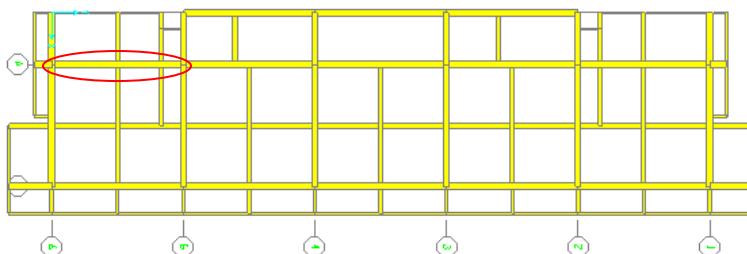
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Untuk lokasi balok yang ditinjau adalah :

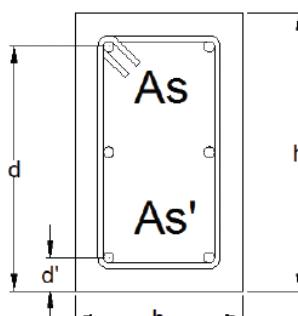


Gambar 4. 12 Peninjauan Balok Memanjang AS B (5 – 6)

Perhitungan penulangan balok:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 600 - 40 - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 538,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 12 + (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 13 Tinggi Efektif Balok

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok. Untuk

hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex

Momen torsi = 28.638.612,39 Nmm

Hasil Output Diagram Axial



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex

Momen axial = 18.312,93 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex

Momen Lentur tumpuan Kanan = 185.680.285 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex

Momen Lentur Lapangan = 166.260.556,3 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ey + 0,3 Ex

Momen Lentur tumpuan kiri = 315.548.435 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 ,Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom



Gaya geser terfaktor Vu = 177.016,13 N

Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi =

$$\frac{Ag xfc'}{10} = \frac{400 \times 600 \times 30}{10} = 720.000 N$$

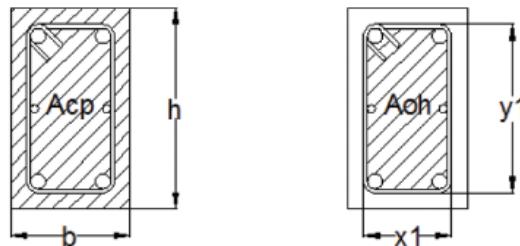
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2DL + 1,6 LL + Ey + 0,3 Ex pada komponen struktur sebesar 18.312,93 N sesuai dengan persamaan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2)

$$Pu < \frac{Ag xfc'}{10}$$

$$18.312,93 N < 720.000$$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



Gambar 4. 14 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$\begin{aligned}
 &= 400 \times 600 \\
 &= 240.000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\
 &= 2.000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - \\
 &\quad 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (400\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 12\text{mm}) \times (600\text{mm} - \\
 &\quad (2.40\text{mm}) - 12\text{mm}) \\
 &= 156.464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - \\
 &\quad 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(400 - 2.40 - 12) + (600 - 2.40 - 12)] \\
 &= 1.632 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.3.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + Ey + 0,3 Ex

$T_u = 28.638.612,39 \text{ Nmm}$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{28.638.612,39}{0,75} = 38.184.816,52 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$V_u = 177.016,13 \text{ N}$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada:

$$T_{u min} = \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{240.000^2}{2.000} \right) = 9.819.570 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} Tu_{max} &= \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{240.000^2}{2.000} \right) \\ &= 39.041.663,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat:

$Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu$

$9.819.570 \text{ Nmm} < 38.184.816,52 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{memerlukan tulangan puntir})$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 \times Aoh^2}\right)^2} \leq \emptyset \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{fc} \times b \times d}{b \times d} + \left(\frac{2\sqrt{fc}}{3} \right) \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{177.016,13}{400 \times 538,5}\right)^2 + \left(\frac{38.184.816,52 \times 1.632}{1,7 \times 156.464^2}\right)^2} \leq \emptyset \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 400 \times 538,5}{400 \times 538,5} + \left(\frac{2\sqrt{30}}{3} \right) \right)$$

$$1,708 \leq 3,42 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$Al = \frac{At}{s} P_h \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah:

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times Fyt}{s} \cot \theta$$

Untuk beton non prategang $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } Ao &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 156.464 \\ &= 132.994 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fyt \times \cot \theta} \\ &= \frac{38.184.816,52}{2 \times 132.994 \times 400 \times \cot 45^\circ} \\ &= 0,478 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned} Al &= 0,478 \times 1.632 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45^\circ \\ &= 780,096 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan:

$$\begin{aligned} Al_{min} &= \frac{5x\sqrt{fc'}xAc_p}{12F_y} - \left(\frac{At}{s} \right) Ph \frac{Fyt}{F_y} \\ &= \frac{0,42x\sqrt{30}x240.000}{400} - 0,478 \times 1.632 \frac{400}{400} \\ &= 588,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan $\frac{At}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{bw}{fyt}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,175$$

Maka nilai $\frac{At}{s} > 0,175 \rightarrow (\text{memenuhi})$

Kontrol:

$Al_{perlu} \leq Al_{min}$ maka gunakan Al_{min}

$Al_{perlu} \geq Al_{min}$ maka gunakan Al_{perlu}

$$780,096 \text{ mm}^2 \geq 588,35 \text{ mm}^2 \text{ (maka gunakan Al perlu)}$$

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar $780,096 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{780,096}{4} = 195,024 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang:

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $193,47 \text{ m}^2$

pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2x \frac{Al}{4} = 2x \frac{780,096}{4} = 390,048 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{As}{\frac{Luasan D puntir}{390,048}}$$

$$n = \frac{0,25 \pi 16^2}{0,25 \pi 16^2}$$

$$= 1,94 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 2D16

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$As = n \times Luasan D puntir$$

$$= 2 \times 0,25 \pi 16^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang \geq As perlu

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 390,048 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 2D16

4.5.3.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur

- **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:
 $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ Ey} + 0,3 \text{ Ey}$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) x d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 538,5 \\ &= 323,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 323,1 \\ &= 242,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 x 30 x 400 x 0,85 x 100 \\ &= 867.000 N \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} sc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{867.000}{400} \\ &= 2.167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc x F_y x \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\ &= 2.167,5 x 400 x \left(538,5 - \frac{0,85 x 100}{2} \right) \\ &= 430.032.000 Nmm \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{tumpuan} = 291.634.665 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{315.548.435}{0,8}$$

$$Mn = 394.435.543,75 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = Mn - M_{nc}$$

$$= 394.435.543,75 \text{ Nmm} - 430.032.000 \text{ Nmm}$$

$$= -35.596.456,25 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -35.596.456,25 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{F_y} x \frac{600}{600 + F_y} = 0,032$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{M_u}{\phi} = \frac{315.548.435}{0,8} = 394.435.543,75 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{394.435.543,75}{400 \times 538,5^2} = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,4)}{400}} \right]$$

$$= 0,0092$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0092 < 0,024 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0092 \times 400 \times 538,5$$

$$= 1.972,91 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 195,24 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$As \text{ perlu} = 1.972,91 + 195,24$$

$$= 2.168,14 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{2.168,14}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 7,6 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 8 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 2.268,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$2.268,2 \text{ mm}^2 > 2.168,14 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,30 As$$

$$= 0,30 \times 2.268,2$$

$$= 680,47$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{680,47}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 2,4 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$850,59 \text{ mm}^2 > 680,47 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 2 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (8 \times 19)}{8 - 1} \\ &= 20,57 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$20,57 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Tidak memenuhi)

Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis dengan rencana :

Tulangan tarik lapis satu 4D19

Tulangan tarik lapis satu 4D19

- Kontrol Tulangan Tarik (lapis satu = lapis dua)

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{4 - 1} \end{aligned}$$

$$= 220 \text{ mm}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi)}{n-1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 19)}{3-1}$$

$$= 119,5 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$119,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil „dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom.Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$.

[*SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)*]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 8 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 2.268,2 \text{ mm}^2$$

As' pasang = n pasang x luasan D lentur

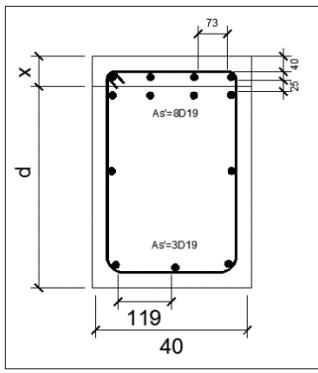
$$= 850,58 \text{ mm}^2$$

$$M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$$

$$850,58 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 2.268,2 \text{ mm}^2$$

$$850,58 \text{ mm}^2 \geq 756,08 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang



As pakai tulangan tarik 8D19 =
2.268,2 mm²

As pakai tulangan tekan 3D19 =
850,58 mm²

$$d \text{ (aktual)} = 600 - (40\text{mm} + 10\text{mm} + 19\text{mm} + \frac{1}{2} 25\text{mm}) = 518,5 \text{ mm}$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right) \\ = \left(\frac{(2.268,2 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 88,95 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ = 2.268,2 \times 400 \times \left(518,5 - \frac{88,95}{2} \right) \\ = 430.277.540 \text{ Nmm}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

430.277.540 Nmm > 394.435.543,75 Nmm (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) As B (5-6) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis, Lapis = 8D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 3D19

• Dae rah Tumpuan Kanan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+Fy} \right) \times d \\ = \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 538,5 \\ = 323,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times Xb \\ = 0,75 \times 323,4$$

$$= 242,55 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 61,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100$$

$$= 867.000 \text{ N}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{F_y}$$

$$= \frac{867.000}{400}$$

$$= 2.167,5 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 2.167,5 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 430.465.500 \text{ Nmm}$$

$$\text{Mu}_{\text{tumpuan}} = 185.680.285 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\emptyset}$$

$$M_n = \frac{185.680.285}{0,8}$$

$$M_n = 232.100.356 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 232.100.356 \text{ Nmm} - 430.032.000 \text{ Nmm}$$

$$= -197.931.643,8 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -197.931.643,8 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Penercanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_{c'}^{'}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_{c'}^{\prime} \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{185.680.285}{0,8} = 232.100.356 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{232.100.356}{400 \times 538,5^2} = 2 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (2)}{400}} \right] \\ &= 0,0052 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0052 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0052 \times 400 \times 538,5$$

$$= 1.123,49 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik , maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 195,24 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= 1.123,49 + 195,24 \\ &= 1.318,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{1.318,73}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 4,65 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$1417,64 \text{ mm}^2 > 1.318,73 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 1417,64 \\ &= 425,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{425,29}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 1,96 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$567,06 \text{ mm}^2 > 425,29 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$ = 25 mm → susun 1 lapis

$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}}$ = 25 mm → susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 5D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{4 - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$= 50,25 \text{ mm}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$50,25 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{2 - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 258 \text{ mm}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$258 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(I)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1417,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 576,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$576,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1417,6 \text{ mm}^2$$

$$576,06 \text{ mm}^2 \geq 472,55 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 5D19 = 1417,6 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai tulangan tekan } 2D19 = 576,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(1417,6 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right) \end{aligned}$$

$$a = 55,59 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1417,6 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{55,59}{2} \right) \\ &= 397.007.148,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$289.597.990 \text{ Nmm} > 232.100.356,25 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) As B (1-2) untuk daerah tumpuan kanan:

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis, Lapis 1 = 5D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis 1 = 2D19

- Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,6 LL + Ey + 0,3 Ex$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+Fy} \right) x d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 538,5 \\ &= 323,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 323,1 \\ &= 242,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 x 30 x 400 x 0,85 x 100 \\ &= 867.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{867.000}{400} \\ &= 2.167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc x Fy x \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\ &= 2.167,5 x 400 x \left(538,5 - \frac{0,85 x 100}{2} \right) \\ &= 430.465.500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{166.260.556,30}{0,8}$$

$$Mn = 195.600.654,47 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 195.600.654,47 \text{ Nmm} - 430.465.500 \text{ Nmm}$$

$$= -234.431.345,5 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -234.431.345,5 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{166.260.556,30}{0,8} = 195.600.654,47 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{195.600.654,47}{400 \times 538,5^2} = 1,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,68)}{400}} \right]$$

$$= 0,0044$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0035 < 0,0044 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0044 \times 400 \times 538,5$$

$$= 940,27 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik , maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 195,24 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$As \text{ perlu} = 940,27 + 195,24$$

$$= 1.135,51 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{1.135,51}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 4,004 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1417,64 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$1417,64 \text{ mm}^2 > 1.135,51 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 1417,64$$

$$= 425,29 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{425,29}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 1,96 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,06$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$567,06 \text{ mm}^2 > 425,29 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{4 - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$= 50,25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$50,25 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{2 - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 258 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$258 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$As\ pasang = n\ pasang \times luasan\ D\ lentur$$

$$\begin{aligned} &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1417,6\ mm^2 \end{aligned}$$

$$As'\ pasang = n\ pasang \times luasan\ D\ lentur$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 576,06\ mm^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$$

$$576,06\ mm^2 \geq \frac{1}{3} 1417,6\ mm^2$$

$$576,06\ mm^2 \geq 472,55\ mm^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As\ pakai\ tulangan\ tarik\ 5D19 = 1417,6\ mm^2$$

$$As\ pakai\ tulangan\ tekan\ 2D19 = 576,06\ mm^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As\ pakai\ tul\ tarik\ x\ Fy)}{0,85\ x\ f\ c'\ x\ b} \right) \\ &= \left(\frac{(1417,6\ x\ 400)}{0,85\ x\ 30\ x\ 400} \right) \end{aligned}$$

$$a = 55,59\ mm$$

$$Mn\ pasang = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1417,6 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{55,59}{2} \right)$$

$$= 397.007.148,8 \text{ Nmm}$$

Maka: M_n _{pasang} > M_n _{perlu}

289.597.990 Nmm > 195.600.654,47 Nmm (**memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1(40/60) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 5D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis , Lapis 1 : 5D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis, Lapis 1: 2D19

Type Balok	B1 1, B2 1, B3 1, B4 1, B5 1	
Penampang		
Tul. Atas	4D19	2D19
Tul. Bawah	4D19	5D19
Tul. Tengah	2D16	2D16
Sengkang	D12-100	D12-150
Dimensi	400 x 600	400 x 600
Letauk	Tumpuan	Lapangan

Gambar 4. 15 Penulangan Balok Induk Memanjang 40/60

4.5.3.1.3 Pehitungan Penulangan Geser

Dimensi balok (b balok) : 400 mm

Dimensi balok (h balok) : 600 mm

Kuat tekan beton (fc') : 30 MPa

Kuat leleh tulangan geser (fyv) : 240 MPa

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm

β_1 : 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B 5-1 (40/60) As B (5-6), didapat:

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut:

$$\text{As pakai tulangan tarik } 8\text{D19} = 2.268,2 \text{ mm}^2$$

As pakai tulangan tekan 3D19 = 850,59 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 \times f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(2.268,2 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 88,95 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2.268,2 \times 400 \times \left(518,5 - \frac{88,95}{2} \right)$$

$$= 430.277.540 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 8D19 = 2.268,2 mm²

As pakai tulangan tekan 3D19 = 850,59 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 \times f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(850,59 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 33,35 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 850,59 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{33,35}{2} \right)$$

$$= 177.542.549 \text{ Nmm}$$

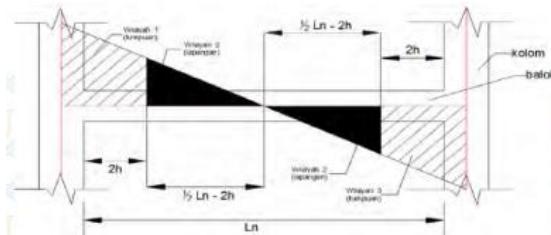
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL + 1,0Ey + 0,3Ex, dari analisa SAP 2000 didapatkan:

Gaya geser terfaktor Vu = 177.016,13 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang. (*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 16 Pembagian Wilayah Geser pada Balok
Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa (*SNI 03-2847-2013*).

$$\sqrt{f'_c} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (**memenuhi**)}$$

Kuat Geser Beton

[*SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1*]

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b x d \\ &= 0,17 x \sqrt{30} x 400 x 538,5 \\ &= 196.814,97 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} Vs \min &= \frac{1}{3} x b x d \\ &= 0,33 x 400 x 538,5 \\ &= 71.867 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs \max &= \frac{1}{3} x \sqrt{f'_c} x b x d \\ &= 0,33 x \sqrt{30} x 400 x 538,5 \\ &= 393.629 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2Vs_{max} &= \frac{2}{3}x\sqrt{fc'}x b x d \\
 &= 0,66 x \sqrt{30} x 400 x 538,5 \\
 &= 787.259 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari:

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + \frac{Wu x \ell_n}{2} \\
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + Vu
 \end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

Vu_1 = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka:

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{430.277.540 + 177.542.549}{8.100 - 2x(0,5 x 500)} + 177.016,13 \\
 &= 256.992,46 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 x \emptyset x Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$256.992,46 \text{ N} \geq 73.805,61 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 x \emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset x Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$73.805,61 \text{ N} \leq 256.992,46 \text{ N}$ $N \geq 147.611,23 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset x Vc \leq Vu \leq (\emptyset x Vc + V s_{min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$147.611,23 \text{ N} \leq 256.992,46 \text{ N} \geq 201.511,23 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$$201.511,23 \text{ N} \leq 256.992,46 \text{ N} \leq 442.833,69 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset (Vc + Vs_{\max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2 Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$$442.833,69 \text{ N} \geq 256.992,46 \text{ N} \leq 738.056,15 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulungan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$\begin{aligned} Vs \text{ perlu} &= \frac{Vu}{\emptyset} - Vc \\ &= \frac{256.992,46}{0,75} - 196.814,97 \\ &= 145.841,64 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 12$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} Av &= (0,25 \pi d^2) x n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 12^2) x 2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \times fyv \times d}{Vs \text{ perlu}} \\ &= \frac{226,19 \times 240 \times 518,5}{145.841,64} = 192 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\max} < \frac{d}{2}$$

$$100 < \frac{539}{2}$$

$$100 \text{ mm} < 269,5 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

$$S_{\max} < 600$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Sehingga dipakai tulangan geser Ø12 – 100 mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)*]

- a. $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $100\text{ mm} < \frac{538,5\text{ mm}}{4}$
 $100\text{ mm} < 134,75\text{ mm}$ (Memenuhi)
- b. $S_{pakai} < 8\text{ Dlentur}$
 $100\text{ mm} < 8(19\text{ mm})$
 $100\text{ mm} < 152\text{ mm}$ (Memenuhi)
- c. $S_{pakai} < 24\text{ Dsengkang}$
 $100\text{ mm} < 24(12\text{ mm})$
 $100\text{ mm} < 288\text{ mm}$ (Memenuhi)
- d. $S_{pakai} < 300\text{ mm}$
 $100\text{ mm} < 300\text{ mm}$ (Memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1(40/60) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø12 – 100 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. *Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)*

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu2}{\frac{1}{2}\ell n - 2h} &= \frac{Vu1}{\frac{1}{2}\ell n} \\ Vu2 &= \frac{Vu1x\left(\frac{1}{2}\ell n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell n} \\ &= \frac{256.992,46 \times \left(\frac{1}{2} \times 7.600 - 2 \times 600\right)}{\frac{1}{2} \times 7.600} \\ &= 177.493,53 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1 $Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser $177.493,53 \text{ N} \geq 73.805,61 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)Kondisi 2 $0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum $73.805,61 \text{ N} \leq 177.493,53 \text{ N} \geq 147.611,23 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)Kondisi 3 $\emptyset \times Vc \leq Vu \leq (\ Vc + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Minimum

 $147.611,23 \text{ N} \leq 177.493,53 \text{ N} \leq 201.511,23 \text{ N}$ **(Memenuhi)**Kondisi 4 $\emptyset (Vc + V_{s_{\min}}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan

Geser

 $201.511,23 \text{ N} \geq 177.493,53 \text{ N} \leq 442.833,69 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)Kondisi 5 $\emptyset (Vc + V_{s_{\max}}) \geq Vu \leq \emptyset (Vc + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan

Geser

 $442.833,69 \text{ N} \geq 177.493,53 \text{ N} \leq 738.056,15 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3** (tulangan geser minimum)
 $V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 71.148 \text{ N}$.

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\varnothing 12$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2)x n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 12^2)x 2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v x f_y v x d}{V_s \text{ min}} = \frac{226,19 x 240 x 538,5}{71.148} = 411,25 \text{ mm}$$

Dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} < \frac{539}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

- a) $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$
 $120\text{ mm} < \frac{538,5\text{ mm}}{2}$
 $100\text{ mm} < 269,25\text{ mm}$ **(Memenuhi)**
- b) $S_{\text{pakai}} < 8 D_{\text{lentur}}$
 $100\text{ mm} < 8(19\text{ mm})$
 $150\text{ mm} < 152\text{ mm}$ **(Memenuhi)**
- c) $S_{\text{pakai}} < 24 D_{\text{sengkang}}$
 $100\text{ mm} < 24(12\text{ mm})$
 $150\text{ mm} < 288\text{ mm}$ **(Memenuhi)**
- d) $S_{\text{pakai}} < 300\text{ mm}$
 $150\text{ mm} < 300\text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1(40/60) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\varnothing 12 - 150\text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.1.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 25\text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

1) Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

Perhitungan

$$ld = \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1\sqrt{30}} \right] 19 \\ = 816,21 \text{ mm}$$

Syarat: $\lambda d > 300\text{mm}$

$816,21 \text{ mm} > 300\text{mm}$ (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} ld \\ = \frac{2.168,14}{2.268,2} \times 816,21 \\ = 780,03 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 800 mm

2) Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm. [**SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1**]

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db \\ l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 19 \\ l_{dh} = 333,01 \text{ mm}$$

Syarat: $\lambda_{dh} > 150\text{mm}$

$333,01 > 150\text{mm}$ (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$l_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} ldh \\ = \frac{2.168,94}{2.268,2} \times 333,01 \\ = 318,31 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 320 mm.

Panjang kait $12\text{db} = 12(19) = 228 \text{ mm}$

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm. [SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1] Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 fy}{\lambda \sqrt{f_{c'}}} db \quad l_{dc} = (0,043 fy) db$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 19 \quad l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 19$$

$$l_{dc} = 333,01 \text{ mm} \quad l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

Diambil 333,01 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{As' \text{ perlu}}{As' \text{ pasang}} ld \\ &= \frac{600,28}{1.134,12} \times 333,01 \\ &= 176 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang kait

$$12\text{db} = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

4.5.3.2 Perhitungan Balok Induk Melintang

Data Perencanaan:

As balok	: 5 (A-B)
Bentang balok (L balok)	: 7500 mm
Dimensi balok (b balok)	: 350 mm
Dimensi balok (h balok)	: 500 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3850 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (fyt)	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm
 Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) : 16 mm
 Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm

[*SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1*]

Jarak spasi tulangan antar lapis (s) : 25 mm

[*SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2*]

Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm

[*SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.(1)*]

Faktor β_1 : 0,85

[*SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3)*]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9

[*SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)*]

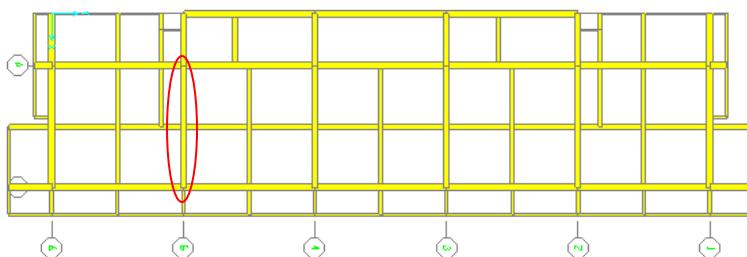
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

[*SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)*]

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

[*SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)*]

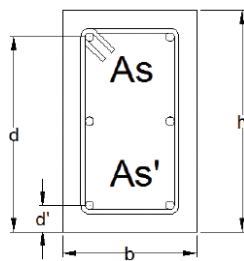
Perhitungan penulangan balok:



Gambar 4. 17 Peninjauan Letak Balok Melintang As 3 (A-B)

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 500 - 40 - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 438,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 12 + (\frac{1}{2} \cdot 19) = 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 18 Tinggi Efektif Balok

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok. Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey

Momen torsi = 2.143.983,88 Nmm

Hasil Output Diagram Axial



Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey

Momen axial = 5.355,44 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey

Momen Lentur tumpuan Kanan = 3.825.552,39 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey

Momen Lentur Lapangan = 118.295.997,7 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey

Momen Lentur tumpuan kiri = 325.997.614 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Geser



Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 ,Vu diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 cm dari as kolom
Gaya geser terfaktor Vu = 157.969,89 N

Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi =

$$\frac{Ag xfc'}{10} = \frac{350 \times 500 \times 30}{10} = 525.000 N$$

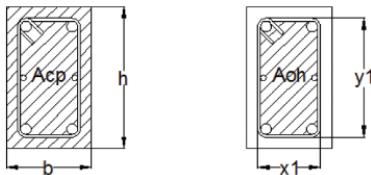
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R pada komponen struktur sebesar 14.507,07 N sesuai dengan persamaan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2).

$$Pu < \frac{Ag xfc'}{10}$$

$$14.507,07 \text{ N} < 525.000 \text{ N}$$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan punter.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 35/50



Gambar 4. 19 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 350 \times 500 \\ &= 175.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1.700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (350\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 12\text{mm}) \times (500\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 12\text{mm}) \\ &= 105.264 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(350 - 2.40 - 12) + (500 - 2.40 - 12)] \\ &= 1.332 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.5.3.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$Tu = 2.143.983,88 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} Tn &= \frac{Tu}{\emptyset} \\ &= \frac{2.143.983,88}{0,75} \\ &= 2.858.645,17 \text{ N} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} Tu_{min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1700} \right) \\ &= 6.142.245,33 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} Tu_{max} &= \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right) \\ &= 24.420.975,43 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} > Tu$

6.142.245,33 Nmm > 2.858.645,17 Nmm → (**Tidak memerlukan tulangan puntir**)

4.5.3.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

- **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:
 $1,2 D + 1,6 LL + 0,5R$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 438,5 \\ &= 263,10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 263,1 \\ &= 197,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 150 \\ &= 1.137.937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{1.137.937,5}{400} \\ &= 2.844,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 2.844,8 \times 400 \times \left(438,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 426.442.078,13 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 325.997,614 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{325.997,614}{0,8}$$

$$Mn = 407.497.017,50 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$$Mns > 0 \rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns \leq 0 \rightarrow \text{maka tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 407.497.017,50 \text{ Nmm} - 426.442.078 \text{ Nmm}$$

$$= -18.945.060,63 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns > 0$$

$$Mns = -18.945.060,63 \text{ Nmm} > 0$$

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{Fy}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{325.997,614}{0,8} = 407.497.017,50 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{407.497.017,50}{350 \times 438,5^2} = 6,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (6,02)}{400}} \right] = 0,0176$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0035 < 0,0176 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0176 \times 350 \times 438,5 = 2.694,19 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{2.694,19}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 9,5 \text{ buah} \approx 10 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 10 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 2.835,287 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$2.835,287 \text{ mm}^2 > 2.694,19 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 2.835,287$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{850,59}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 3,0001 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned}
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 1.134,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

1.134,11 mm² > 808,26 mm² (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

- **Kontrol Tulangan Tarik**

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (10 \times 19)}{10-1} \\
 &= 6,22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

6,22 mm < 25 mm (**Tidak memenuhi**)

Maka digunakan tulangan 2 lapis.

Di pasang :

Lapis 1 = 5 D19

Lapis 2 = 5 D19

Kontrol jarak spasi tulangan pasang Lapis 1

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (6 \times 19)}{6-1} \\
 &= 26 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

26 mm ≥ 25 mm (**memenuhi**)

Kontrol jarak spasi tulangan pasang Lapis 2

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 56 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat\ agregat}$

$56 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 56,67 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat\ agregat}$

$56,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 10 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 2.835,287 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

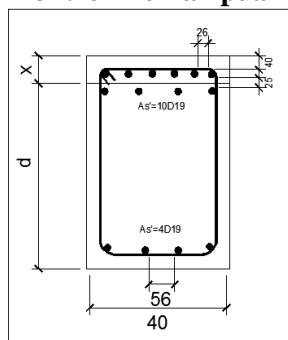
$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1.134,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 2.835,287 \text{ mm}^2$$

$$1.134,1 \text{ mm}^2 \geq 945,096 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang



As pakai tulangan tarik 10D19 =
2.835,287 mm²

As pakai tulangan tekan 4D19 =
1.134,1 mm²

$$\begin{aligned} d \text{ (aktual)} &= 600 - (6 \cdot 40\text{mm} + 10\text{mm} + 19/2 \text{ mm}) + 4(40\text{mm} + 10\text{mm} + 19\text{mm} + 25\text{mm} + 19/2 \text{ mm}) \\ &= 422,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x F_y)}{0,85 x f_{c'} x b} \right) \\ &= \left(\frac{(2.835,287 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right) \end{aligned}$$

$$a = 127,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2.835,287 \times 400 \times \left(422,9 - \frac{127,07}{2} \right) \\ &= 407.561.165,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$407.561.165,1 \text{ Nmm} > 407.497.017,50 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok (35/50) As 5 (A-B) untuk daerah tumpuan kiri:

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis, Lapis = 10D19

$$\text{Lapis 1} = 6D19$$

$$\text{Lapis 2} = 4D19$$

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 4D19

- **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$\underline{1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ Ex} + 0,3 \text{ Ey}}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+Fy} \right) x d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 438,5 \\ &= 263,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 263,1 \\ &= 197,325 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 x 30 x 350 x 0,85 x 150 \\ &= 1.137.937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{1.137.937,5}{400} \\ &= 2.844,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc x Fy x \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\ &= 2.844,8 x 400 x \left(438,5 - \frac{0,85 x 150}{2} \right) \\ &= 426.442.078,13 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen perlu lapangan

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{3.825.552,39}{0,8}$$

$$Mn = 4.781.940,49 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = Mn - M_{nc}$$

$$= 4.781.940,49 \text{ Nmm} - 426.442.078,13 \text{ Nmm}$$

$$= -421.660.137,6 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -421.660.137,6 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{3.825.552,39}{0,8} = 4.781.940,49 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{4.781.940,49}{350 \times 438,5^2} = 0,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,07)}{400}} \right]$$

$$= 0,0002$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0002 < 0,024$$

(Tidak Oke)

$$\rho = 1,3 \times 0,0002$$

$$= 0,00026$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 400 \times 438,5$$

$$= 537,16 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$As \text{ perlu}$$

$$n = \frac{As}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$537,16$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2}{}$$

$$= 1,8 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$567,057 \text{ mm}^2 > 537,16 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 567,057$$

$$= 170,12 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$As \text{ perlu}$$

$$n = \frac{As}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$170,12$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 19^2}{}$$

$$= 0,6 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,05 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$567,05 \text{ mm}^2 > 170,12 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

- Kontrol Tulangan Tarik

Maka digunakan tulangan 2 lapis.

Di pasang :

Kontrol jarak spasi tulangan pasang Lapis 1

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 208 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$208 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$As\ pasang = n\ pasang \times luasan\ D\ lentur$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,05\ mm^2 \end{aligned}$$

$$As\ pasang = n\ pasang \times luasan\ D\ lentur$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,05\ mm^2 \end{aligned}$$

$$M\ lentur\ tumpuan\ (+) \geq \frac{1}{3} M\ lentur\ tumpuan\ (-)$$

$$567,05\ mm^2 \geq \frac{1}{3} 567,05\ mm^2$$

$$567,05\ mm^2 \geq 189,01\ mm^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As\ pakai\ tulangan\ tarik\ 2D19 = 567,05\ mm^2$$

$$As\ pakai\ tulangan\ tekan\ 2D19 = 567,05\ mm^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As\ pakai\ tul\ tarik\ x Fy)}{0,85\ x\ f'c'\ x\ b} \right) \\ &= \left(\frac{(567,05\ x\ 400)}{0,85\ x\ 30\ x\ 350} \right) \end{aligned}$$

$$a = 25,41\ mm$$

$$\begin{aligned} Mn\ pasang &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 567,05 \times 400 \times \left(438,5 - \frac{25,41}{2} \right) \\ &= 96.579.602,58\ Nmm \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$96.579.602,58\ Nmm > 4.781.940,49\ Nmm \quad (\text{memenuhi})$$

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan. Jadi, penulangan lentur untuk balok induk melintang BI1 35/50 dengan 7,5 m untuk daerah tumpuan kanan adalah:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 2D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis 1 = 2D19

- **Dae rah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:
 $1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 438,5 \\ &= 263,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 263,1 \\ &= 197,325 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 150 \\ &= 1.137.937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{1.137.937,5}{400} \\ &= 2.844,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 2.844,8 \times 400 \times \left(438,5 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right) \\ &= 426.442.078,13 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{118.295.997,70}{0,8}$$

$$Mn = 139.171.762,00 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 139.171.762,00 \text{ Nmm} - 426.442.078,13 \text{ Nmm}$$

$$= -287270316,1 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -287270316,1 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{Fy}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{118.295.997,70}{0,8} = 139.171.762,00 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{249.698.737,65}{350 \times 438,5^2} = 2,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (2,07)}{400}} \right]$$

$$= 0,0054$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0054 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0054 \times 400 \times 438,5$$

$$= 828,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{828,53}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 2,9 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\text{As pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1134,1149 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu
 $1134,1149 \text{ mm}^2 > 828,53 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,30 As = 0,3 \times 1134,1149$$

$$= 340,23 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{340,23 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 1,19 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$567,05 \text{ mm}^2 > 463,71 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol Tulangan Tarik

Maka digunakan tulangan 1 lapis.

Di pasang :

$$\text{Lapis 1} = 4D19$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{4-1} \\ &= 56,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$56,7 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{3-1} \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$85 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok
 boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif
 balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun
 kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang
 bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang
 terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di
 kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan
 meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1.134,12\ mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,05\ mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur\ tumpuan\ (+)} &\geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)} \\ 567,05\ mm^2 &\geq \frac{1}{3} 1.134,1149\ mm^2 \\ 850,59\ mm^2 &\geq 378,038\ mm^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As\ pakai\ tulangan\ tarik\ 4D19 = 1.134,12\ mm^2$$

$$As\ pakai\ tulangan\ tekan\ 2D19 = 567,05\ mm^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As\ pakai\ tul\ tarik\ x Fy)}{0,85 \times f'c'b} \right) \\ &= \left(\frac{(1.134,1 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \end{aligned}$$

$$a = 50,83\ mm$$

$$\begin{aligned} Mn\ pasang &= As.Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1.134,12 \times 400 \times \left(438,5 - \frac{50,83}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 187394648,5 \text{ Nmm}$$

Maka: M_n _{pasang} > M_n _{perlu}

$$187.394.648,5 \text{ Nmm} > 139.171.762,00 \text{ Nmm}$$

(me me nuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (35/50) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis

Lapis 1 : 4D19

- Tulangan Tekan 1 Lapis

Lapis 1 : 2D19

Type Balok	B1 2, B2 2, B3 2, B4 2, B5 2
Penampang	 
Tul. Atas	1D19
Tul. Bawah	4D19
Sengkang	D12-100
Dimensi	350 x 500
Letak	Tumpuan Lapangan

Gambar 4. 20 Penulangan Balok Melintang 35/50

4.5.3.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B5-2 (35/50)

Dimensi balok (b balok) : 350 mm

Dimensi balok (h balok) : 500 mm

Kuat tekan beton (f_c') : 30 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 240 MPa

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm

β_1 : 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B 3-2 (35/50) As 5 (A-B), didapat:

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut:

$$\text{As pakai tulangan tarik } 10D19 = 2.835,287 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 4D19 = 1.134,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f' c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(2.835,287 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 127,07 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2.835,287 \times 400 \times \left(422,9 - \frac{127,07}{2} \right)$$

$$= 407.561.165,1 \text{ Nmm}$$

Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

$$a = \left(\frac{(\text{As pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f' c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.134,1 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 50,83 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.134,12 \times 400 \times \left(438,5 - \frac{50,83}{2} \right)$$

$$= 187.394.648,5 \text{ Nmm}$$

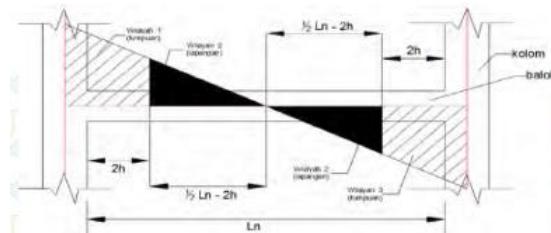
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0Ex + 0,3Ey , dari analisa SAP 2000 didapatkan:

Gaya geser terfaktor Vu = 157.969,89 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu:

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 21 Pembagian Wilayah Geser pada Balok
Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa (SNI 03-2847-2013).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton

[SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} Vc &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,17 x \sqrt{30} x 350 x 438,5 \\ &= 140.102,87 N \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} Vs \min &= \frac{1}{3} x b x d \\ &= 0,33 x 350 x 438,5 \\ &= 51.158,33 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs \max &= \frac{1}{3} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,33 x \sqrt{30} x 350 x 438,5 \\ &= 280.205,73 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2Vs_{max} &= \frac{2}{3}x\sqrt{fc'}x b x d \\
 &= 0,66 x \sqrt{30} x 350 x 438,5 \\
 &= 560.411,46 N
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari:

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + \frac{Wu x \ell_n}{2} \\
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + Vu
 \end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

Vu_1 = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka:

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{407.561.165,1 + 187.394.648,5}{7500 - 2x(0,5 x 500)} + 157.969,89 \\
 &= 242.963,57 N
 \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 x \emptyset x Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$242.963,57 N \geq 52.538,57 N$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 x \emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset x Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$52.538,57 N \leq 242.963,57 N \quad N \geq 105.077,15 N$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset x Vc \leq Vu \leq (\emptyset x Vc + V s_{min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$105.077,15 N \leq 242.963,57 N \geq 143.445,90 N$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$$143.445,90 \text{ N} \leq 242.963,57 \text{ N} \leq 315.231,45 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset (Vc + Vs_{\max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2 Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$$315.231,45 \text{ N} \geq 242.963,57 \text{ N} \leq 525.385,75 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu}{\emptyset} - Vc = \frac{242.963,57}{0,75} - 140.102,87 \\ = 183.848,82 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 12$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$Av = (0,25 \pi d^2)x n \text{ kaki} \\ = (0,25 \pi 12^2)x 2 \\ = 226,19 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{Av \times fyv \times d}{Vs \text{ perlu}} \\ = \frac{226,19 \times 240 \times 422,9}{183.848,82} \\ = 124 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser.

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\max} < \frac{d}{2}$$

$$100 < \frac{438,5}{2}$$

$$100 \text{ mm} < 219,25 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\max} < 600$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 12 - 100 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

$$\text{a) } S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$$

$$100\text{ mm} < \frac{438,5\text{ mm}}{4}$$

$$\text{b) } S_{\text{pakai}} < 8 D_{\text{lentur}}$$

$$100\text{ mm} < 8(19\text{ mm})$$

$$100\text{ mm} < 152\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$\text{c) } S_{\text{pakai}} < 24 D_{\text{sengkang}}$$

$$100\text{ mm} < 24(12\text{ mm})$$

$$100\text{ mm} < 288\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$\text{d) } S_{\text{pakai}} < 300\text{ mm}$$

$$100\text{ mm} < 300\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (35/50) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø12 – 100 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}\ell n - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}\ell n}$$

$$\begin{aligned}
 Vu_2 &= \frac{Vu_1x\left(\frac{1}{2}\ell n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell n} \\
 &= \frac{242.963,57 \quad x \left(\frac{1}{2} \times 7.000 - 2 \times 500\right)}{\frac{1}{2} \times 7.000} \\
 &= 173.545,41 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$173.545,41 \geq 52.538,57 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$\emptyset \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$52.538,57 \text{ N} \leq 173.545,41 \text{ N} \geq 105.077,15 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq (\ Vc + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$105.077,15 \text{ N} \leq 173.545,41 \text{ N} \geq 143.445,90 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + V_{s_{\min}}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$143.445,90 \text{ N} \leq 173.545,41 \text{ N} \leq 315.231,45 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (Vc + V_{s_{\max}}) \leq Vu \leq (\ Vc + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$315.231,45 \text{ N} \geq 173.545,41 \text{ N} \leq 525.385,75 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ perlu}} &= \frac{Vu}{\emptyset} - Vc \\
 &= \frac{173.545,41}{0,75} - 140.102,87
 \end{aligned}$$

$$= 91.291 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}Av &= (0,25 \pi d^2)x n \text{ kaki} \\&= (0,25 \pi 12^2)x 2 \\&= 226,19 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\&= \frac{226,19 \times 240 \times 438,5}{91.291} \\&= 260 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned}S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\150 \text{ mm} &< \frac{438,5}{2}\end{aligned}$$

$$150 \text{ mm} < 219,25 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø12 - 150 mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) $d/2$

b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal

c) 24 kali diameter sengkang dan

d) 300 mm

a) $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{2}$

$$150 \text{ mm} < \frac{438,5 \text{ mm}}{2}$$

150 mm < 219,25 mm

(Memenuhi)

b) $S_{\text{pakai}} < 8 D_{\text{lentur}}$

- $150 \text{ mm} < 8 \text{ (19 mm)}$

$150 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

c) $S \text{ pakai} < 24 \text{ Dsengkang}$

$150 \text{ mm} < 24 \text{ (12 mm)}$

$150 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

d) $S \text{ pakai} < 300 \text{ mm}$

$150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B 5-2 (35/50) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø12 – 150 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 19 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

1) Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{ld} &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \sqrt{30}} \right] 19 \\ &= 816,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : ld > 300mm

816,21 mm > 300mm (me me nuhi)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 l_{reduksi} &= \frac{As\ perlu}{As\ pasang} ld \\
 &= \frac{2.694,19}{2.835,287} \times 816,21 \\
 &= 775,5\ mm \approx 800\ mm
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 800 mm.

2) Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 19$$

$$l_{dh} = 333,01\ mm$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150\text{mm}$

$$333,01 > 150\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned}
 l_{reduksi} &= \frac{As\ perlu}{As\ pasang} ldh \\
 &= \frac{2.694,19}{2.835,287} \times 333,01 \\
 &= 316,44\ mm \approx 350\ mm
 \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 350 mm.

Panjang kait.

$$12db = 12(19) = 228\ mm$$

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang

penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 fy}{\lambda \sqrt{f_{c'}}} db \quad l_{dc} = (0,043 fy) db$$

$$l_{dc} = \frac{0,24x400}{1\sqrt{30}} \times 19 \quad l_{dc} = (0,043x400)x19$$

$$l_{dc} = 333,01 \text{ mm} \quad l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

Diambil 333,01 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{As' \text{ perlu}}{As' \text{ pasang}} ldc \\ &= \frac{808,26}{1.134,11} \times 333,01 \\ &= 237 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

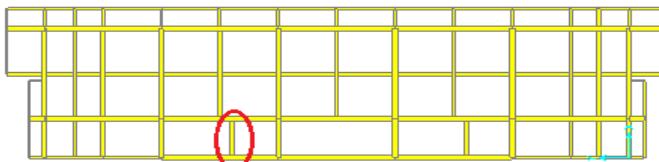
Panjang kait:

$$12db = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

4.5.3.3 Perhitungan Balok tangga

Pada perhitungan penulangan balok Bordes, balok Bordes yang dihitung secara manual adalah balok bordes yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14.

Berikut ialah data perencanaan balok bordes, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.



Gambar 4. 22 Peninjauan Letak Balok Bordes

Data Perencanaan

Bentang balok (L balok) : 3200 mm

Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 400 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3850 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]

Jarak spasi tulangan antar lapis (s)	: 25 mm
--------------------------------------	---------

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2]

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
---------------------------------	---------

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]

Faktor β_1	: 0,85
------------------	--------

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3)]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
---	-------

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
--	--------

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

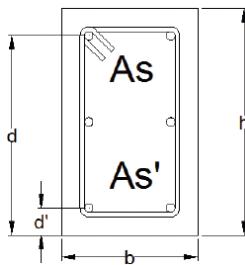
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
---	--------

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Perhitungan penulangan balok:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 400 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 16) \\ &= 342 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 16) \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 23 Tinggi Efektif Balok

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok. Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5W merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

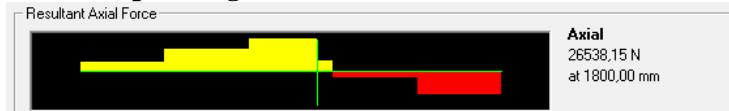
Hasil Output Diagram Torsi



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 W

Momen torsi = 2.503.000,43 Nmm

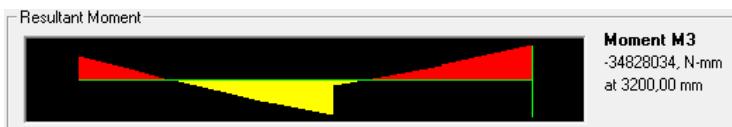
Hasil Output Diagram Axial



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 W

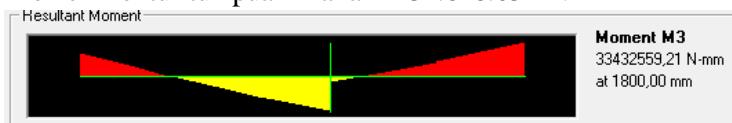
Momen axial = 26.538,15 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



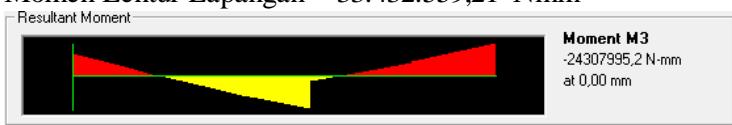
Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 W

Momen Lentur tumpuan Kanan = 34.828.034 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 W

Momen Lentur Lapangan = 33.432.559,21 Nmm

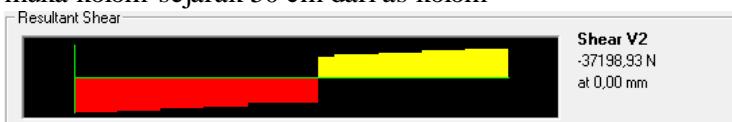


Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 W

Momen Lentur tumpuan kiri = 24.307.995,2 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 ,Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom



Gaya geser terfaktor Vu = 37.198 N

Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi =

$$\frac{Ag \times fc'}{10} = \frac{300 \times 400 \times 30}{10} = 360.000 N$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2DL + 1,6 LL + 0,5 W pada komponen struktur

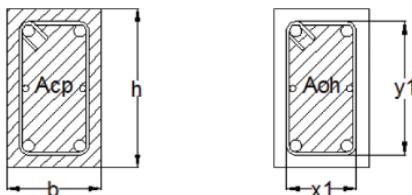
sebesar 26.538,15 N sesuai dengan persamaan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2)

$$P_u < \frac{A_g x f_c'}{10}$$

$$26.538,15 \text{ N} < 360.000 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 24 Luasan Acp dan Pcp Balok Bordes 30/40

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \times 400 \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (300\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (400\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\ &= 65.100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(300 - 2.40 - 12) + (400 - 2.40 - 12)] \end{aligned}$$

$$= 1.040 \text{ mm}$$

4.5.3.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5W

$$Tu = 2.503.000,43 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} Tn &= \frac{Tu}{\emptyset} \\ &= \frac{2.503.000,43}{0,75} \\ &= 3.337.333,91 \text{ N} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$Vu = 37.198 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} Tu_{min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{120.000^2}{1.400} \right) \\ &= 3.506.989,29 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} Tu_{max} &= \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{120.000^2}{1.400} \right) \\ &= 13.943.451,39 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} > Tu$

$3.506.989,29 \text{ Nmm} < 3.337.333,91 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{Tidak memerlukan tulangan puntir})$

4.5.3.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur

- **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
 $1,2 D + 1,6 LL + 0,5W$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\ &= 205,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 205,2 \\ &= 153,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{650.250}{400} \\ &= 1.626,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 1.626,6 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 194.749.875,00 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 33.432.559,21 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu_x}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{33.432.559,21}{0,8}$$

$$Mn = 41.790.699,01 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 41.790.699,01 \text{ Nmm} - 194.749.875,00 \text{ Nmm}$$

$$= -152.959.176 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -152.959.176 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulang Lentur Tunggal

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{Fy} \times \frac{600}{600 + Fy} = 0,032$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{33.432.559,21}{0,8} = 41.790.699,01 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b, d^2} = \frac{41.790.699,01}{300 \times 342^2} = 1,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,19)}{400}} \right]$$

$$= 0,0031$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0035 > 0,0031 < 0,024$ (Tidak Oke)

Maka diperbesar 30%, $\rho = 0,0031 \times 1,3 = 0,004$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,004 \times 300 \times 342 \\ &= 410,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{410,4}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 2,02 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$603,18 \text{ mm}^2 > 410,4 \text{ mm}^2$ (**meme nuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,30 As \\ &= 0,30 \times 603,18 \end{aligned}$$

$$= 180,954$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \times D_{Lentur}}$$

$$= \frac{180,954}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

402,1 mm² > 180,954 mm² (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 2 lapis}$

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1} \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

76 mm ≥ 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\ &= 152 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}} \\ 152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

[*SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)*]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times luasan D_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times luasan D_{\text{lentur}} \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 603,18 \text{ mm}^2$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 201,01 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D16 = 603,18 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,01 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(603,18 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \end{aligned}$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$Mn_{\text{pasang}} = As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 603,18 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,54}{2} \right)$$

$$= 78.710.164,56 Nmm$$

Maka: M_n pasang > M_n perlu

$78.710.164,56 Nmm > 41.790.699,01 Nmm$ (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes (30/40) As B

(2-3) untuk daerah tumpuan kiri:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 3D16

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D16

- **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5 W$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342$$

$$= 205,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$= 0,75 \times 205,2$$

$$= 153,9 \text{ mm}$$

Garisnetral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 58 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 = 650.250 \text{ N}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{F_y}$$

$$= \frac{650.250}{400} = 1.626,6 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} x F_y x \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\
 &= 1.626,6 x 400 x \left(342 - \frac{0,85 x 100}{2} \right) \\
 &= 194.749.875,00 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mu}_{\text{tumpuan}} = 34.828.034 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\emptyset}$$

$$M_n = \frac{34.828.034}{0,8}$$

$$M_n = 43.535.042,50 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$\begin{aligned}
 &= 43.535.042,50 \text{ Nmm} - 194.749.875,00 \text{ Nmm} \\
 &= -151.214.832,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -151.214.832,5 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_{c'} \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{34.828.034}{0,8} = 43.535.042,50 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{337.148.580,00}{400 \times 342^2} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,26)}{400}} \right]$$

$$= 0,0032$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0032 < 0,024$ (Tidak Oke)

Maka diperbesar 30%, $\rho = 0,0032 \times 1,3 = 0,00416$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,00416 \times 300 \times 342 = 426,8 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{426,8}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 2,1 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603,18 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$603,18 \text{ mm}^2 > 426,8 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 603,18$$

$$= 180,954 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{180,954}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

402,12 mm² > 180,954 mm² (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$ = 25 mm → susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar}$ = 25 mm → susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 76 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

76 mm ≥ 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{4 - 1}$$

$$= 152 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm } (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok
boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]. Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times luasan D_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times luasan D_{\text{lentur}} \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}} (+) &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan}} (-) \\ 402,1 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 603,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 201,01 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As_{\text{pakai tulangan tarik}} 3D16 = 603,18 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai tulangan tekan}} 2D16 = 402,01 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As_{\text{pakai tul tarik}} \times F_y)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(603,18 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \end{aligned}$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{\text{pasang}} &= As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603,18 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,54}{2} \right) \\ &= 78.710.164,56 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $M_{\text{pasang}} > M_{\text{perlu}}$

$78.710.164,56 \text{ Nmm} > 43.535.042,50 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes (30/40) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 3D16

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D16

- **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$1,2 D + 1,6 LL + 0,5 W$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\ &= 205,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205,2 \\ &= 153,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{650.250}{400} \\ &= 1626,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} x F_y x \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\
 &= 1.626,6 x 400 x \left(342 - \frac{0,85 x 100}{2} \right) \\
 &= 194.749.875,00 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mu}_{\text{tumpuan}} = 24.307.995,20 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{M_{ux}}{\emptyset} \\
 Mn &= \frac{24.307.995,20}{0,8}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 30.384.994,00 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = Mn - M_{nc}$$

$$= 30.384.994,00 \text{ Nmm} - 194.749.875,00 \text{ Nmm}$$

$$= -164.364.881 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -164.364.881 \text{ Nmm} < 0$ (Perhitungan Lentur Tunggal)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{24.307.995,20}{0,8} = 30.384.994,00 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{30.384.994,00}{300 \times 342^2} = 0,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,87)}{400}} \right]$$

$$= 0,0022$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0035 < 0,0022 < 0,024$ (Tidak Oke)

Maka diperbesar 30%, $\rho = 0,0022 \times 1,3 = 0,00286$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 300 \times 342$$

$$= 359,1 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{359,1}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 1,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\text{As pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu
 $402,1 \text{ mm}^2 > 359,1 \text{ mm}^2$ (**me me nuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,30 As \\
 &= 0,3 \times 402,1 \\
 &= 120,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\
 &= \frac{120,63}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 0,6 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 402,1 \text{ mm}^2 &> 120,63 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{4 - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{2 - 1} \\
 &= 136 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$136 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{4 - 1}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 136 \text{ mm}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

136 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D}_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D}_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}} (+) &\geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}} (-) \\ 402,1 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 134,03 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kelempaman Penampang

$$As_{\text{pakai tulangan tarik}} 2D16 = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai tulangan tekan}} 2D16 = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As_{\text{pakai tulangan tarik}} \times F_y)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(402,1 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \end{aligned}$$

$$a = 21,03 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}Mn_{\text{pasang}} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\&= 402,1 \times 400 \times \left(342 - \frac{21,03}{2}\right) \\&= 53.316.04 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$53.316.04 \text{ Nmm} > 30.384.994,00 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes(30/40) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis, Lapis 1 : 2D16
- Tulangan Tekan 1 Lapis, Lapis 1 : 2D16

Type Balok		
Penampang		
Tul. Atas	3D16	2D16
Tul. Bawah	2D16	2D16
Sengkang	D10-75	D10-150
Dimensi	300 x 400	300 x 400
Letak	Tumpuan	Lapangan

Gambar 4. 25 Penulangan Balok Bordes 30/40

4.5.3.3.3 Pehitungan Penulangan Geser

Dimensi balok (b balok) : 300 mm

Dimensi balok (h balok) : 400 mm

Kuat tekan beton (f_c') : 30 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 240 MPa

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm

β_1 : 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada diatas

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik 2D16} = 402,1 \text{ mm}^2$$

As pakai tulangan tekan 2D16 = 402,1 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(402,1 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 21,03 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 402,1 \times 400 \times \left(342 - \frac{21,03}{2} \right)$$

$$= 53.294.334 \text{ Nmm}$$

Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 3D16 = 603,18 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16 = 402,01 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(603,18 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 603,18 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,54}{2} \right)$$

$$= 78.710.164,56 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL + 0,5W , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 37,198 N

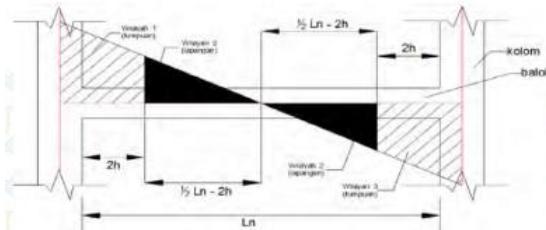
Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)

- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 26 Pembagian Wilayah Geser pada Balok
Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa (SNI 03-2847-2013).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Kuat Geser Beton [SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$Vc = \frac{1}{6} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ = 0,17 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ = 93.660,56 N$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$Vs \min = \frac{1}{3} x b x d \\ = 0,33 x 300 x 342 \\ = 34.200 N$$

$$Vs \max = \frac{1}{3} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ = 0,33 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ = 187.321,11 N$$

$$2Vs \max = \frac{2}{3} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ = 0,66 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ = 374.642,23 N$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$Vu_1 = \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + \frac{Wu \times \ell_n}{2}$$

$$Vu_1 = \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + Vu$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

Vu_1 = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka:

$$Vu_1 = \frac{78.710.164,56 + 53.294.334}{3200 - 2x(0,5 \times 500)} + 37,198 \\ = 48.927,75 \text{ N}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$48.927,75 \text{ N} \geq 35.122,71 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$35.122,71 \text{ N} \leq 48.927,75 \text{ N} \leq 70.245,42 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$70.245,42 \text{ N} \geq 48.927,75 \text{ N} \leq 95.895,42 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$95.895,42 \text{ N} \geq 48.927,75 \text{ N} \leq 210.736,25 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (Vc + Vs_{max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2 Vs_{max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$210.736,25 \text{ N} \geq 48.927,75 \text{ N} \leq 351.227,09 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**).

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2.**

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min} = 34.200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}Av &= (0,25 \pi d^2)x n \text{ kaki} \\&= (0,25 \pi 10^2)x 2 \\&= 157,07 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \times fyv \times d}{Vs \text{ min}} \\&= \frac{157,07 \times 240 \times 342}{34.200} \\&= 374 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipasang jarak 75 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned}S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\75 \text{ mm} &< \frac{342}{2}\end{aligned}$$

$$75 \text{ mm} < 171 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$75 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 75 mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan

d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

a) $S_{pakai} < \frac{d}{4}$

$$75 \text{ mm} < \frac{342 \text{ mm}}{4}$$

$$75 \text{ mm} < 85,5 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

b) $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$

$$75 \text{ mm} < 8(16 \text{ mm})$$

$$75 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

c) $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$

$$75 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$$

$$75 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

d) $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$

$$75 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

*Jadi, penulangan geser balok untuk balok Bordes (30/40)**pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10 – 75 mm dengan sengkang 2 kaki.***2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)**

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu_2}{\frac{1}{2}\ell n - 2h} &= \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}\ell n} \\ Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times \left(\frac{1}{2}\ell n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell n} \\ &= \frac{95.501,83 \times \left(\frac{1}{2} \times 2700 - 2 \times 400\right)}{\frac{1}{2} \times 2700} \\ &= 38.908,15 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser
 $38.908,15 \text{ N} \geq 35.122,71 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $35.122,71 \text{ N} \leq 38.908,15 \text{ N} \geq 70.245,42 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $70.245,42 \text{ N} \leq 38.908,15 \text{ N} \leq 95.895,42 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser
 $95.895,42 \text{ N} \geq 38.908,15 \text{ N} \leq 210.736,25 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (Vc + Vs_{\max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2 Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser
 $210.736,25 \text{ N} \geq 38.908,15 \text{ N} \leq 351.227,09 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3**.

$$Vs_{\text{perlu}} = Vs_{\min} = 34.200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \times fyv \times d}{Vs_{\min}} \\ &= \frac{157,07 \times 240 \times 340}{34.200} \\ &= 374 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$S_{\max} < \frac{d}{2}$$

$$150\text{ mm} < \frac{342}{2}$$

$$150\text{ mm} < 171\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{max} < 600$$

$$150\text{ mm} < 600\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 150 mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

$$a) S_{pakai} < \frac{d}{4}$$

$$120\text{ mm} < \frac{342\text{ mm}}{2}$$

$$100\text{ mm} < 171,5\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$b) S_{pakai} < 8 D_{lentur}$$

$$100\text{ mm} < 8(16\text{ mm})$$

$$150\text{ mm} < 128\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$c) S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$$

$$100\text{ mm} < 24(10\text{ mm})$$

$$150\text{ mm} < 240\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$d) S_{pakai} < 300\text{ mm}$$

$$150\text{ mm} < 300\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok tangga (30/40) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10 – 150 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.3.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 25\text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

1) Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

Perhitungan

$$\begin{aligned} ld &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1\sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 687,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : ld > 300mm

687,4 mm > 300mm (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} ld \\ &= \frac{426,8}{603,18} \times 687,4 \\ &= 486,39 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 500 mm

2) Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

[**SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1**]

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 16$$

$$\lambda_{dh} = 280,4 \text{ mm}$$

Syarat : l_{dh} > 150mm

$280,4 > 150\text{mm}$ **(memenuhi)**
 Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \text{ ldh} \\ &= \frac{426,8}{603,18} \times 280,4 \\ &= 198,3 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 200 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Peyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\begin{aligned} l_{dc} &= \frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{f_{c'}}} db \quad l_{dc} = (0,043fy)db \\ l_{dc} &= \frac{0,24x400}{1\sqrt{30}} \times 16 \quad l_{dc} = (0,043x400)x16 \\ l_{dc} &= 280,4 \text{ mm} \quad l_{dc} = 275,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil: 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{As' \text{ perlu}}{As' \text{ pasang}} \text{ ldc} \\ &= \frac{128,04}{402,12} \times 280,4 \\ &= 89 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

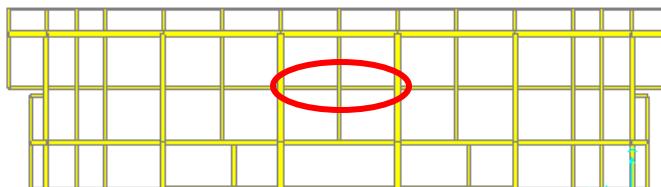
Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

4.5.3.4 Perhitungan Balok Anak Memanjang

Pada perhitungan penulangan balok anak, yang dihitung secara manual adalah balok anak yang mengalami momen

terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Perhitungan tulangan balok anak memanjang diambil dari data balok induk memanjang (300x400).



Gambar 4. 27 Peninjauan Letak Balok Anak Memanjang

Berikut ialah data perencanaan balok anak memanjang, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

Data Perencanaan:

Bentang balok (L balok)	: 8100 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 400 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3850 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]

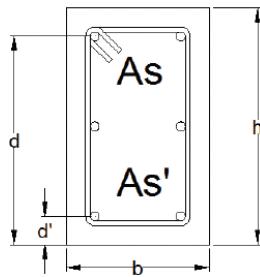
Jarak spasi tulangan antar lapis (s) : 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2]

Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]

- Faktor β_1 : 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3)]
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]
- Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]



Gambar 4. 28 Tinggi Efektif Balok anak Memanjang

Perhitungan penulangan balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{Ø sengkang} - \frac{1}{2} \text{Ø tul lentur} \\ &= 400 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 16) \\ &= 342 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \frac{1}{2} \text{Ø sengkang} + \frac{1}{2} \text{Ø tul lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 16) \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok. Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen torsi = 384.650,99 Nmm

Hasil Output Diagram Axial



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen axial = 9.482,19 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen Lentur tumpuan Kanan = 92.367.114 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen Lentur Lapangan = 44.218.317,93 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen Lentur tumpuan kiri = 92.697.318 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 , Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom



Gaya geser terfaktor $V_u = 58.808,24 \text{ N}$

Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi =

$$\frac{A_g x f_{c'}^t}{10} = \frac{300 \times 400 \times 30}{10} = 262.500 \text{ N}$$

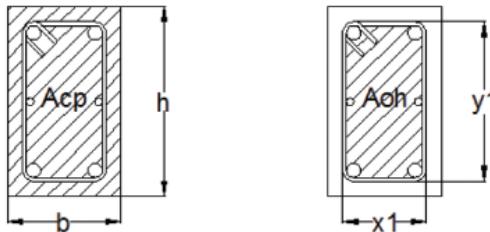
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R pada komponen struktur sebesar 9.482,19 N sesuai dengan persamaan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2)

$$P_u < \frac{A_g x f_{c'}^t}{10}$$

$$9.482,19 \text{ N} < 262.500 \text{ N}$$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan punter.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 29 Luasan Acp dan Pcp Balok Anak Memanjang 30/40

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \times 400 \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (300\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (400\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\
 &= .65.100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(300 - 2.40 - 10) + (400 - 2.40 - 10)] \\
 &= 1.040 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.3.4.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5R

$T_u = 384.650,99 \text{ Nmm}$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{384.650,99}{0,75} = 512.867,99 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$V_u = 58.808,24 \text{ N}$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 T_{u min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{120.000^2}{1.400} \right) \\
 &= 3.506.989,29 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 Tu_{max} &= \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{120.000^2}{1.400} \right) \\
 &= 13.943.451,39 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} > Tu$

$3.506.989,29 \text{ Nmm} > 512.867,99 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{Tidak memerlukan tulangan puntir})$

4.5.3.4.2 Perhitungan Penulangan Lentur

- **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2D + 1,6LL + 0,5R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\
 &= 205,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times Xb \\
 &= 0,75 \times 205,2 \\
 &= 153,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= d' \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 fc' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100
 \end{aligned}$$

$$= 650.250 \text{ N}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{Fy}$$

$$= \frac{650.250}{400}$$

$$= 1.626,6 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right)$$

$$= 1.626,6 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 194.749.875,00 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu}_{\text{tumpuan}} = 92.697.318 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{92.697.318}{0,8}$$

$$Mn = 115.871.647,50 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 115.871.647,50 \text{ Nmm} - 194.749.875 \text{ Nmm}$$

$$= -78.878.227,5 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -78.878.227,5 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} x \frac{600}{600 + Fy} = 0,032$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{92.697.318}{0,8} = 115.871.647,50 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{115.871.647,50}{300 \times 342^2} = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,3)}{400}} \right]$$

$$= 0,0089$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0035 < 0,0089 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0089 \times 300 \times 342$$

$$= 910,37 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{910,37}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 4,5 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1.005,3 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$1.005,3 \text{ mm}^2 > 910,37 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,30 \text{ As} = 0,30 \times 1.005,3 \\ &= 301,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{301,59}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 1,5 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$402,12 \text{ mm}^2 > 301,59 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{4 - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{5 - 1} \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2-1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$

$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1.005,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As' pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1.005,31$$

$402,1 \text{ mm}^2 \geq 335,1 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik $5D16 = 1.005,31 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan $2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f_{c'} x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.005,31 x 400)}{0,85 x 30 x 300} \right)$$

$$a = 52,57 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \cdot x \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.005,31 \times 400 \times \left(342 - \frac{52,57}{2} \right)$$

$$= 126.957.497,4 \text{ Nmm}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$126.957.497,4 \text{ Nmm} > 115.871.647,50 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok anak (30/40) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 5D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D16

- **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+Fy} \right) x d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 342$$

$$= 205,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$= 0,75 \times 205,2$$

$$= 153,9 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 58 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\
 &= 650.250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{650.250}{400} \\
 &= 1.626,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1.626,6 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 194.749.875,00 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 92.367.114 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mux}{\emptyset} \\
 Mn &= \frac{92.367.114}{0,8}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 115.458.892,50 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = Mn - M_{nc}$$

$$\begin{aligned}
 &= 115.458.892,50 \text{ Nmm} - 194.749.875,00 \text{ Nmm} \\
 &= -79.290.982,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -79.290.982,5 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{92.367.114}{0,8} = 115.458.892,50 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{115.458.892,50}{300 \times 342^2} = 3,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,29)}{400}} \right] \\ &= 0,0088 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0088 < 0,024$ (oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned} &= 0,0088 \times 300 \times 342 \\ &= 906,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{906,87}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 4,5 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1.005,3 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1.005,3 \text{ mm}^2 > 906,87 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,30 As$$

$$= 0,30 \times 1.005,3$$

$$= 301,6 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{301,6}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 1,36 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$402,12 \text{ mm}^2 > 272,06 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{4 - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{5 - 1} \\
 &= 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm } (\text{memenuhi})$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\
 &= 168 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm } (\text{memenuhi})$

Cek syarat SRPM untuk kekuatan lentur pada balok
boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 As\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1.005,31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As'\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1.005,31 \text{ mm}^2$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 335,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik 5D16 = 1005,31 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16 = 402,12 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.005,31 x 400)}{0,85 x 30 x 300} \right)$$

$$a = 52,57 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.005,31 \times 400 \times \left(342 - \frac{52,57}{2} \right)$$

$$= 126.957.497,4 \text{ Nmm}$$

Maka: Mn_{pasang} > Mn_{perlu}

$$126.957.497,4 \text{ Nmm} > 92.367.114 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok anak (30/40) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 5D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D16

- **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+Fy} \right) x d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 342$$

$$= 205,2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$= 0,75 \times 205,2$$

$$= 153,9 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}X_{min} &= d' \\&= 58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\&= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\&= 650.250 \text{ N}\end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\&= \frac{650.250}{400} \\&= 1.626,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}M_{nc} &= Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\&= 1626,6 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\&= 194.749.875,00 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{tumpuan} = 92.367.114 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu_x}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{44.218.318}{0,8}$$

$$Mn = 52.021.550,51 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}M_{ns} &= Mn - M_{nc} \\&= 52.021.550,51 \text{ Nmm} - 126957497,4 \text{ Nmm} \\&= -142.728.324,5 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -142.728.324,5 \text{ Nmm} < 0$ (Perhitungan Lentur Tunggal)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_{c'} \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$M_n = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{44.218.318}{0,8} = 52.021.550,51 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{52.021.550,51}{300 \times 342^2} = 1,48 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,48)}{400}} \right] \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0038 < 0,024 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0038 \times 250 \times 290$$

$$= 392,02 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{392,02}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 1,94 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu
 $402,1 \text{ mm}^2 > 392,02 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,30 As$$

$$= 0,3 \times 402,1$$

$$= 120,63 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{120,63}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 0,6 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu
 $402,1 \text{ mm}^2 > 120,63 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat:

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{2-1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat\ aggregat}$

168 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{2-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{2-1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat\ aggregat}$

168 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[**SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)**]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As' pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 402,1 \text{ mm}^2$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 134,033 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } 2D16 = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik } x Fy}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(402,1 x 400)}{0,85 x 30 x 400} \right)$$

$$a = 15,77 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{\text{pasang}} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 402,1 \times 400 \times \left(342 - \frac{15,77}{2} \right) \\ &= 53.739.056,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$53.739.056,6 \text{ Nmm} > 52.021.550,51 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak memanjang (30/40) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis, Lapis 1 : 2D16
- Tulangan Tekan 1 Lapis, Lapis 1 : 2D16

Type Balok	B1 3, B2 3, B3 3, B4 3, B5 6
Penampang	
Tul. Atas	4D16
Tul. Bawah	2D16
Sengkang	D10-80
Dimensi	300 x 400
Letak	Tumpuan Lapangan

Gambar 4. 30 Penulangan Balok Anak Memanjang 30/40

4.5.3.4.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B 5 – 3 (30/40)

Dimensi balok (b balok) : 300 mm

Dimensi balok (h balok) : 400 mm

Kuat tekan beton (f_c') : 30 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 240 MPa

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm

β_1 : 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada diatas

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 5D16 = $1.005,31 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan 2D16 = $402,12 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.005,31 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} \right)$$

$$a = 52,57 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.005,31 \times 400 \times \left(342 - \frac{52,57}{2} \right)$$

$$= 126.957.497,4 \text{ Nmm}$$

Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 5D16 = 1.005,31 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik } x F_y}{0,85 x f_{c'} x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.005,31 x 400)}{0,85 x 30 x 250} \right)$$

$$a = 52,57 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.005,31 \times 400 \times \left(342 - \frac{52,57}{2} \right)$$

$$= 126.957.497,4 Nmm$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL + 0,5R , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 58.808,24 N

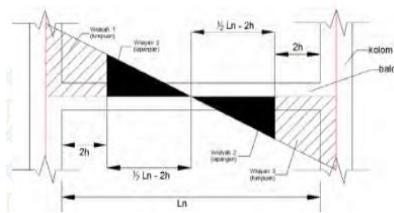
Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)

- *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 31 Pembagian Wilayah Geser pada Balok
Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa (**SNI 03-2847-2013**).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Kuat Geser Beton /SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} Vc &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,17 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ &= 93.660,56 N \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} Vs \min &= \frac{1}{3} x b x d \\ &= 0,33 x 300 x 342 \\ &= 34.200 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs \max &= \frac{1}{3} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,33 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ &= 187.321,11 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2Vs \max &= \frac{2}{3} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,66 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ &= 374.642,23 N \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$Vu_1 = \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + \frac{Wu \times \ell_n}{2}$$

$$Vu_1 = \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + Vu$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

Vu_1 = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka :

$$Vu_1 = \frac{126957497,4 + 126957497,4}{8100 - 2x(0,5 \times 500)} + 58.808,24 \\ = 92.218 \text{ N}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$92.218 \text{ N} \geq 35.122,71 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$35.122,71 \text{ N} \leq 92.218 \text{ N} \geq 70.245,42 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq (\ Vc + V_{s_{min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$70.245,42 \text{ N} \leq 92.218 \text{ N} \leq 95.895,42 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + V_{s_{min}}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + V_{s_{max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$95.895,42 \text{ N} \geq 92.218 \text{ N} \leq 210.736,25 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (Vc + V_{s_{max}}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2 V_{s_{max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$210.736,25 \text{ N} \geq 92.218 \text{ N} \leq 351.227,09 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**).

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3.**

$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min} = 34.200 \text{ N}$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 12 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = (0,25 \pi d^2)x n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ = 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{Av \times fyv \times d}{Vs \min} \\ = \frac{157,08 \times 240 \times 342}{34.200} \\ = 374,7 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 80 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2} \\ 80 \text{ mm} < \frac{342}{2}$$

$80 \text{ mm} < 146 \text{ mm}$ (Memenuhi)

$$S_{\text{max}} < 600$$

$80 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$ (Memenuhi)

Sehingga dipakai tulangan geser $\varnothing 10 - 80 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

- a. $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$
 $80 \text{ mm} < \frac{342 \text{ mm}}{4}$
 $80 \text{ mm} < 85,5 \text{ mm}$ (Memenuhi)
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 D_{\text{lentur}}$

$$80 \text{ mm} < 8(16 \text{ mm})$$

$$80 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

c. $S_{\text{pakai}} < 24 D_{\text{sengkang}}$

$$80 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$$

$$80 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$

$$80 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok anak memanjang (30/40) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10 – 80 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{Vu_2}{\frac{1}{2} \ell n - 2h} &= \frac{Vu_1}{\frac{1}{2} \ell n} \\ Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times \left(\frac{1}{2} \ell n - 2h\right)}{\frac{1}{2} \ell n} \\ &= \frac{92.218,11 \times \left(\frac{1}{2} \times 7.600 - 2 \times 400\right)}{\frac{1}{2} \times 7.600} \\ &= 72.803,77 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$72.803,77 \text{ N} \geq 35.122,71 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$35.122,71 \text{ N} \leq 72.803,77 \text{ N} \geq 70.245,42 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + V s_{\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$70.245,42 \text{ N} \leq 72.803,77 \text{ N} \leq 95.895,42 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$$\emptyset (V_c + V_{s\min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s\max}) \rightarrow \text{Tulangan Geser } 95.895,42 \text{ N} \geq 72.803,77 \text{ N} \leq 210.736,25 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 5

$$\emptyset (V_c + V_{s\max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s\max}) \rightarrow \text{Tulangan Geser } 210.736,25 \text{ N} \geq 72.803,77 \text{ N} \leq 351.227,09 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan Kondisi 3.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 34.200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_y v \times d}{V_s \text{ min}} \\ &= \frac{157,08 \times 240 \times 342}{34.200} \\ &= 374,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\ 150 \text{ mm} &< \frac{342}{2} \end{aligned}$$

$$150 \text{ mm} < 171 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 150$ mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/2$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

a. $S_{pakai} < \frac{d}{2}$
 $150\text{ mm} < \frac{342\text{ mm}}{2}$

$$150\text{ mm} < 171\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

b. $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$
 $150\text{ mm} < 8(19\text{ mm})$

$$150\text{ mm} < 152\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

c. $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$
 $150\text{ mm} < 24(10\text{ mm})$

$$150\text{ mm} < 240\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

d. $S_{pakai} < 300\text{ mm}$
 $150\text{ mm} < 300\text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$

Jadi, penulangan geser balok anak memanjang (30/40) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 150\text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.4.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 16\text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

1) Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

Perhitungan

$$\begin{aligned} l_d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 816,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $l_d > 300\text{mm}$

$$687,4 \text{ mm} > 300\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{910,37}{1005,31} \times 687,4 \\ &= 622,5 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 650 mm

2) Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

[*SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1*]

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 16$$

$$l_{dh} = 280,4 \text{ mm}$$

Syarat : $l_{dh} > 150\text{mm}$

$$280,4 > 150\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_{hb} \\ &= \frac{910,37}{1.005,31} \times 280,4 \\ &= 253,9 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{f_{c'}}} db \quad l_{dc} = (0,043fy) db$$

$$l_{dc} = \frac{0,24x400}{1\sqrt{30}} \times 16 \quad l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 16$$

$$l_{dc} = 280,4 \text{ mm} \quad l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

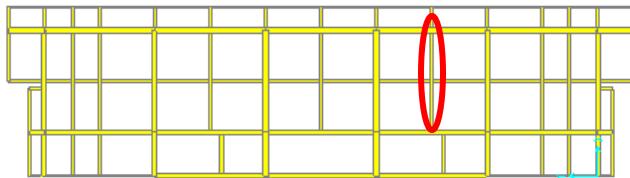
$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda hb \\ &= \frac{273,11}{402,12} \times 280,4 \\ &= 190,4 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

4.5.3.5 Perhitungan Balok Anak Melintang

Pada perhitungan penulangan balok anak, yang dihitung secara manual adalah balok anak yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Perhitungan tulangan balok anak melintang diambil dari data balok induk melintang (250 x 350).



Gambar 4. 32 Peninjauan Letak Balok Anak Melintang 25/35

Berikut ialah data perencanaan balok anak melintang, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

Data Perencanaan:

Bentang balok (L balok)	: 7500 mm
Dimensi balok (b balok)	: 250 mm
Dimensi balok (h balok)	: 350 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3850 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (fyt)	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]

Jarak spasi tulangan antar lapis (s) : 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2]

Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.(1)]

Faktor β_1 : 0,85

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9

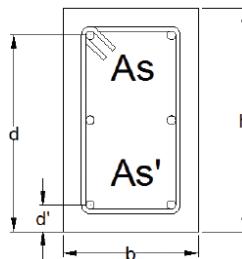
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]



Gambar 4. 33 Tinggi Efektif Balok Anak Melintang 25/35
Perhitungan penulangan balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 350 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 16) \\ &= 292 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 16) \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok. Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

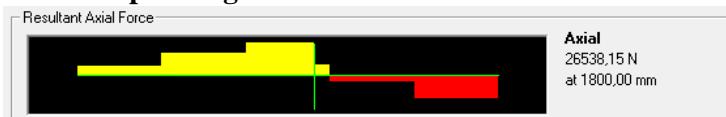
Hasil Output Diagram Torsi



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 W

Momen torsi = 1.428.594,55 Nmm

Hasil Output Diagram Axial



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen axial = 26.538,15 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen Lentur tumpuan Kanan = 55.318.566 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen Lentur Lapangan = 43.552.227,8 Nmm



Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R

Momen Lentur tumpuan kiri = 58.721.459 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 ,Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom



Gaya geser terfaktor Vu = 46.531 N

Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi =

$$\frac{Ag xfc'}{10} = \frac{250 \times 350 \times 30}{10} = 262.500 \text{ N}$$

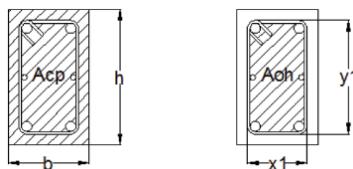
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2DL + 1,6 LL + 0,5 R pada komponen struktur sebesar 26.538,15 N sesuai dengan persamaan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2)

$$Pu < \frac{Ag xfc'}{10}$$

$$26.538,15 \text{ N} < 262.500 \text{ N}$$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan punter

Ukuran penampang balok yang dipakai = 25/35



Gambar 4. 34 Luasan Acp dan Pcp Balok Anak Melintang 25/35

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 250 \times 350$$

$$= 87.500 \text{ mm}^2$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (250 \text{ mm} + 350 \text{ mm})$$

$$= 1.200 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - \\
 &\quad 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (250\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (350\text{mm} - \\
 &\quad (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\
 &= 41.600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - \\
 &\quad 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(250 - 2.40 - 10) + (350 - 2.40 - 10)] \\
 &= 840 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.3.5.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5R

$T_u = 1.428.594,55 \text{ Nmm}$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{1.428.594,55}{0,75} \\
 &= 1.904.792,73 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$V_u = 46.531 \text{ N}$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 T_{u min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{f c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{87.500^2}{1.200} \right) \\
 &= 2.175.378,56 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 Tu_{max} &= \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{87.500^2}{1.200} \right) \\
 &= 8.649.095,46 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} > Tu$

$2.175.378,56 \text{ Nmm} > 1.904.792,73 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{Tidak memerlukan tulangan puntir})$

4.5.3.5.2 Perhitungan Penulangan Lentur

- **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 292 \\
 &= 175,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times Xb \\
 &= 0,75 \times 175,2 \text{ mm} \\
 &= 131,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= d' \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 fc' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 250 \times 0,85 \times 100
 \end{aligned}$$

$$= 541.875 \text{ N}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{Fy}$$

$$= \frac{541.875}{400}$$

$$= 1.354,68 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right)$$

$$= 1.354,68 \times 400 \times \left(292 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 135.197.812,50 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 58.721.459 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{58.721.459}{0,8}$$

$$Mn = 73.401.823,75 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 73.401.823,75 \text{ Nmm} - 135.197.812,5 \text{ Nmm}$$

$$= -61795988,75 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -61795988,75 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{Fy}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} \times \frac{600}{600 + Fy} = 0,032 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \rho_b = 0,024 \\
 M_n &= \frac{M_u}{\varphi} = \frac{58.721.459}{0,8} = 73.401.823,75 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{73.401.823,75}{250 \times 292^2} = 3,44 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{Fy}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,44)}{400}} \right] \\
 &= 0,0094
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0094 < 0,024 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0094 \times 250 \times 292 = 677,8 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\
 &= \frac{677,8}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 3,39 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times luasan D \text{ lentur}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 804,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$804,24 \text{ mm}^2 > 677,8 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,30 As = 0,30 \times 804,24 \\ &= 241,272 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{241,272}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 1,2 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$402,1 \text{ mm}^2 > 241,272 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 2 lapis

$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{4 - 1} \\ &= \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4 - 1} \\ &= 28,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$

$28,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{2-1} \\ &= \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2-1} \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$118 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm } (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPM untuk kekuatan lentur pada balok
boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-) [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$As_{pasang} = n_{pasang} \times luasan_{D_{lentur}}$$

$$\begin{aligned} &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n_{pasang} \times luasan_{D_{lentur}} \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 804,24 \text{ mm}^2$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 201,01 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As_{pakai\ tulangan\ tarik\ 4D16} = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai\ tulangan\ tekan\ 2D16} = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As_{pakai\ tulangan\ Fy})}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(804,25 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} \right)$$

$$a = 50,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{\text{pasang}} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 804,25 \times 400 \times \left(292 - \frac{50,46}{2} \right) \\ &= 85.819.247,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$85.819.247,1 \text{ Nmm} > 73.401.823,75 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok anak memanjang (25/35) As B (2-3) untuk daerah tumpuan kiri:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 4D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D16

- **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 292 \\ &= 175,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 175,2 \text{ mm} \\ &= 131,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_{c'} b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 250 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541.875 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{Fy}$$

$$= \frac{541.875}{400}$$

$$= 1.354,68 \text{ } mm^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right)$$

$$= 1.354,68 \times 400 \times \left(292 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 135.197.812,50 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 55.318.566 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{55.318.566}{0,8}$$

$$Mn = 69.148.207,50 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 69.148.207,50 \text{ Nmm} - 135.197.812,5 \text{ Nmm}$$

$$= -66.049.605 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -66.049.605 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{Fy}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \rho_b = 0,024 \\
 M_n &= \frac{M_u}{\varphi} = \frac{55.318.566}{0,8} = 69.148.207,50 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{69.148.207,50}{250 \times 292^2} = 3,24 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{Fy}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,24)}{400}} \right] \\
 &= 0,0087
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0087 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0087 \times 250 \times 292 = 635,40 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\
 &= \frac{635,40}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 3,16 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\text{As pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 804,24 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$804,24 \text{ mm}^2 > 635,40 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 804,24 \\ &= 241,272 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{241,272}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 1,19 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$402,1 \text{ mm}^2 > 241,272 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \Phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{4 - 1} \\ &= 28,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$$28,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$$118 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok
 boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]. Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As' pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 804,25 \text{ mm}^2$$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq 268,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik $4D16 = 804,25 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan $2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(804,25 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} \right)$$

$$a = 50,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{\text{pasang}} &= As \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 804,25 \times 400 \times \left(292 - \frac{50,46}{2} \right) \\ &= 85.175.848,93 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$85.819.247,1 \text{ Nmm} > 69.148.207,50 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok anak melintang (25/35)
untuk daerah tumpuan kanan:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 4D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D16

- **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:
 $1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 292 \\ &= 175,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 175,2 \text{ mm} \\ &= 131,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{renanca} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{renanca} \\ &= 0,85 \times 30 \times 250 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541.875 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{Fy}$$

$$= \frac{541.875}{400}$$

$$= 1354,68 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right)$$

$$= 1354,68 \times 400 \times \left(292 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 135.197.812,50 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{43.552.227,80}{0,8}$$

$$Mn = 51.237.915,06 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 51.237.915,06 \text{ Nmm} - 135.197.812,50 \text{ Nmm}$$

$$= -82.876.147,44 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -83959897,44 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{43.552.227,80}{0,8} = 51.237.915,06 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{51.237.915,06}{250 \times 292^2} = 2,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (2,40)}{400}} \right] \\ &= 0,0063\end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0063 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}&= 0,0063 \times 250 \times 292 \\ &= 461,57 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{461,57}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 2,3 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times luasan D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$603,19 \text{ mm}^2 > 461,57 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,30 As$$

$$= 0,3 \times 603,19$$

$$= 180,9 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{180,9}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$402,1 \text{ mm}^2 > 138,47 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n-1}$$

$$= \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{2-1}$$

$$= 51 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$51 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{2 - 1} \\ &= \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{2 - 1} \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat\ agregat}$

$118 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$

[*SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)*]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang \times luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As' pasang = n pasang \times luasan D lentur

$$\begin{aligned} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$

$$402,1 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 603,19 \text{ mm}^2$$

$402,1 \text{ mm}^2 \geq 201,06 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik $3D16 = 603,18 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan $2D16 = 402,1 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(603,18 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} \right)$$

$$a = 37,85 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 603,18 \times 400 \times \left(292 - \frac{37,85}{2} \right)$$

$$= 65.886.351,55 \text{ Nmm}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$65.886.351,55 \text{ Nmm} > 51.237.915,06 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak melintang (25/35) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis , Lapis 1 : 3D16
- Tulangan Tekan 1 Lapis , Lapis 1 : 2D16

Type Balok	B1 4, B2 4, B3 4, B4 4, B5 4
Penampang	
Tul. Atas	4D16
Tul. Bawah	2D16
Sengkang	D10-70
Dimensi	250 x 350
Letak	Tumpuan
	Lapangan

Gambar 4. 35 Penulangan Balok Anak Melintang 25/35

4.5.3.5.3 Pehitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B (25/35)

Dimensi balok (b balok) : 250 mm

Dimensi balok (h balok) : 350 mm

Kuat tekan beton (fc') : 30 MPa

Kuat leleh tulangan geser (fyv) : 240 MPa

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 10 mm

β_1 : 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada diatas

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 4D16 = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{(As pakai tul tarik x Fy)}}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(804,25 x 400)}{0,85 x 30 x 250} \right)$$

$$a = 50,46 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 804,25 \times 400 \times \left(292 - \frac{50,46}{2} \right)$$

$$= 85.819.247,1 \text{ Nmm}$$

Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 4D16 = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{(As pakai tul tarik x Fy)}}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(804,25 x 400)}{0,85 x 30 x 250} \right)$$

$$a = 50,46 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 804,25 \times 400 \times \left(292 - \frac{50,46}{2} \right)$$

$$= 85.819.247,1 \text{ Nmm}$$

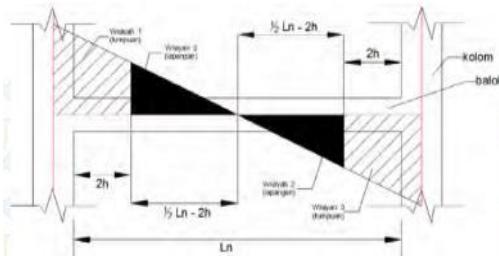
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL + 0,5R , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 46.531 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejauh dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)
- *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 36 Pembagian Wilayah Geser pada Balok
Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa (SNI 03-2847-2013).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Kuat Geser Beton / SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} Vc &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,17 x \sqrt{30} x 250 x 292 \\ &= 66.639,58 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} Vs \min &= \frac{1}{3} x b x d \\ &= 0,33 x 250 x 292 \\ &= 24.333,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs \max &= \frac{1}{3} x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,33 x \sqrt{30} x 250 x 290 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 133.279,16 \text{ N} \\
 2Vs_{max} &= \frac{2}{3} x \sqrt{fc'} x b x d \\
 &= 0,66 x \sqrt{30} x 250 x 290 \\
 &= 266.558,31 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + \frac{Wu x \ell_n}{2} \\
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + Vu
 \end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

Vu_1 = Gaya geser pada muka perlakuan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka:

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{85819247,1 + 85819247,1}{7500 - 2x(0,5 x 500)} + 46.531 \\
 &= 71.050,78 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 x \emptyset x Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$71.050,78 \text{ N} \geq 24.989,84 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 x \emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset x Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$24.989,84 \text{ N} \leq 71.050,78 \text{ N} \geq 49.979,68 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$49.979,68 \text{ N} \leq 71.050,78 \text{ N} \geq 68.229,68 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$68.229,68 \text{ N} \leq 71.050,78 \text{ N} \leq 149.939,05 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{mx}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$149.939,05 \text{ N} \geq 71.050,78 \text{ N} \leq 249.898,42 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4.**

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u}{\emptyset} - V_c = \frac{71.050,78}{0,75} - 66.639,58 \\ &= 28.094,79 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \times f_y v \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \times 240 \times 292}{28.094,79} \\ &= 391 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 70 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \\ 70 \text{ mm} &< \frac{292}{2} \end{aligned}$$

$70 \text{ mm} < 146 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

$$S_{\text{max}} < 600$$

$70 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 70 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perl letakan ke arah tengah bentang. Sengkang

pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang dan
- 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

a) $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $70 \text{ mm} < \frac{292 \text{ mm}}{4}$

$70 \text{ mm} < 73 \text{ mm}$ (Memenuhi)

b) $S_{pakai} < 8 \text{ Dlentur}$

$70 \text{ mm} < 8(16 \text{ mm})$

$70 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$

(Memenuhi)

c) $S_{pakai} < 24 \text{ Dsengkang}$

$70 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$

$70 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$

(Memenuhi)

d) $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$

$70 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok anak melintang (25/35) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10 – 70 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}\ell n - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}\ell n}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times \left(\frac{1}{2}\ell n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell n}$$

$$= \frac{71.050,78 - x \left(\frac{1}{2} \times 7.000 - 2 \times 350 \right)}{\frac{1}{2} \times 7000}$$

$$= 56.840,52 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$56.840,52 \text{ N} \geq 56.840,52 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$24.989,84 \text{ N} \leq 56.840,52 \text{ N} \geq 49.979,68 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$49.979,68 \text{ N} \leq 56.840,52 \text{ N} \leq 68.229,68 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$68.229,68 \text{ N} \geq 56.840,52 \text{ N} \leq 149.939,05 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$149.939,05 \text{ N} \geq 56.840,52 \text{ N} \leq 249.898,42 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3** (tulangan geser minimum)

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 24.333,33 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 12 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \pi 10^2) \times 2$$

$$= 157,07 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{Av \times f_y v \times d}{V_s \text{ min}}$$

$$= \frac{157,07 \times 240 \times 292}{24.333,33}$$

$$= 452 \text{ mm}$$

Dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

$$S_{max} < \frac{d}{2}$$

$$125\text{mm} < \frac{292}{2}$$

$$125\text{mm} < 146\text{mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{max} < 600$$

$$125\text{mm} < 600\text{mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 125 mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/2$
 - b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
 - c) 24 kali diameter sengkang dan
 - d) 300 mm
- a) $S_{pakai} < \frac{d}{2}$
 - $125\text{mm} < \frac{292}{2} \text{ mm}$
 - $125 \text{ mm} < 146 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$
 - b) $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$
 - $125\text{mm} < 8(16 \text{ mm})$
 - $125 \text{ mm} < 128 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$
 - c) $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$
 - $125 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 - $125 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$
 - d) $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 - $125 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$
- Jadi, penulangan geser balok anak melintang (25/35) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10 – 125 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.5.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 16 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

1) Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

Perhitungan

$$\begin{aligned} ld &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 687,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : ld > 300mm

$$687,4 \text{ mm} > 300\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} ld \\ &= \frac{677,80}{804,25} \times 687,4 \\ &= 579,3 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 600 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 16$$

$$l_{dh} = 280,4 \text{ mm}$$

Syarat : $l_{dh} > 150\text{mm}$

$$280,4 > 150\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \text{ lhb} \\ &= \frac{677,80}{804,25} \times 280,4 \\ &= 236 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 250 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Peyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} db \quad l_{dc} = (0,043 f_y) db$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \times 16 \quad l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 16$$

$$l_{dc} = 280,4 \text{ mm} \quad l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \text{ ldc}$$

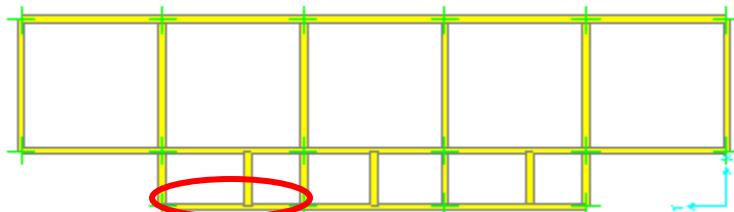
$$\begin{aligned}
 &= \frac{203,34}{402,12} \times 280,4 \\
 &= 141,7 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang kait

$$12\text{db} = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

4.5.4 Sloof

Pada perhitungan penulangan Sloof, yang dihitung secara manual adalah balok anak yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14.



Gambar 4. 37 Peninjauan Letak Sloof AS 5 (A – B)

Data Perencanaan:

Bentang balok (L balok)	: 8100 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3600 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (fyt)	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (Ø geser)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]

Jarak spasi tulangan antar lapis (s) : 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2]

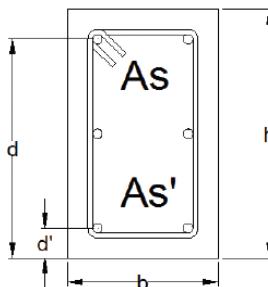
Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.(1)]

Faktor β_1 : 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3)]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,8
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]



Gambar 4. 38 Tinggi Efektif Balok Sloof 45/65

Perhitungan penulangan balok:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 650 - 40 - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 588,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

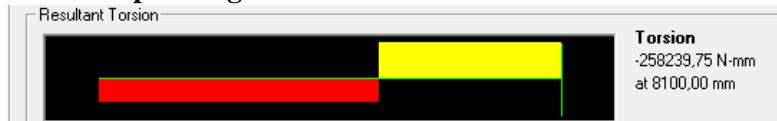
$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 12 + (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Hasil Output SAP 2000:

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok. Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa.

Kombinasi 1,2D + 1,6 L + 0,5 R merupakan kombinasi kritis di dalam permodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Momen torsi = 258.239,75 Nmm

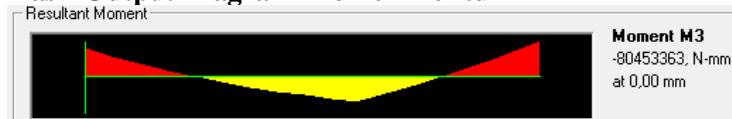
Hasil Output Diagram Axial



Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

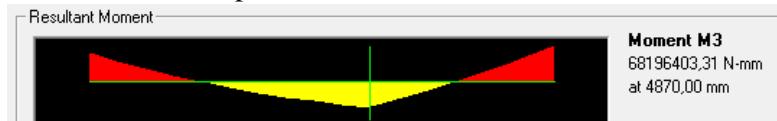
Momen axial = 20.250,66 N

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Momen Lentur tumpuan Kiri = 80.453.363 Nmm



Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Momen Lentur Lapangan = 68.196.403,31 Nmm



Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Momen Lentur tumpuan kanan = 102.175.444 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 ,Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom



Gaya geser terfaktor Vu = 63.753,14 N

Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi =

$$\frac{Ag xfc'}{10} = \frac{400 \times 600 \times 30}{10} = 720.000 N$$

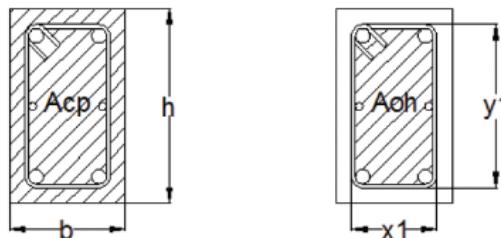
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4 D pada komponen struktur sebesar 74,51 N sesuai dengan persamaan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2)

$$Pu < \frac{Ag xfc'}{10}$$

$$13.285,54 N < 720.000N$$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan punter

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



Gambar 4. 39 Luasan Acp dan Pcp Balok Sloof 40/60

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$\begin{aligned}
 &= 400 \times 600 \\
 &= 240.000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\
 &= 2.000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (400\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 12\text{mm}) \times (600\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 12\text{mm}) \\
 &= 156.464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(400 - 2.40 - 12) + (600 - 2.40 - 12)] \\
 &= 1.632 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.5.4.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5R

$T_u = 258.239,75 \text{ Nmm}$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\emptyset} = \frac{258.239,75}{0,75} = 344.319,67 \text{ N}$$

Geser Ultimate

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada:

$$\begin{aligned}
 T_{u min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{f_{c'}} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{240.000^2}{2.000} \right) = 9.819.570 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned}Tu_{max} &= \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\&= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{240.000^2}{2.000} \right) \\&= 39.041.663,9 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat:

$Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu$

$344.319,67 \text{ Nmm} < 38.049.539,20 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{Tidak memerlukan tulangan puntir})$

4.5.4.2 Perhitungan Penulangan Lentur

- Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$1,2 D + 1,6 LL + 0,5R$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\&= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 538,5 \\&= 323,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}X_{max} &= 0,75 \times Xb \\&= 0,75 \times 323,1 \\&= 242,33 \text{ mm}\end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}X_{min} &= d' \\&= 61,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \, fc' \, b \, \beta_1 \, X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\
 &= 867.000 \, N
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\
 &= \frac{867.000}{400} \\
 &= 2.167,5 \, mm^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\
 &= 2.167,5 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 430.032.000 \, Nmm
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{tumpuan} = 80.453.363 \, Nmm$$

$$Mn = \frac{Mux}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{80.453.363}{0,8}$$

$$Mn = 100.566.703,75 \, Nmm$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$\begin{aligned}
 &= 100.566.703,75 \, Nmm - 430.032.000 \, Nmm \\
 &= -232976997,5 \, Nmm
 \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -232976997,5 \, Nmm < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{Fy} x \frac{600}{600 + Fy} = 0,032$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\frac{\phi}{0,8}} = \frac{80.453,363}{400} = 100.566.703,75 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{100.566.703,75}{400 \times 538,5^2} = 0,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,87)}{400}} \right] \\ &= 0,0022 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0022 < 0,024 \quad (\text{Tidak Oke})$$

$$\rho = 1,3 \times 0,0022 = 0,00286$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 400 \times 538,5 \\ &= 753,90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{753,90}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 2,6 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 850,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$850,58 \text{ mm}^2 > 753,90 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,30 As$$

$$= 0,30 \times 850,58$$

$$= 255,18$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{\text{Lentur}}} \\ = \frac{255,18}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ = 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$567,057 \text{ mm}^2 > 255,18 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 2 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 12)}{3 - 1}$$

$$= 119,5 \text{ mm}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$

119,5 mm \geq 25 mm (memenuhi)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi)}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 258,00 \text{ mm}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$

258,00 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$A_s = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2$$

$A'_s = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$

$$= 567,06 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 850,59 \text{ mm}^2$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik $3D19 = 850,59 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan $2D19 = 567,06 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(850,59 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 33,36 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 850,59 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{33,36}{2} \right)$$

$$= 177541784,3 \text{ Nmm}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$177541784,3 \text{ Nmm} > 100.566.703,75 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok Sloof S1 (40/60) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = $3D19$
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = $2D19$

- **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+Fy} \right) x d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 538,5$$

$$= 323,1 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 x Xb$$

$$= 0,75 x 323,1$$

$$= 242,33 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 61,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\ &= 867.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{867.000}{400} \\ &= 2.167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 2.167,5 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 430.032.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 102.175.444 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu_x}{\emptyset}$$

$$Mn = \frac{102.175.444}{0,8}$$

$$Mn = 127.719.305,00 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$\begin{aligned} &= 127.719.305,00 \text{ Nmm} - 430.032.000 \text{ Nmm} \\ &= -302.312.695 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$M_{ns} = -302.312.695 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{\frac{F_y}{400}}{0,85 f' c'} = \frac{1,4}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f' c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{102.175.444}{0,8} = 127.719.305,00 \quad \text{Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{127.719.305,00}{400 \times 538,5^2} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,1)}{400}} \right] \\ &= 0,0028 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0028 < 0,024 \quad (\text{Tidak Oke})$$

$$\rho = 1,3 \times 0,0028 = 0,00364$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00364 \times 400 \times 538,5$$

$$= 784,056 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{784,056}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 2,7 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned}
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

850,58 mm² > 784,056 mm² (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,30 As \\
 &= 0,30 \times 850,58 \\
 &= 255,18
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\
 &= \frac{255,18}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

567,057 mm² > 255,18 mm² (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$ = 25 mm → susun 2 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}}$ = 25 mm → susun lebih dari 1 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 12)}{3-1} \\
 &= 119,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

119,5 mm \geq 25 mm (memenuhi)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi)}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2-1} \\
 &= 258,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

258,00 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 As\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As'\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lentur\ tumpuan\ (+)} &\geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik $3D19 = 850,59 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan $2D19 = 567,06 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik } x F_y}{0,85 x f_c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(850,59 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 33,36 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{pasang}} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,59 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{33,36}{2} \right) \\ &= 177541784,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $M_{\text{pasang}} > M_{\text{perlu}}$

$$177541784,3 \text{ Nmm} > 127.719.305,00 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok Sloof S1 (40/60) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = $3D19$
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = $2D19$

- **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5 R$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 538,5 \\ &= 323,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 323,1 \\ &= 242,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\ &= 867.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{867.000}{400} \\ &= 2.167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 2.167,5 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 430.032.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{tumpuan} = 68.196.403 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu_x}{\emptyset}$$

$$M_n = \frac{68.196.403}{0,8}$$

$$M_n = 80.231.062,72 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$\begin{aligned} &= 80.231.062,72 \text{ Nmm} - 430.032.000 \text{ Nmm} \\ &= -349.800.937,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -349800937,3 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_{c'}^{'}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_{c'} \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{68.196.403}{0,8} = 80.231.062,72 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{80.231.062,72}{400 \times 538,5^2} = 0,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,69)}{400}} \right] \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0018 < 0,024 \quad (\text{Tidak Oke})$$

$$\rho = 1,3 \times 0,0018 = 0,00234$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 400 \times 538,5$$

$$= 753,90 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{753,90}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 2,6 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 850,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$850,58 \text{ mm}^2 > 753,90 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menutur SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,30 As$$

$$= 0,30 \times 850,58$$

$$= 255,18$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{255,18}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$567,057 \text{ mm}^2 > 255,18 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 2 lapis

$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D)}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 12)}{3-1} \\
 &= 119,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

$119,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi)}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2-1} \\
 &= 258,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

$258,00 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$ [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(I)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 As\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As'\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lentur\ tumpuan\ (+)} &\geq \frac{1}{3} M_{lentur\ tumpuan\ (-)} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik $3D19 = 850,59 \text{ mm}^2$

As pakai tulangan tekan $2D19 = 567,06 \text{ mm}^2$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(850,59 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 33,36 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{\text{pasang}} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,59 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{33,36}{2} \right) \\ &= 177541784,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$177541784,3 \text{ Nmm} > 80.231.062,72 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok Sloof S1 (40/60) untuk daerah lapangan.

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis, Lapis = 3D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis, Lapis = 2D19

Type Balok	S1	
Penampang		
Tul. Atas	3D16	3D16
Tul. Bawah	2D16	3D16
Sengkang	D12-100	D12-150
Dimensi	400 x 600	400 x 600
Letak	Tumpuan	Lapangan

Gambar 4. 40 Penulangan Sloof 45/65

4.5.4.3 Pehitungan Penulangan Geser

Dimensi balok (b balok) : 400 mm

Dimensi balok (h balok) : 600 mm

Kuat tekan beton (f'_c) : 30 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_yv) : 240 MPa

Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm

$$\beta 1 : 0,85$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } (\phi) : 0,75$$

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada diatas

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D19 = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D19 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{(As pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(850,59 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 33,36 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 850,59 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{33,36}{2} \right)$$

$$= 177.541.784,3 \text{ Nmm}$$

Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D19 = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D19 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{(As pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(567,06 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 22,24 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 567,06 \times 400 \times \left(538,5 - \frac{22,24}{2} \right)$$

$$= 119.622.441,1 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,4D dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 63.753,14 \text{ N}$

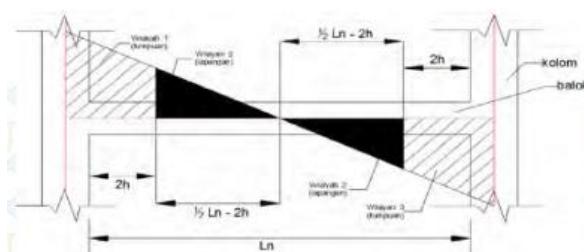
Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejauh dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang*

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3*)

- *Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.*



Gambar 4. 41 Pembagian Wilayah Geser pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3 \text{ MPa}$ (*SNI 03-2847-2013*).

$$\sqrt{f'_c} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Kuat Geser Beton /SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b x d \\ &= 0,17 x \sqrt{30} x 400 x 538,5 \\ &= 196.814,97 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \min &= \frac{1}{3} x b x d \\ &= 0,33 x 400 x 538,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 71.867 \text{ N} \\
 Vs\ max &= \frac{1}{3} x \sqrt{fc'} x b x d \\
 &= 0,33 x \sqrt{30} x 400 x 538,5 \\
 &= 393.629 \text{ N} \\
 2Vs\ max &= \frac{2}{3} x \sqrt{fc'} x b x d \\
 &= 0,66 x \sqrt{30} x 400 x 538,5 \\
 &= 787.259 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + \frac{Wu x \ell_n}{2} \\
 Vu_1 &= \frac{Mnr + Mnl}{\ell_n} + Vu
 \end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

Vu_1 = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned}
 Vu_1 &= \frac{177.541.784,3 + 119.622.441,1}{8100 - 2x(0,5 x 500)} + 63.753,14 \\
 &= 102.853,696 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 x \emptyset x Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$102.853,696 \text{ NN} \geq 73.805,61 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 x \emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset x Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$73.805,61 \text{ N} \leq 102.853,696 \text{ N} \geq 147.611,23 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + V s_{min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$147.611,23 \text{ N} \leq 102.853.696 \text{ N} \geq 201.511,23 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s\min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$201.511,23 \text{ N} \leq 102.853,696 \text{ N} \leq 442.833,69 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s\max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$442.833,69 \text{ N} \geq 102.853,696 \text{ N} \leq 738.056,15 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3.** (tulangan geser minimum)

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 71.867 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 12 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) x n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \pi 12^2) x 2$$

$$= 226,19 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v x f_y v x d}{V_s \text{ min}}$$

$$= \frac{226,19 x 240 x 538,5}{71.867}$$

$$= 406,7 \text{ mm}$$

Dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perl letakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perl letakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) $d/4$

- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
 c) 24 kali diameter sengkang dan
 d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

a) $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $100 \text{ mm} < \frac{538,5 \text{ mm}}{4}$

$100 \text{ mm} < 134,6 \text{ mm}$ (Memenuhi)

b) $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$
 $100 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$

$100 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$ (Memenuhi)

c) $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$
 $100 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$

$100 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$ (Memenuhi)

d) $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (Memenuhi)

Jadi, penulangan geser sloof (40/60) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø12 – 100 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu_2}{\frac{1}{2}\ell n - 2h} &= \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}\ell n} \\ Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times \left(\frac{1}{2}\ell n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell n} \\ &= \frac{102.853,696 \times \left(\frac{1}{2} \times 7000 - 2 \times 600\right)}{\frac{1}{2} \times 7000} \\ &= 67.689.571 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$67.689.571 \text{ N} \leq 90.656,64 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$90.656,64 \text{ N} \geq 67.689.571 \text{ N} \leq 181.313,28 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq (\emptyset \times V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$181.313,28 \text{ N} \geq 67.689.571 \text{ N} \leq 247.519,53 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (\emptyset \times V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (\emptyset \times V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$247.519,53 \text{ N} \geq 67.689.571 \text{ N} \leq 543.939,85 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (\emptyset \times V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq (\emptyset \times V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$543.939,85 \text{ N} \geq 67.689.571 \text{ N} \leq 906.566,41 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 1** (tidak memerlukan tulangan geser) namun tetap dipasang tulangan geser sesuai dengan keadaan dilapangan. Maka diambil V_s min

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 71.867 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 12 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 12^2) \times 2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_y v \times d}{V_s \text{ min}} \\ &= \frac{226,19 \times 240 \times 558,5}{71.867} \end{aligned}$$

$$= 406 \text{ mm}$$

Dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/2$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

a) $S_{pakai} < \frac{d}{2}$
 $150 \text{ mm} < \frac{538,5 \text{ mm}}{2}$
 $150 \text{ mm} < 269,25 \text{ mm}$

(Memenuhi)

b) $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$
 $150 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$

(Memenuhi)

c) $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$
 $150 \text{ mm} < 24(12 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$

(Memenuhi)

d) $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan geser sloof (40/60) pada Wilayah lapangan dipasang Ø12 – 150 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.4.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 16 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

1) Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

Perhitungan

$$\begin{aligned} l_d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1\sqrt{30}} \right] 19 \\ &= 816,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $l_d > 300\text{mm}$

$$687,4 \text{ mm} > 300\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{753,90}{850,58} \times 816,21 \\ &= 723,43 \text{ mm} \approx 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 750 mm

2) Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

[**SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1**]

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 19$$

$$l_{dh} = 333 \text{ mm}$$

Syarat : $l_{dh} > 150\text{mm}$

$$333 > 150\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 l_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} lhb \\
 &= \frac{753,90}{850,58} \times 333 \\
 &= 295\text{mm} \approx 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait:

$$12db = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Peyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran di ambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{f_{c'}}} db \quad l_{dc} = (0,043 fy) db$$

$$l_{dc} = \frac{0,24x400}{1\sqrt{30}} \times 19 \quad l_{dc} = (0,043x400)x19$$

$$l_{dc} = 333 \text{ mm} \quad l_{dc} = 326 \text{ mm}$$

Diambil 280,4 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 l_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} ldc \\
 &= \frac{255,18}{567,057} \times 333 \\
 &= 149 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang kait:

$$12db = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

4.5.5 Kolom

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan penulangan kolom jenis K1 (500 x 500) mm pada lantai 1 as A – 5 berdasarkan beban aksial ultimate terbesar (Pu). Perhitungan

berikut berdasarkan data perencanaan dan hasil analisis program SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat – syarat penulangan menggunakan metode SRPMM.

➤ Data – data perencanaan

Tipe kolom	: K – 1
As kolom	: A – 5
Tinggi kolom atas	: 4100 mm
Tinggi kolom bawah	: 3600 mm
b kolom	: 500 mm
h kolom	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: $4700 \sqrt{f_c'}$
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200.000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 12 mm
Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c))

Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 30 mm
--	---------

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)

Faktor β_1	: 0,836
------------------	---------

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (\emptyset)	: 0,9
--	-------

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (\emptyset)	: 0,75
---	--------

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (\emptyset)	: 0,75
---	--------

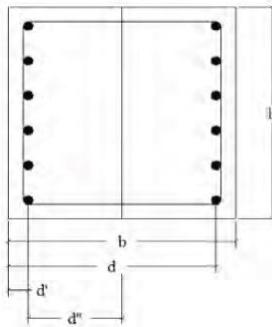
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Maka, tinggi efektif balok:

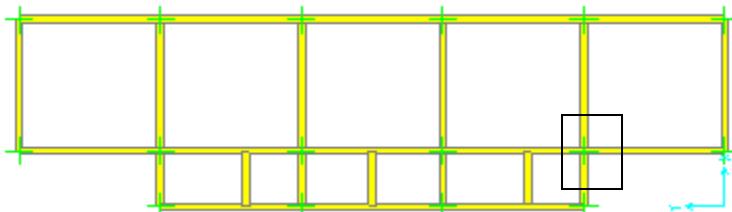
$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 500 - 40 - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 438,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 12 + (\frac{1}{2} \cdot 19) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 61,5 \text{ mm} \\
 d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2}(19) - \frac{1}{2}(500) \\
 &= 188,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 42 Tinggi Efektif Kolom



Gambar 4. 43 Denah Posisi Kolom K -1 (50/50) pada AS A – 5
Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 346 didapatkan:
Gaya Aksial Kolom



$$\begin{aligned}
 Pu(1,2 \text{ DL}) &= 1,2 \times 1.194.311,808 \text{ N} \\
 &= 1.433.174,17 \text{ N}
 \end{aligned}$$



$$Pu(1,6 \text{ L}) = 1,6 \times 553.101,244 \text{ N}$$

$$= 884.961,99 \text{ N}$$



$$Pu (1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}) = 2.318.136,15 \text{ N}$$



$$Pu (1,2D + 1L + Ex + 0,3Ey) = 2.437.755,56 \text{ N}$$



$$Pu (1,2D + 1L + 0,3Ex + Ey) = 1.918.006,64 \text{ N}$$

- Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi 1,2 D + 1,6 L
- Momen arah sumbu X



$$M_{1ns} = 29.749.007,5 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 72.224.208,93 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{1ns} = 588.818,33 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 15.705.660 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi:

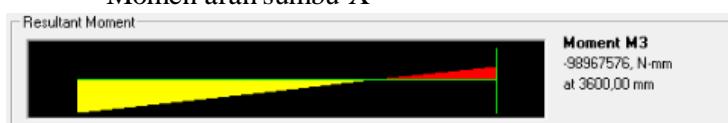
M_{1ns} = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.
(SNI 03-2847-2013)

M_{2ns} = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.
(SNI 03-2847-2013)

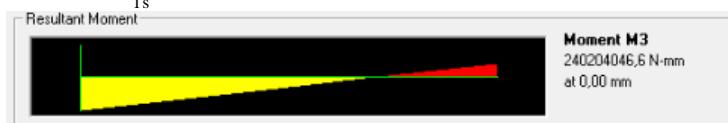
Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa

- Momen akibat pengaruh beban Gempa akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 EX + 0,3 EY Arah X

Momen arah sumbu X



$$M_{1s} = 98.967.576 \text{ Nmm}$$



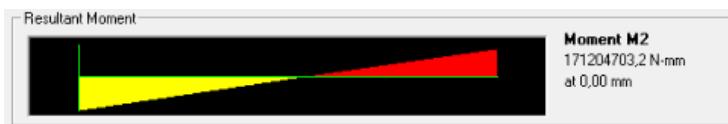
$$M_{2s} = 240.204.046,6 \text{ Nmm}$$

- Momen akibat pengaruh beban Gempa akibat kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 EX + 1 EY Arah Y

Momen arah sumbu Y



$$M_{1s} = 144.731.236 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 171.204.703,2 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa

M1s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm. [SNI 03-2847-2013]

M2s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm. [SNI 03-2847-2013]

4.5.5.1 Cek syarat komponen struktur penahan Gempa Syarat Gaya Aksial pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari Ag . fc'/10 dan Bila Pu lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (Ketentuan Kolom untuk SRPMM).

$$\frac{\text{Ag. } \text{fc}'}{10} < \text{Pu}$$

$$\frac{500.500.30}{10} < 2.437.755,56 \text{ N}$$

$$750.000 \text{ N} < 2.437.755,56 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

- Perhitungan tulangan lentur

Menghitung kontrol kelangsingan kolom

$$\beta_d = \frac{\text{Pu (akibat beban gravitasi)}}{\text{Pu (akibat beban gempa)}}$$

Keterangan:

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

Maka:

$$\beta_d = \frac{1,2 \text{ PDL}}{\text{P max} (1,2 D + 1 L + EX + 0,3 EY)}$$

$$= \frac{1.433.174,17 \text{ N}}{2.437.755,56 \text{ N}} \\ = 0,59$$

Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk kolom (50/50)

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$Ig = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,7 \times 1/12 \times 500 \text{ mm} \times (500^3) \text{ mm}$$

$$= 3.645.833.333,333 \text{ mm}^4$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.4.1)

$$Ec = 4700\sqrt{fc'}$$

$$= 4700\sqrt{30 \text{ MPa}}$$

$$= 25.742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25.742,96 \times 3.645.833.333,333}{1 + 0,59}$$

$$= 2,361 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk Balok memanjang (40/60)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$Ig = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,35 \times 1/12 \times 400 \times (600)^3$$

$$= 2.520.000.000 \text{ mm}^4$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.4.1)

$$Ec = 4700\sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{30 \text{ MPa}}$$

$$= 25.742,96 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \text{Elb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\ &= \frac{0,4 \times 25.742,96 \times 2.520.000.000}{1 + 0,59} \\ &= 1,632 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Untuk Balok melintang (35/50)

$$\begin{aligned} \text{Elb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\ &\quad \text{(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 350 \times (500)^3 \\ &= 1.276.041.667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.4.1)

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\ &= 4700 \sqrt{30 \text{ MPa}} \\ &= 25.742,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\ &= \frac{0,4 \times 25.742,96 \times 1.276.041.667}{1 + 0,59} \\ &= 8,264 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Untuk Sloof memanjang (50/70)

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\ &\quad \text{(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 500 \times (700)^3 \\ &= 5.002.083.333,333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.4.1)

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\ &= 4700 \sqrt{30 \text{ MPa}} \\ &= 25.742,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Els} = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25.742,96 \times 5.002.083.333,333}{1 + 0,59}$$

$$= 3,239 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk Sloof melintang (45/65)

$$\text{Els} = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$Ig = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,35 \times 1/12 \times 450 \times (650)^3$$

$$= 3.604.453.125 \text{ mm}^4$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.4.1)

$$Ec = 4700\sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{30 \text{ MPa}}$$

$$= 25.742,96 \text{ Nmm}$$

$$\text{Els} = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25.742,96 \times 3.604.453.125}{1 + 0,59}$$

$$= 2,334 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k)

Kekakuan Kolom atas

$$\Psi_a = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1}}$$

$$\frac{(2,361 \cdot 10^{13} + 2,361 \cdot 10^{13}) \text{ Nmm}^2}{3850 \text{ mm}}$$

$$= \frac{8,264 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 + 8,264 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 + 1,632 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 + 1,632 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{3200 \text{ mm} + 7500 \text{ mm} + 8100 \text{ mm} + 8100 \text{ mm}}$$

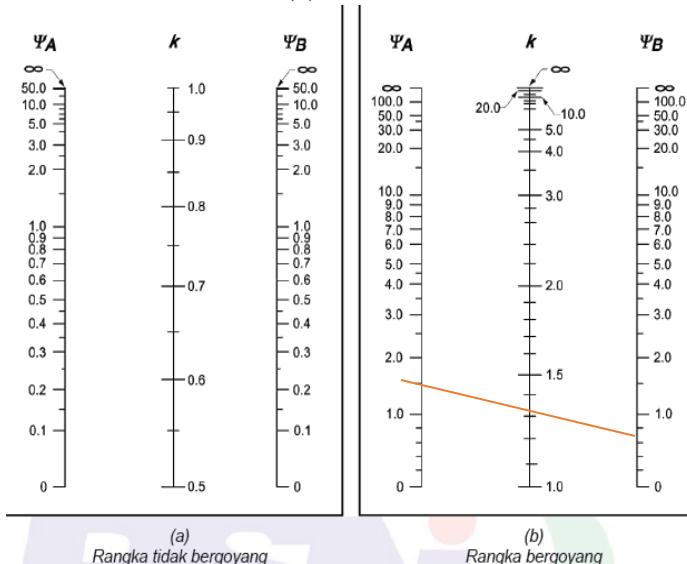
$$= \frac{2.582.475.597 + 1.101.856.255 + 1.020.237.273 + 1.020.237.273}{12.265.561.370}$$

$$= \frac{12.265.561.370}{7.713.977.642} = 1,59$$

Kekakuan Kolom bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi_b &= \frac{\sum (EI/L)_{kolombawah}}{(EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S2} + (EI/L)_{S3} + (EI/L)_{S4}} \\
 &= \frac{1800}{\frac{2,334 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{3200} + \frac{2,334 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{7500} + \frac{3,239 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{8100} + \frac{3,239 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{8100}} \\
 &= \frac{1,012 \times 10^{10} + 4.319.276.517 + 3.999.330.108 + 3.999.330.108}{13117336465} \\
 &= \frac{13117336465}{18405845173} = 0,712
 \end{aligned}$$

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k)



Gambar 4. 44 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom (Rangka Tidak Bergoyang dan Rangka Bergoyang)

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7

Dari grafik aligment didapatkan $K = 1,35$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 h$$

$$r = 0,3 \times 500$$

$$= 150 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

Nilai $\lambda = \frac{k \times L_u}{r} \geq 22$; Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom langsing)

$$\frac{1,35 \times 3600 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \leq 22$$

$32,4 \geq 22 \rightarrow$ maka kolom termasuk kolom langsing.
Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1

Peninjauan kolom akibat momen arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

Akibat kombinasi beban gempa ($1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey$)

$$M_{1s} = 98.967.576 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 240.204.046,6 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi ($1,2 D + 1,6 L$)

$$M_{1ns} = 29.749.007,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 72.224.208,93 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (kritis) pada kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{k \cdot lu^2}$$

$$P_c = \frac{3,14^2 \times 23.611.205.450.731 \text{ Nmm}^2}{1,35 \cdot 3600^2}$$

$$P_c = 13.305.729,49 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 16 \times 13.305.729,49 \text{ N}$$

$$\sum P_c = 212.891.671,8 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$\sum P_u = 16 \times 2.437.755,56 \text{ N}$$

$$\sum P_u = 39.004.088,96 \text{ N}$$

Menghitung faktor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{39.004.088,96N}{0,75 \times 212.891.671,8 N}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - 0,244} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{0,756} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,323 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,323$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7.4)

Pembesaran momen kolom arah X (M33)

Pembesaran momen arah X (M33)

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s} \\ &= 29.749.007,5 + (1,323 \times 98.967.576) \\ &= 160.658.499,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s} \\ &= 72.224.208,93 \text{ Nmm} + (1,323 \times 240.204.046,6) \\ &= 389.954.429,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 389.954.429,3 Nmm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

$$\frac{d'}{h} = \frac{61,5 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,123$$

Sumbu vertikal :

$$\nu = \frac{P_u}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_{c'}^{'}}$$

$$\nu = \frac{2.437.755,56 \text{ N}}{0,65 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 0,85 \times 30 \text{ MPa}}$$

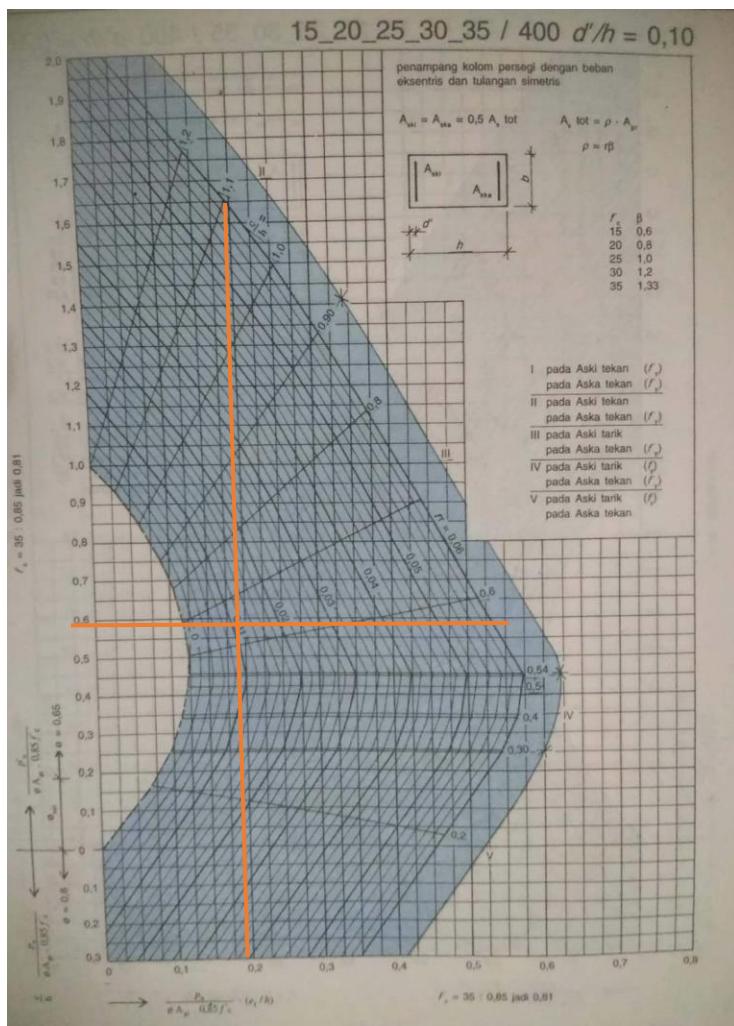
$$\nu = 0,588$$

Sumbu horizontal :

$$h = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f_{c'}^{'}}$$

$$h = \frac{389.954.429.3 \text{ Nmm}}{0,65 \times 500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa}}$$

$$h = 0,188$$



Gambar 4. 45 Diagram interaksi menentukan ρ_{perlu}
Maka didapatkan $\rho_{perlu} = 0,012$
Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.
As perlu $= \rho_{perlu} \times b \times h$
 $= 0,012 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$

$$= 3.000 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D19

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

As perlu

$$n = \frac{\text{luas tulangan D19}}{3.000}$$

$$n = \frac{3.000}{283,385}$$

$$= 10,586 \approx 12 \text{ buah}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}As_{\text{pasang}} &= n \times (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) \\ &= 12 \times (1/4 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2) \\ &= 3.400,62 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol tulangan:

As *pasang* > As *perlu*

$$3.400,62 \text{ mm}^2 > 3.000 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

Prosentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}\% \text{ Tulangan Terpasang} &= \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{3.400,62}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% \quad (\text{ok})\end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

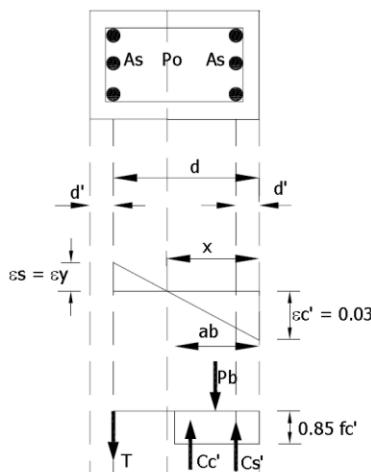
$$\begin{aligned}P_n &= \frac{2.437.755,56 \text{ N}}{0,65} \\ &= 3.750.393,169 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{389.954.429,3 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 599.929.891,2 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$e \text{ perlu} = M_n / P_n$$

$$\begin{aligned}
 &= 599.929.891,2 \text{ Nmm} / 3.750.393,169 \text{ N} \\
 &= 159,964 \text{ mm} \\
 e_{\min} &= (15,24 + 0,03h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\
 &= 30,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi balance:



Gambar 4. 46 Cek kondisi balance Kolom arah X

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 19 = 438,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 12 + \frac{1}{2} 19 = 61,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 19 - \frac{1}{2} 500 = 188,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 x_b &= \frac{600}{(600+f_y)} x d \\
 &= \frac{600}{(600+400 \text{ MPa})} \times 438,5 \text{ mm} \\
 &= 263,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$ab = 0,85 \cdot x_b$$

$$= 223,635 \text{ mm}$$

$$Cs' = As' (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3.400,62 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 1.273.532,19 \text{ N}$$

$$T = As \cdot f_y$$

$$= 3.400,62 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1.360.248 \text{ N}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x_b$$

$$= 0,85 \times 0,836 \times 30 \times 500 \times 263,1$$

$$= 2.804.382,9 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$= 2.804.382,9 \text{ N} + 1.273.532,19 \text{ N} - 1.360.248 \text{ N}$$

$$= 2.717.667,09 \text{ N}$$

$$Mb = Pb \times eb$$

$$= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 2.804.382,9 \left(438,5 - 188,5 - \frac{223,635}{2} \right) +$$

$$1.273.532,19 (438,5 - 188,5 - 61,5) + 1.360.248 \\ \cdot 188,5$$

$$= 387.516.640,079 + 240.060.817,8 + \\ 256.406.748$$

$$= 883.984.205,9 \text{ Nmm}$$

$$eb = Mb/Pb$$

$$= 883.984.205,9 \text{ Nmm} / 2.717.667,09 \text{ N}$$

$$= 325,27 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

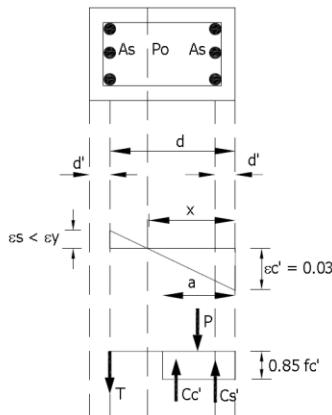
- $e_{min} < e_{perlu} < e_{balanced}$ (Kondisi Tekan Menentukan)
- $e_{min} < e_{perlu} > e_{balanced}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$e_{min} < e_{perlu} < e_b$$

$$30,24 \text{ mm} < 159,965 \text{ mm} < 325,27 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan.

Kontrol kondisi tekan menentukan



Gambar 4. 47 Kontrol kondisi tekan Kolom arah X
Syarat :

$$e < e_b$$

$$159,965 \text{ mm} < 325,27 \text{ mm (ok)}$$

Mencari nilai x

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 438,5 \text{ mm}$$

$$x = 278,576 \text{ mm}$$

(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES G.SALMON hal. 423)

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 278,576$$

$$= 236,79 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= \left(\frac{438,5}{278,576} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= \left(\frac{438,5}{278,576} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 344,45 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s$$

$$= 400 \text{ MPa} / 200.000 \text{ MPa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \text{ (ok)}$$

$$F_s < F_y$$

$$344,45 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \text{ (ok)}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3.400,62 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 1.273.532,19 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x$$

$$= 0,85 \times 0,836 \times 30 \times 500 \times 278,576$$

$$= 2.969.341,584 \text{ N}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 3.400,62 \text{ mm}^2 \left(\frac{438,5}{278,576} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 1.171.330,092 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.969.341,584 + 1.273.532,19 -$$

$$1.171.330,092$$

$$= 3.071.543,682 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } P > P_b$$

$$3.071.543,682 \text{ N} > 2.717.667,09 \text{ N} \quad (\text{ok})$$

$$M_n = C_c' \left(d - d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 2.969.341,584 \text{ N} \left(438,5 - 188,5 - \frac{236,79}{2} \right) +$$

$$1.273.532,19 \text{ N} (438,5 - 188,5 - 61,5) +$$

$$1.171.330.092 \cdot 188,5$$

$$= 390.780.199,162 + 240.060.817,8 +$$

$$220795722,4$$

$$= 851.636.739,3 \text{ Nmm}$$

Cek syarat:

$$M_{n_{\text{terpasang}}} > M_n$$

$$851.636.739,3 \text{ Nmm} > 599.929.891,2 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Pembesaran momen kolom arah Y (M22)

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah Y pada kolom sebagai berikut:

Akibat kombinasi gempa 1,2D+1L+0,3Ex + 1Ey :

$$M_{1s} = 144.731.236 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 171.204.703,2 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L:

$$M_{1ns} = 588.818,33 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 15.705.660 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai P_c (P kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(K_i l_u^2)}$$

$$P_c = \frac{3,14^2 \times 23.611.205.450.731 \text{ Nmm}^2}{(1,35 \times 3600^2)}$$

$$= 13.305.729,49 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$= 16 \times 13.305.729,49 \text{ N}$$

$$= 212.891.671,8 \text{ N}$$

$$P_u = 2.437.755,56 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$= 16 \times 2.437.755,56 \text{ N}$$

$$= 39.004.088,96 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{39.004.088,96}{0,75 \times 212.891.671,8}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - 0,244} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{0,756} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,323 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,323$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah Y (M22)

Pembesaran momen arah Y (M22)

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s} \\ &= 588.818,33 \text{ Nmm} + (1,323 \times 144.731.236 \text{ Nmm}) \\ &= 192.068.243,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s} \\ &= 15.705.660 \text{ Nmm} + (1,323 \times 171.204.703,2 \text{ Nmm}) \\ &= 242.209.482,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 242.209.482,3 Nmm.

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

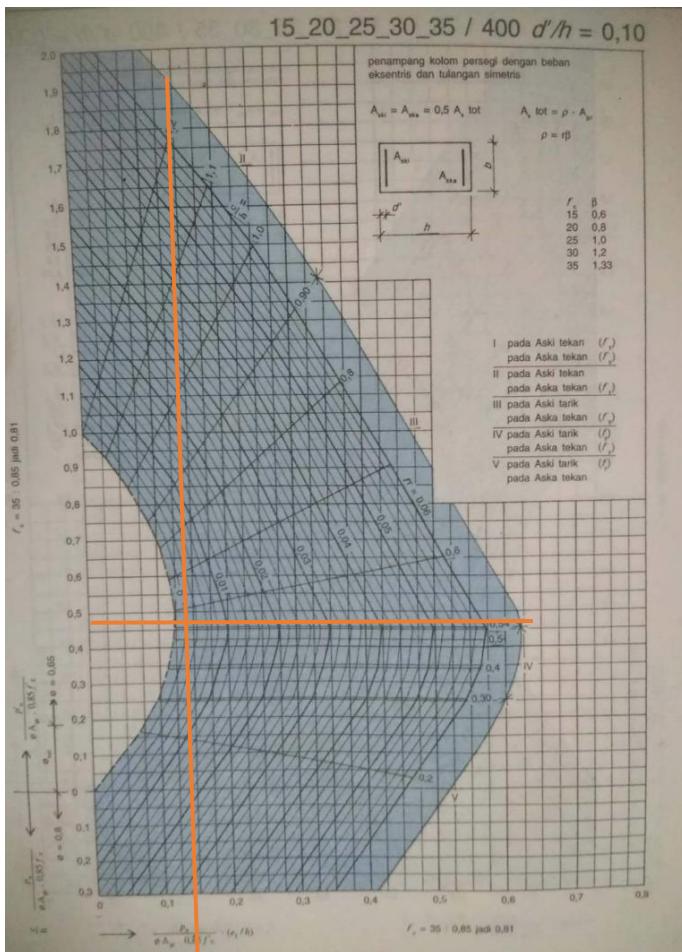
$$\frac{d'}{h} = \frac{61,5 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,123$$

Sumbu vertikal :

$$\begin{aligned} v &= \frac{Pu}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{2.437.755,56 \text{ N}}{0,65 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\ v &= 0,588 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal:

$$\begin{aligned} h &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{242.209.482,3}{0,65 \times 500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\ h &= 0,12 \end{aligned}$$



Gambar 4.48 Diagram interaksi Menentukan operlu Kolom arah Y

Maka didapatkan $\rho_{perlu} = 0,001$

Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times h \\ &= 0,001 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &\equiv 250 \text{ } mm^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D19

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D19}} \\ n &= \frac{250}{283,385} \\ &= 0,882 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{pasang}} &= n \times (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) \\ &= 4 \times (1/4 \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2) \\ &= 1.133,54 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol tulangan:

As pasang > As perlu

$$1.133,54 \text{ mm}^2 > 250 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Prosentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}\% \text{ Tulangan Terpasang} &= \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{1.133,54}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 0,453 \% < 8\% \quad (\text{ok})\end{aligned}$$

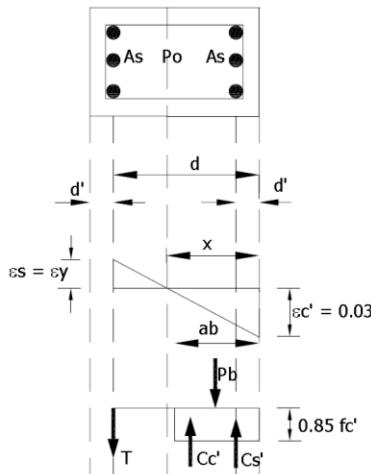
Mencari e perlu dan e min

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{2.437.755,56 \text{ N}}{0,65} \\ &= 3.750.393,169 \text{ N} \\ M_n &= \frac{242.209.482,3 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 372.629.972,8 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\ &= 372.629.972,8 \text{ Nmm} / 3.750.393,169 \text{ N} \\ &= 99,358 \text{ mm} \\ e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03h)\end{aligned}$$

$$= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\ = 30,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance:



Gambar 4. 49 Cek kondisi Balance Kolom arah Y

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 19 = 438,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 12 + \frac{1}{2} 19 = 61,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 19 - \frac{1}{2} 500 = 188,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{600}{(600+f_y)} x d \\ &= \frac{600}{(600+400 \text{ MPa})} x 438,5 \text{ mm} \\ &= 263,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \cdot x_b \\ &= 0,85 \cdot 263,1 \text{ mm} \\ &= 223,635 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 1.133,54 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\ &= 1.133,54 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 25,5 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

$$= 424.510,73 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 1.133,54 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 453.416 \text{ N} \\
 Cc' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x_b \\
 &= 0,85 \times 0,836 \times 30 \times 500 \times 263,1 \\
 &= 2.804.382,9 \text{ N} \\
 \sum V &= 0 \rightarrow P_b = Cc' + Cs' - T \\
 &= 2.804.382,9 \text{ N} + 424.510,73 \text{ N} - 453.416 \text{ N} \\
 &= 2.775.477,63 \text{ N} \\
 Mb &= P_b \times e_b \\
 &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2.804.382,9 \text{ N} \left(438,5 - 188,5 - \frac{223,635}{2} \right) + \\
 &\quad 424.510,73 \text{ N} (438,5 - 188,5 - 61,5) + 453.416 \\
 &\quad \text{N} \cdot 188,5 \\
 &= 387.516.640,079 + 80.020.272,605 + 85.468.916 \\
 &= 553.005.828,684 \text{ Nmm} \\
 eb &= Mb/P_b \\
 &= 553.005.828,684 \text{ Nmm} / 2.775.477,63 \text{ N} \\
 &= 199,247 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{min} < e_{perlu} < e_{balanced}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

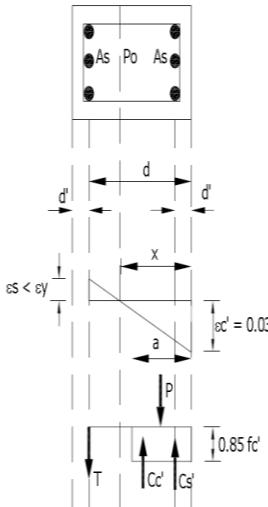
$e_{min} < e_{perlu} > e_{balanced}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{min} < e_{perlu} < e_b$

$30,24 \text{ mm} < 99,358 \text{ mm} < 199,247 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan.

Kontrol kondisi tekan menentukan



Gambar 4. 50 Kontrol kondisi tekan Kolom arah Y
Syarat :

$$e_s < e_b$$

$$99,358 \text{ mm} < 199,247 \text{ mm (ok)}$$

Mencari nilai x

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 438,5 \text{ mm}$$

$$x = 278,576 \text{ mm}$$

(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES G.SALMON hal. 423)

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot x \\ &= 0,85 \cdot 278,576 \\ &= 236,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{438,5}{278,576} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= 0,00172 \end{aligned}$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{438,5}{278,576} - 1 \right) \cdot 600 \\
 &= 344,446 \text{ MPa} \\
 \varepsilon_y &= f_y/E_s \\
 &= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Kontrol :

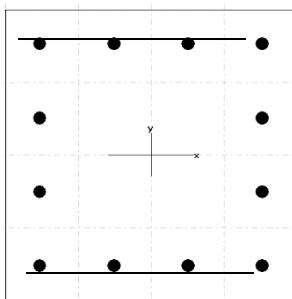
$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &< \varepsilon_y \\
 0,00172 &< 0,002 \quad (\text{ok}) \\
 F_s &< F_y \\
 344,446 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} \quad (\text{ok}) \\
 C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 1.133,54 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\
 &= 424.510,73 \text{ N} \\
 C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\
 &= 0,85 \times 0,836 \times 30 \times 500 \times 278,576 \\
 &= 2.969.341,584 \text{ N} \\
 T &= A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\
 &= 1.133,54 \text{ mm}^2 \left(\frac{438,5}{278,576} - 1 \right) \cdot 600 \\
 &= 390.443,364 \text{ N} \\
 \sum V = 0 \rightarrow P &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 2.969.341,584 + 424.510,73 - 390.443,364 \\
 &= 3.003.408,95 \text{ N} \\
 \text{Syarat : } P &> P_b \\
 3.003.408,95 \text{ N} &> 2.775.477,63 \text{ N} \quad (\text{ok})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c' \left(d - d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2.969.341,584 \text{ N} \left(438,5 - 188,5 - \frac{236,79}{2} \right) + \\
 &\quad 424.510,73 \text{ N} (438,5 - 188,5 - 61,5) + \\
 &\quad 390.443,364 \text{ N} \cdot 188,5 \\
 &= 390.780.199,162 + 80.020.272,605 + \\
 &\quad 73.598.574,114 \\
 &= 544.399.045,881 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned} \text{Mn}_{\text{terpasang}} &> \text{Mn} \\ 544.399.045,881 \text{ Nmm} &> 372.629.972,8 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Berdasarkan peninjauan momen kolom arah X dan arah Y, maka digunakan penulangan lentur terbesar sesuai dengan peninjauan momen kolom arah X sebesar yaitu 851.636.739,3 Nmm dengan jumlah 12 buah dan diameter 19 mm (12D19mm).



Gambar 4. 51 Penampang Kolom K1

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

Syarat:

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times \phi_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

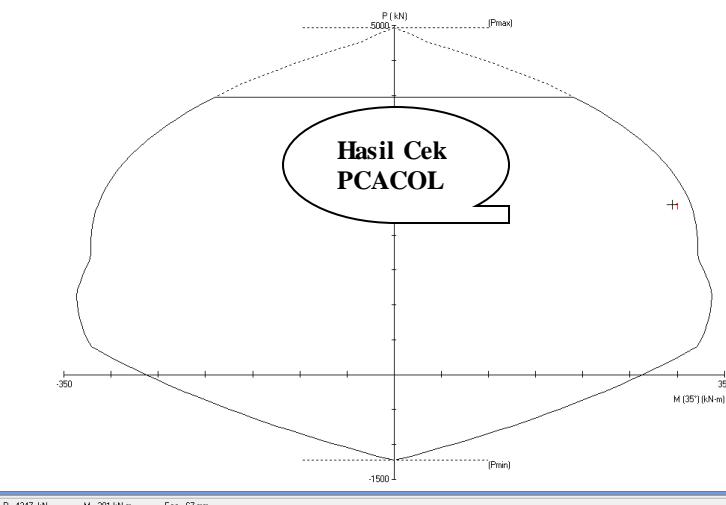
$$S_{\max} = \frac{500 - (80) - (24) - (76)}{3}$$

$$S_{\max} = 106,7 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \text{ (memenuhi)} \\ (\text{maka tulangan lentur disusun 1 lapis})$$

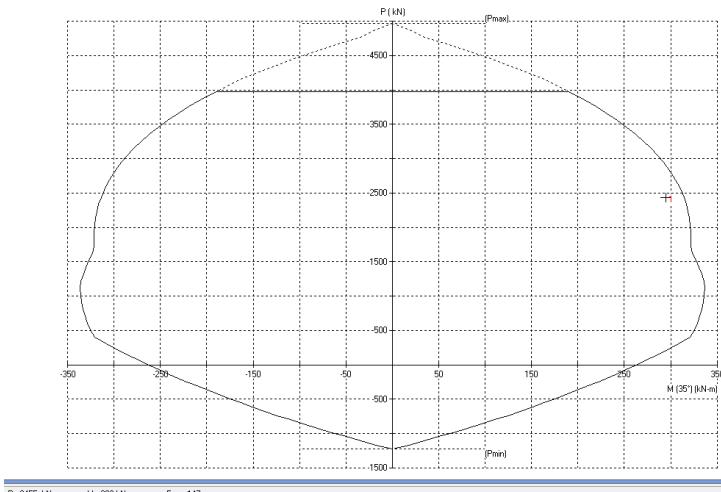
Cek dengan program pcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut:

Mutu beton (f_c')	= 30 N/mm ²
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 N/mm ²
Modulus elastisitas	= 25.742, 96 N/mm ²
β_1	= 0,836
b kolom	= 500 mm
h kolom	= 500 mm
M_{ux} (M33 kombinasi arah X)	= 240,204 kN-m
M_{uy} (M22 kombinasi arah Y)	= 171,205 Kn-m
P_u (kombinasi ultimate)	= 2.437,756 kN
Kolom Pasang	= 12D19



Gambar 4. 52 Grafik Akibat Momen pada PCACOL



Gambar 4. 53 Grafik Akibat Momen pada PCACOL dengan Grid

```

Section:
=====
Rectangular: Width = 500 mm Depth = 500 mm

Gross section area, Ag = 250000 mm^2
Ix = 5.20833e+009 mm^4 Iy = 5.20833e+009 mm^4
Xo = 0 mm Yo = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A615M
Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 10 10 71 # 13 13 129 # 16 16 199
# 19 19 284 # 22 22 387 # 25 25 510
# 29 29 645 # 32 32 819 # 36 36 1006
# 43 43 1452 # 57 57 2581

Confinement: Tied; #10 ties with #19 bars, #10 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Pattern: Irregular

Total steel area, As = 3408 mm^2 at 1.36t

Area mm^2 X (mm) Y (mm) Area mm^2 X (mm) Y (mm) Area mm^2 X (mm) Y (mm)
-----
284 -191 191 284 -64 191 284 64 191
284 191 191 284 -191 -191 284 -64 -191
284 64 -191 284 191 -191 284 64 -191
284 -191 -64 284 191 64 284 191 64

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
-----
No. Pu kN Mux kN-m Muy kN-m fMnx kN-m fMny kN-m fMn/Mu
1 2437.8 240.2 171.2 255.6 182.2 1.064

```

Gambar 4. 54 Hasil Output Pada Pcacolumn

Bersasarkan Output dari pcaColumn

$$M_{ux} = 240,2 \text{ kNm} < M_{nx} = 255,6 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 171,2 \text{ kNm} < M_{ny} = 182,2 \text{ kNm}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 12D19

Presentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 12 \times (1/4 \times 3,14 \times 19^2) \\ &= 3.400,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{3.400,62 \text{ mm}^2}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen nominal yang dihasilkan oleh analisis program PCACOL lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

- Perhitungan tulangan geser

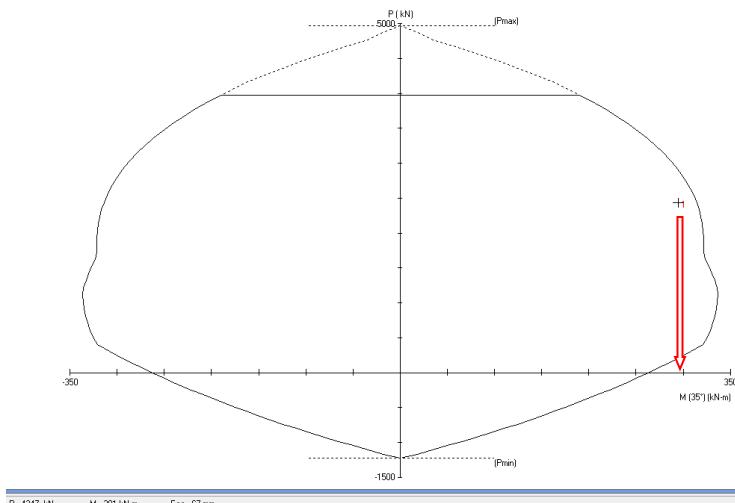
Data Perencanaan:

h kolom	: 500 mm
b kolom	: 500 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 3600 mm
Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter Tulangan lentur	: D19
Diameter Tulangan geser	: $\phi 12$
Faktor Reduksi	: 0,75

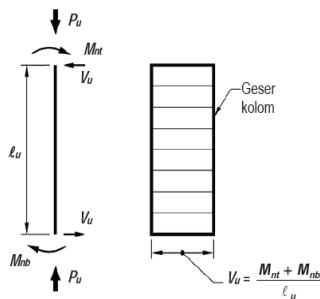
Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom /K1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_u &= (1,2D + 1L + Ex + 0,3 Ey) \\ &= 2.437.755,56 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM
diambil dari hasil pcacol sebagai berikut:



Gambar 4. 55 Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM
Mut = 255.600.000 Nmm
Mub = 182.200.000 Nmm



Gambar 4. 56 Lintang Rencana untuk SRPMM
 $V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{\ell_u}$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana:

M_{nt} = Momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\emptyset} = \frac{255.600.000}{0,75} = 340.800.000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ub}}{\emptyset} = \frac{182.200.000}{0,75} = 242.933.333,3 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \\ &= \frac{340.800.000 + 242.933.333,3}{3600} \\ &= 162.148,148 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa

(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f'_c} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq \frac{25}{3} \text{ N/mm}^2$$

$5,477 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2$ (Memenuhi)

Kekuatan geser pada beton:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left[1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \left[1 + \frac{2.437.755,56 \text{ N}}{14 \times 250.000 \text{ mm}^2} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 438,5 \\ &= 346.326,349 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$\begin{aligned} V_{s_{min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 500 \times 438,5 \\ &= 72.352,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{max}} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 500 \times 438,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 396.274,643 \text{ N} \\
 2Vs_{\max} &= 0,66 \times \sqrt{fc'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 438,5 \\
 &= 792.549,285 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi penulangan geser:

1. Kondisi 1:

$$Vu \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \rightarrow (\text{Tidak Perlu Tulangan Geser})$$

$$162.148,148 \text{ N} \geq 129.872,381 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

2. Kondisi 2:

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot Vc \rightarrow (\text{Tulangan Geser Minimum})$$

$$129.872,381 \text{ N} \leq 162.148,148 \text{ N} \leq 259.744,762 \text{ N}$$

(memenuhi)

3. Kondisi 3:

$$\emptyset \cdot Vc \leq Vu \leq (Vc + Vs_{\min}) \rightarrow (\text{Perlu Geser Minimum})$$

$$259.744,762 \text{ N} \geq 162.148,148 \text{ N} \leq 314.009,137 \text{ N}$$

(tidak memenuhi)

4. Kondisi 4:

$$\emptyset(Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vs_{\max}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

$$314.009,137 \text{ N} \geq 162.148,148 \text{ N} \leq 556.950,744 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

5. Kondisi 5:

$$\emptyset(Vc + Vs_{\max}) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vs_{\max}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

$$556.950,744 \text{ N} \geq 162.148,148 \text{ N} \leq 854.156,726 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan *Kondisi 2*.

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$Vs_{\text{perlu}} = Vs_{\min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 500 \times 438,5 = 72.352,5 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$Av = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \text{kaki}$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 2$$

$$= 226,08 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \cdot F_{\text{yv}} \cdot d}{V S_{\text{perlu}}} \\ &= \frac{226,08 \times 240 \times 438,5}{72.352,5} \\ &= \frac{23.792.659,2}{72.352,5} \\ &= 328,844 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan $S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2

$$S_{\text{pakai}} \leq \frac{d}{2}$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{438,5 \text{ mm}}{2}$$

$100 \text{ mm} \leq 219,25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

$$S_{\text{pakai}} \leq 600 \text{ mm}$$

$100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Sehingga dicoba pakai tulangan geser $\varnothing 12 - 100 \text{ mm}$

4.5.5.2 Cek Persyaratan SPRMM Untuk Kekuatan Geser Kolom

- 1) Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkat ikat yang dipasang pada rentang Lo dari muka hubungan balok-kolom So . Spasi So tersebut tidak boleh melebihi:
 - a) Setengah dimensi d ,
 $So \leq 1/2 \times d$
 $100 \text{ mm} \leq 1/2 \times 438,5 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 219,25 \text{ mm}$ (Memenuhi)
 - b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
 $So \leq 8 \times \varnothing_{\text{lentur}}$
 $100 \text{ mm} \leq 8 \times 19 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$ (Memenuhi)
 - c) 24 kali diameter sengkang ikat,
 $So \leq 24 \times \varnothing_{\text{sengkang}}$

$$100 \text{ mm} \leq 24 \times 12 \text{ mm}$$

100 mm \leq 288 mm (Memenuhi)

- d) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,

$$So \leq \frac{1}{2} \times bw$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 500 \text{ mm}$$

100 mm \leq 250 mm (Memenuhi)

- e) So \leq 600 mm

$$100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} (\text{Memenuhi})$$

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi,
Maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol
yaitu 100 mm.

Maka, dipakai So sebesar Ø12 – 100 mm.

Panjang Lo tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini:

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,

$$Lo = \frac{1}{6} \times (3600 - 500)$$

$$Lo = \frac{1}{6} \times 3100 \\ = 516,7 \text{ mm}$$

- b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$Lo = 500 \text{ mm}$$

- c) Lo > 450mm

Maka dipakai Lo sebesar 500 mm

Sehingga dipasang sengkang sebesar Ø12 – 100 mm sejarak 500 mm dari muka hubungan balok kolom.

- 2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times So = 0,5 \times 100 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.
- 3) Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times So = 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$. Maka pada daerah setelah sejarak Lo = 500 mm dari

muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\varnothing 12 - 100 \text{ mm}$.

4.5.5.3 Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 400 \text{ Mpa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 19 \geq 300 \text{ mm}$$

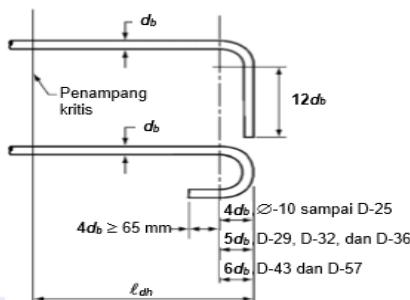
$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 550 mm

4.5.5.4 Perhitungan panjang penyaluran tulangan Kolom

- Kait standar

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standar.



Gambar 4. 57 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar

- Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 12.2.2.

Untuk tulangan dengan diameter $\leq 19 \text{ mm}$

$$ld = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

Untuk tulangan dengan diameter $\geq 22 \text{ mm}$

$$ld = \left(\frac{fy \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c}} \right) db \geq 300 \text{ mm}$$

- Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus diambil sebesar:
- $$\frac{Ld}{db} = \frac{fy}{1,1\lambda\sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{(\frac{cb + ktr}{db})}$$
- Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan.

Diambil nilai terbesar dari:

$$ldc = \frac{0,24 \cdot fy}{\lambda \sqrt{f'c}} db$$

dan,

$$ldc = 0,043 \cdot fy \cdot db$$

(SNI 2847 – 2013 pasal 12.3.2)

$$ldc \geq 200 \text{ mm}$$

(SNI 2847 – 2013 pasal 12.3.1)

Ldc diizinkan untuk dikalikan faktor modifikasi:

- a. Untuk tulangan lebih

$$\text{nilai faktor} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}$$

- b. Untuk tulangan yang dilingkupi:

- Tulangan spiral dengan diameter $\geq \phi 6 \text{ mm}$ dan spasi $\leq 100 \text{ mm}$
- Didalam sengkang D13 dan spasi $\leq 100 \text{ mm}$
Nilai faktor = 0,75

(SNI 2847 – 2013 pasal 12.3.3)

- Penyaluran kait standar dalam kondisi tarik,
Lihat pasal 7.1.

$$ldh = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot fy}{\lambda \sqrt{f'c}} db \geq 8db \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

(SNI 2847 – 2013 pasal 12.5.2)

Ldh diizinkan untuk dikalikan faktor modifikasi:

- a. Untuk kait batang tulangan $\leq D36$ dengan selimut samping ≥ 65 mm
Untuk kait 90° dengan selimut pada perpanjangan batang tulangan sesudah kait ≥ 50 mm
Nilai faktor = 0,7
- b. Untuk kait 90° dari batang tulangan $\leq D36$ baik yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap batang tulangan dengan spasi ≤ 3 db sepanjang ldh, atau dilingkupi dalam pengikat atau sengkang pararel terhadap batang dengan spasi ≤ 3 db sepanjang panjang perpanjangan ekor kait ditambah bengkokan.
Untuk kait 180° dari batang tulangan $\leq D36$ yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap batang tulangan yang disalurkan dengan spasi ≤ 3 db sepanjang ldh.
Nilai faktor = 0,8
- c. Pengangkuran atau penyaluran untuk f_y tidak secara khusus diperlukan, dan untuk tulangan lebih.

$$\text{nilai faktor} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}$$

(SNI 2847 – 2013 pasal 12.5.3)

Keterangan:

- Ψ_t = Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan $\Psi_t = 1,3$. untuk situasi lainnya $\Psi_t = 1,0$
- Ψ_e = Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari 3db, atau spasi bersih kurang dari 6db, $\Psi_t = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\Psi_e =$

1,2. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (di galvanis), $\Psi_t = 1,0$.
akan tetapi, hasil $\Psi_t \Psi_e$ tidak perlu lebih besar dari 1,7.

Ψ_s = untuk batang tulangan atau kawat ulir D19 atau yang lebih kecil, $\Psi_t = 0,8$. Untuk batang tulangan D22 dan yang lebih besar, $\Psi_t = 1,0$.

λ = Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi 0,75 kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila berat beton normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

cb = spasi atau dimensi selimut beton (mm), pergunakan nilai terkecil antara jarak dari pusat batang atau kawat ke permukaan beton terdekat dan setengah spasi sumbu – sumbu batang atau kawat yang disalurkan

$Ktr = 0$ sebagai penyederhanaan desain meskipun terdapat tulangan transversal

Maka,

$$\frac{Ld}{db} = \frac{400}{1,1 \cdot 1\sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{(\frac{50+0}{19})}$$

$$\frac{Ld}{db} = 14,80$$

$$ld = 20,18 \times 19 \text{ mm}$$

$$ld = 383,4 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Tabel 4. 18 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe kolom	Penulangan	
Kolom Lantai 1 50/50	Lentur	12D19
	Geser	$\emptyset 12 - 100$
Kolom Lantai 2 50/50	Lentur	12D19
	Geser	$\emptyset 12 - 100$
Kolom Lantai 3 50/50	Lentur	12D19
	Geser	$\emptyset 12 - 100$

Kolom Lantai 4 50/50	Lentur	12D19
	Geser	$\emptyset 12 - 100$
Kolom Lantai 5 50/50	Lentur	12D19
	Geser	$\emptyset 12 - 100$

4.5.5.5 Perhitungan Volume Penulangan Kolom Lantai 1-5 (Typikal)

Kolom Struktur

Jumlah titik kolom	= 86 titik
Tinggi kolom	= 3600 mm
Tulangan utama	= 12D19
Tulangan geser	= $\emptyset 12$
Jarak antar tulangan geser	= 100 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 550 mm
Panjang penyaluran (L_d)	= 400 mm
Bengkokan ($12d_b$)	= 228 mm
Kait ($4d_b$)	= 76 mm

Tulangan Utama

- Panjang tulangan utama

$$\begin{aligned}
 L &= (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \\
 &\quad \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan} \\
 &= (3600 \text{ mm} + 400 \text{ mm} \times 2 + 550 \text{ mm}) \times 12 \\
 &= 59.400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Bengkokan pada tulangan utama

$$\begin{aligned}
 n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom} \\
 &= 2 \times 12 \times 86 \\
 &= 2.064 \text{ buah}
 \end{aligned}$$
- B

$$\begin{aligned}
 B &= 12d_b \times 24 \\
 &= 12 \times 19 \text{ mm} \times 24 \\
 &= 5.472 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Kait pada tulangan utama

$$\begin{aligned}
 n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom} \\
 &= 2 \times 12 \times 86 \\
 &= 2.064 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= 4d_b \times \text{jumlah tulangan} \\
 &= 76 \text{ mm} \times 12 \\
 &= 912 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berat baja tulangan D19

$$\begin{aligned}
 Bj &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,012^2 \\
 &= 0,887 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter

Panjang total tulangan,

$$\begin{aligned}
 &= \text{Panjang tulangan utama} + \text{Bengkokan tulangan utama} + \\
 &\quad \text{Kait tulangan utama} \\
 &= 59.400 \text{ mm} + 5.472 \text{ mm} + 912 \text{ mm} \\
 &= 65.784 \text{ mm} \\
 &= 65,784 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= \text{Panjang total tulangan} \times \text{Berat jenis baja} \\
 &\quad \text{tulangan D19} \\
 &= 65,784 \text{ meter} \times 0,887 \text{ kg/m} \\
 &= 58,374 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom per lantai

$$\begin{aligned}
 V &= 58,374 \text{ kg} \times 86 \\
 &= 5.020,194 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser/ Beugel

- Panjang Beugel

$$\begin{aligned}
 L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\
 &\quad (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\
 &= ((500 - 40) \times 2) + ((500 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\
 &\quad 0,012) \\
 &= 1.840,336 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Jumlah beugel per 1 kolom

$$\begin{aligned}
 n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antar tulangan}) + 1 \\
 &= (3600 / 100) + 1 \\
 &= 37 \text{ buah}
 \end{aligned}$$
- Jumlah kait per lantai

$$n = 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 37 \times 16$$

$$= 1.184 \text{ buah}$$

- Jumlah bengkokan per lantai

$$\begin{aligned} n &= 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 3 \times 37 \times 16 \\ &= 1.776 \text{ buah} \end{aligned}$$

Berat baja tulangan Ø12,

$$\begin{aligned} Bj &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,012^2 \\ &= 0,887 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= L \times n \\ &= 1.840,336 \text{ mm} \times 37 \\ &= 68.092,432 \text{ mm} \\ &= 68,09 \text{ meter} \\ &\approx 69 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= L_{\text{total}} \times Bj \\ &= 69 \text{ meter} \times 0,887 \text{ kg/m} \\ &= 61,228 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom lantai 1-5,

$$\begin{aligned} V &= 61,228 \text{ kg} \times 86 \\ &= 5.265,618 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.5.5.6 Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom

Type Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (kg)	Volume Tul.Geser (kg)	Volume Total
Kolom Struktur	Lantai 1	5.020,194	5.265,618	10.285,812
Kolom Struktur	Lantai 2	5.020,194	5.265,618	10.285,812
Kolom Struktur	Lantai 3	5.020,194	5.265,618	10.285,812

Type Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (kg)	Volume Tul.Geser (kg)	Volume Total
Kolom Struktur	Lantai 4	5.020,194	5.265,618	10.285,812
Kolom Struktur	Lantai 5	5.020,194	5.265,618	10.285,812
Volume	25.100,97	26.328,09	51.429,062	

Tabel 4. 20 Jumlah Tulangan Yang Dibutuhkan

Type Kolom	Lantai	Panjang Tul. Utama (m)	Panjang Tul.Geser (m)	Total (m)
Kolom Struktur	Lantai 1	59.400	1.840,336	61.240,33
Kolom Struktur	Lantai 2	59.400	1.840,336	61.240,33
Kolom Struktur	Lantai 3	59.400	1.840,336	61.240,33
Kolom Struktur	Lantai 4	59.400	1.840,336	61.240,33
Kolom Struktur	Lantai 5	59.400	1.840,336	61.240,33

Tabel 4. 21 Rekapitulasi Jumlah Bengkokan dan Kaitan

Type Kolom	Lantai	Tul. Utama		Tul. Geser	
		Bengk okan	Kaitan	Bengkoka n	Kaitan
Kolom Struktur	Lantai 1	2.064	2.064	1.776	1.184
Kolom Struktur	Lantai 2	2.064	2.064	1.776	1.184
Kolom Struktur	Lantai 3	2.064	2.064	1.776	1.184

Type Kolom	Lantai	Tul. Utama		Tul. Geser	
		Bengkokan	Kaitan	Bengkokan	Kaitan
Kolom Struktur	Lantai 4	2.064	2.064	1.776	1.184
Kolom Struktur	Lantai 5	2.064	2.064	1.776	1.184

4.5.6 Perhitungan Borpile dan Pilecap

Perhitungan Daya Dukung Tanah Dan Tiang Tunggal.

Perhitungan menggunakan rumusan Luciana De Court (1996). Berdasarkan nilai N - SPT yang tinggi dan kategori tanah keras, berikut merupakan perhitungan daya dukung ijin borpile.

a. Data perencanaan

Kedalaman : 18 m
Diameter : 600 mm
Mutu beton : 52 Mpa
Safety factor : 3
K : koefisien karakteristik tanah
12t/m² untuk lempung
20 t/m² untuk lanau berlempung
25 t/m² untuk lanau berpasir
40 t/m² untuk pasir

Tabel 4. 22 Daya dukung ijin borpile

No	Pile/Soil	Clay		Intermediate Soil		Sand	
		α	β	α	β	α	β
1	Driven Pile	1	1	1	1	1	1
2	Bored Pile	0,85	0,8	0,6	0,65	0,5	0,5
3	Injection Pile	1	3	1	3	1	3

b. Perhitungan daya dukung ijin

Nilai N spt lebih dari 15 maka N' dihitung dengan rumus di bawah ini

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

$$N' = 15 + 0,5 (21-15)$$

$$= 18$$

N_p' adalah harga rata-rata SPT di sekitar $4\varnothing$ di atas dibawah dasar tiang pondasi, maka $4\varnothing = 0,4 \times 4 = 1,6$ m, karena nilai N_{spt} diperoleh dari hasil borlog pertiap 2 m maka yang dihitung adalah rata-rata nilai N_{spt} pada kedalaman 16 m dan 20 m, sehingga:

$$\text{Nilai } N_{spt} \text{ 16 m} : 18 \text{ blow/m}$$

$$\text{Nilai } N' \text{ 16 m} : 16,5 \text{ blow/m}$$

$$\text{Nilai } N_{spt} \text{ 20 m} : 37 \text{ blow/m}$$

$$\text{Nilai } N_{spt} \text{ 20 m} : 20 \text{ blow/m}$$

$$N_p' = \frac{16,5 \frac{\text{blow}}{m} + 18 \frac{\text{blow}}{m} + 20 \frac{\text{blow}}{m}}{3} = 18,2 \text{ blow/m}$$

$$K = 40 \text{ t/m}^2 (\text{Untuk tanah jenis pasir})$$

$$Q_p = \alpha (N_p \times K) A_p \\ = 0,5 (18,2 \times 40 \text{ t/m}^2) (0,25 \times \pi \times 0,6^2) = 205,46 \text{ T}$$

NS adalah harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam dengan batasan $3 \leq N \leq 50$, karena nilai N_{spt} lebih besar dari 3 dari lebih dari 50 maka nilai N_s untuk kedalaman 12 m adalah 50, dan untuk nilai N_s , yaitu:

$$Ns = \frac{11x4m + 15x6m + 22x8m + 19x10m + 11x12m + 14x14m + 18x16m + 21x18m}{2m + 4m + 6m + 8m + 10m + 12m + 14m + 16m + 30m}$$

$$Ns = 16,67$$

$$Q_s = \beta \times \left(\left(\frac{Ns}{3} \right) + 1 \right) \times A_s \\ = 0,5 \times \left(\frac{16,97}{3} + 1 \right) \times \frac{1}{4} \pi \times 0,6^2 \\ = 24$$

$$Q_L = Q_p + Q_s \\ = 205,46 \text{ T} + 24 \text{ T} \\ = 229,46 \text{ T}$$

Sehingga daya dukung ijin pada kedalaman 18 m adalah

$$Q_L = \frac{T}{SF} \\ = \frac{229,46 \text{ T}}{3} = 76,487 \text{ ton}$$

Tipe Pondasi yang direncanakan sesuai Gaya Aksial pada Tiap joint

Tabel 4. 23 Gaya aksial tiap joint

Joint	P (ton)	Kebutuhan	tiang pasang	tipe
344	189,729	2,48054	4	2
345	182,294	2,38332	4	2
346	268,669	3,51261	4	2
347	248,297	3,24627	4	2
348	289,169	3,5439	4	2
349	249,304	3,25942	4	2
350	244,773	3,20019	4	2
351	248,919	3,25439	4	2
352	304,38	3,689	4	2
353	248,782	3,25261	4	2
354	187,472	2,45103	4	2
355	179,968	2,35292	4	2
356	104,032	1,36013	2	1
357	91,4777	1,19599	2	1
358	98,5793	1,28884	2	1
359	94,5095	1,23563	2	1

Jumlah total pile cap:

$$\text{Pile cap tipe 1} = 4$$

$$\text{Pile Cap tipe2} = 12$$

$$\text{Total} = 16$$

Jumlah tiang bor:

$$\text{Pile cap 1} = 4 \times 2 = 8$$

$$\text{Pile Cap 2} = 12 \times 2 = 24 +$$

$$\text{Total} = 32$$

Untuk tipe 1 yang ditinjau pada joint 359 dengan P sebesar 94,51 T

Untuk tipe 1 yang ditinjau pada joint 347 dengan P sebesar 248,29 T

Perhitungan Pondasi tipe 1

a. Data perencanaan

Kedalaman	: 18 m
Diameter	: 600 mm
Bj beton	: 2,4 t/m ³
Es	: 200.000
Lebar kolom	: 0,5 m
Tinggi kolom	: 0,5 m
Tulangan utama	: 22 m
Tulangan sengkang	: 12 mm
Mutu beton(fc)	: 30 Mpa
Mutu baja(fy)	: 400 Mpa
Tebal selimut	: 50
Faktor reduksi geser	: 0,75
Faktor reduksi beban aksial	: 0,65
Faktor reduksi lentur	: 0,9

b. Perencanaan dimensi Pile Cap

Perhitungan jarak antar tiang pancang (s)

$$2D \geq s$$

$$2 \times 60 \text{ cm} \geq s$$

$$120 \geq s$$

Digunakan S pakai 180 cm

Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap

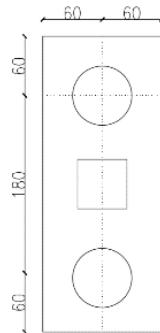
$$0,5D \geq s$$

$$0,5 \times 60 \text{ cm} \geq s$$

$$30 \text{ cm} \geq s$$

Dipakai jarak 60 cm

Jadi dimensi pile cap pondasi tipe 1



Gambar 4. 58 Dimensi Pile cap Pondasi Tipe 1

- c. Pengecekan ulang kebutuhan pile cap

Asumsi tebal pile cap = 0,7 m

$$\begin{aligned} \text{Berat pile cap} &= 3\text{m} \times 1,5\text{m} \times 0,7 \text{ m} \times 2,4 \text{ t/m}^3 \\ &= 7,56 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah} &= \text{dimennsi pile cap} \times \text{timbunan} \times \text{Bj tanah} \\ &= 3\text{m} \times 1,5\text{m} \times 0,65\text{m} \times 2 \text{ t/m}^3 \\ &= 5,85 \end{aligned}$$

$$\text{P maks} = 94,51 \text{ ton}$$

$$\text{Berat pc} = 7,56 \text{ ton}$$

$$\text{Berat tanah} = 5,85 \text{ ton} +$$

$$\text{P total} = 107,92 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{P_{total}}{P_{tiang}} = \frac{107,92}{76,487} = 1,41$$

Setelah ditambahkan berat sendiri pile cap dan tanah dengan dimensi tersebut tetap dibutuhkan 4 buah tiang borpile

- d. Perhitungan daya dukuung tiang pancang berdasarkan efesiensi

$$Efisiensi (\eta) = 1 - Artag \frac{D}{s} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \right]$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam satu kolom

n = banyaknya tiang dalam baris

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang pancang
Sehingga:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \text{Artag} \frac{0,6}{1,5} \left[\frac{(2-1)m + (2-1)n}{90 \times 2 \times 2} \right]$$

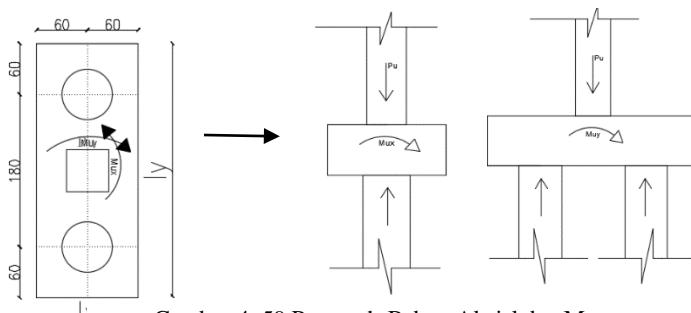
$$= 0,87$$

$$\text{P ijin borpile} = 0,87 \times 76,487$$

$$= 66,54$$

e. Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok

Beban aksial dan momen yang bekerja akan di distribusikan ke pile cap dan kelompok ting pancang. Oleh karena itu tiang harus dikontrol untuk memastikan bahwa tiang masih dapat menahan struktur beban sesuai daya dukungnya.



Gambar 4. 59 Pengaruh Beban Aksial dan Momen

Pengaruh jarak X dan Y

X = jarak horizontal dari as tiang ke as kolom

Y = jarak vertikal dari as tiang ke as kolom

	X(m)	X ²		Y(m)	Y ²	
X ₁	0,00	0,00		Y ₁	0,9	
X ₂	0,00	0,00		Y ₂	0,9	
	ΣX^2	0,00			ΣY^2	1,62

P akibat beban tetap 1,2D

+ 1,6L

P = 93,11 ton

Mx = 10,32 ton.m

$$My = 0,49 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P &= P + bs \text{ pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 93,11 \text{ ton} + 7,56 \text{ ton} + 5,85 \text{ ton} \\ &= 106,52 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang

$$\begin{aligned}P_{maks} &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{\Sigma M_x Y_1}{\Sigma Y^2} + \frac{\Sigma M_y X_1}{\Sigma X^2} \\ &= \frac{106,52}{2} + \frac{10,32 \times 0,81}{1,62} + \frac{0,49 \times 0}{0} \\ &= 58,42 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 60,17 ton

Syarat:

$$\begin{aligned}P_{max} (1 \text{ tiang}) &< P_{ijin} \text{ tanah} \times \eta \times 1,5 \\ 58,42 \text{ ton} &< 66,54 \times 1,5 \\ 58,42 \text{ ton} &< 99,81\end{aligned}$$

P akibat beban Sementara 1,2D + 1,6L+0,5W

$$P = 94,51 \text{ ton}$$

$$M_x = 10,33 \text{ ton.m}$$

$$My = 0,15 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P &= P + bs \text{ pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 94,51 \text{ ton} + 7,56 \text{ ton} + 5,85 \text{ ton} \\ &= 107,92 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang:

$$\begin{aligned}P_{maks} &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{\Sigma M_x Y_1}{\Sigma Y^2} + \frac{\Sigma M_y X_1}{\Sigma X^2} \\ &= \frac{107,92}{2} + \frac{10,33 \times 0,81}{1,62} + \frac{0,15 \times 0}{0} \\ &= 59,12 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 60,88 ton

Syarat :

$$\begin{aligned}P_{max} (1 \text{ tiang}) &< P_{ijin} \text{ tanah} \times \eta \times 1,5 \\ 59,12 \text{ ton} &< 66,54 \times 1,5 \\ 59,12 \text{ ton} &< 99,81 \text{ (Memenuhi)}\end{aligned}$$

P akibat beban Sementara 1,2D + 1,0L + 1Ex + 0,3 Ey

$$P = 4,72 \text{ ton}$$

$$M_x = 10,73 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 26,5 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\sum P &= P + \text{bs pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 4,72 \text{ ton} + 7,56 \text{ ton} + 5,85 \text{ ton} \\ &= 18,13 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang:

$$\begin{aligned}P_{\max} &= \frac{\sum P}{n} \pm \frac{\sum M_x Y_1}{\sum Y^2} \pm \frac{\sum M_y X_1}{\sum X^2} \\ &= \frac{18,13}{2} + \frac{10,73 \times 0,81}{1,62} + \frac{26,5 \times 0}{0} \\ &= 14,43 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 14,43 ton ton

Syarat :

$$P_{\max} (1 \text{ tiang}) < P \text{ ijin tanah} \times \eta \times 1,5$$

$$14,43 \text{ ton ton} < 66,54 \times 1,5$$

$$14,43 \text{ ton ton} < 99,81 \text{ (Memenuhi)}$$

P akibat beban Sementara 1,2D + 1,0L + 0,3Ex + 1Ey

$$P = 18,12 \text{ ton}$$

$$M_x = 17,65 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 10,74 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\sum P &= P + \text{bs pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 18,12 \text{ ton} + 7,56 \text{ ton} + 5,85 \text{ ton} \\ &= 31,53 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang:

$$\begin{aligned}P_{\max} &= \frac{\sum P}{n} \pm \frac{\sum M_x Y_1}{\sum Y^2} \pm \frac{\sum M_y X_1}{\sum X^2} \\ &= \frac{31,53}{2} + \frac{17,65 \times 0,81}{1,62} + \frac{10,74 \times 0}{0} \\ &= 24,59 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 20,87 ton

Syarat :

$$P_{\max} (1 \text{ tiang}) < P \text{ ijin tanah} \times \eta \times 1,5$$

$$24,59 \text{ ton} < 66,54 \times 1,5$$

$$24,59 \text{ ton} < 99,81 \text{ (Memenuhi)}$$

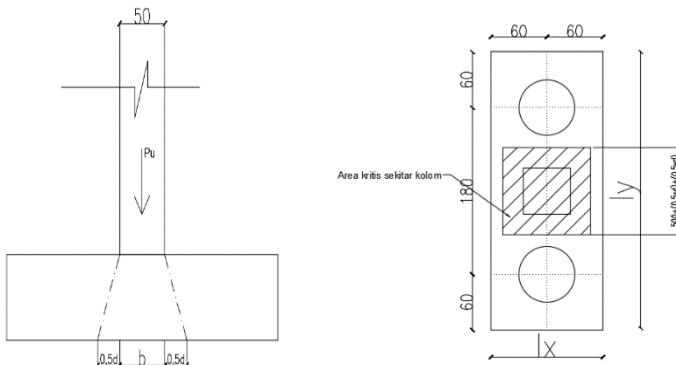
Penulangan Pilecap type 1

Tebal pilecap (h) = 0,7 m = 700m

$$d = h - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan}$$

$$d = 700 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 19 \text{ mm}$$

$$d = 606 \text{ mm}$$



Gambar 4. 60 Area Kritis di sekitar Kolom

Geser dua arah sekitar kolom

$$\begin{aligned} V_{u1} &= P_{\text{ult pile cap}} \\ &= 60,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_o &= 4 \times (b_{\text{kolom}} + d) \\ &= 4 \times (500\text{mm} + 606\text{mm}) \\ &= 4.424 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_c &= \frac{b_{\text{kolom}}}{h_{\text{kolom}}} = \frac{500 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 1 \\ a_s &= 20 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1 Nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai yang terkecil antara:

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) 1 \sqrt{30} 4424 \times 606 \\ &= 7.488.908,871 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,083 \left(2 + \frac{20 \times 606}{4424} \right) 1 \sqrt{30} 4424 \times 606 \\
 &= 5.76.657,5 \\
 V_{c3} &= 0,33 \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 4424 \times 606 = 4.845.764,56 \text{ N} \\
 V_n &= V_{c3} \\
 \emptyset V_n &= 0,75 \times 4.845.764,56 \text{ N} \\
 &= 3.634.323.423 \text{ N} = 363,43 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan : $\emptyset V_n > V_{u1}$
 $363,43 \text{ ton} > 60,8 \text{ ton (oke)}$

Geser dua arah disekitar tiang pancang

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 2 \left(S \text{ tepi} + \frac{d \text{ tiang}}{2} + \frac{d}{2} \right) \\
 &= 2 \left(0,6 \times 1000 \text{ mm} + \frac{0,6 \times 1000 \text{ mm}}{2} + \frac{606 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 2.006 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1 Nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai yang terkecil antara:

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \sqrt{30} 2.006 \times 606 \\
 &= 3.395.739,42 \text{ N} \\
 V_{c2} &= 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,083 \left(2 + \frac{20 \times 606}{2.006} \right) 1 \sqrt{30} \times 2.006 \times 606 \\
 &= 4.444.261,01 \\
 V_{c3} &= 0,33 \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 2.006 \times 606 = 2.197.243,15 \text{ N} \\
 V_n &= V_{c3} \\
 \emptyset V_n &= 0,75 \times 2.197.243,15 \text{ N} \\
 &= 1.647.932,36 \text{ N} = 363,43 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Transfer beban kolom ke pondasi

Kuat tekan rencana berdasarkan tegangan ultimate beton sebesar 0,85 f_c' adalah :

$$\begin{aligned}\emptyset V_n &= \emptyset(0,85f_c')A_g \\ &= 0,65 (0,85 \times 30) 500 \times 500 \\ &= 4.143,75 \text{ ton}\end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\emptyset V_n > P_u$$

$$4.143,75 \text{ ton} > 94,51 \text{ ton}$$

Perhitungan Tulangan Pondasi

$$M_u = P_{\text{tiang}} \times \text{jarak tepi kolom ke as tiang}$$

$$M_u = 76,487 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 57,365 \text{ ton.m}$$

$$= 573.652.500 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{573.652.500}{3000 \times 606^2} = 0,521 \text{ N/mm}^2 \\ \rho &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85f_c'}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,521}{0,85 \times 30}} \right] \\ &= 0,0013\end{aligned}$$

Penulangan Arah Y

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$As = 0,0013 \times 3000 \text{ mm} \times 606 \text{ mm}$$

$$As = 2.363,4 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min} = \rho_{\text{min}} \times b \times d$$

$$As = 0,0018 \times 3000 \text{ mm} \times 606 \text{ mm}$$

$$As = 3.272,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } 9 \text{ D } 22 \text{ As} = 3.421,19 \text{ mm}^2$$

Tulangan atas (susut) diambil 30% dari tulangan tersebut dan didapatkan : As susut = $0,3 \times 3.421,19 \text{ mm}^2 = 1.026,35 \text{ mm}^2$.

$$\text{Dipasang tulangan } 9 \text{ D } 16 \text{ As} = 1.809,557 \text{ mm}^2$$

Penulangan Arah X

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$As = 0,0013 \times 1500 \text{ mm} \times 606 \text{ mm}$$

$$A_s = 1.181,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ min} = p_{min} \times b \times d$$

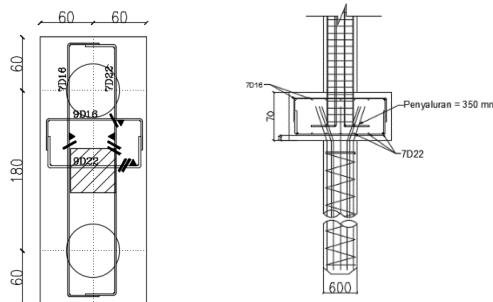
$$A_s = 0,0018 \times 1200 \text{ mm} \times 606 \text{ mm}$$

$$A_s = 1.308,96 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 7 D 22 $A_s = 1984,7 \text{ mm}^2$

Tulangan atas (susut) diambil 20% dari tulangan tersebut dan didapatkan : A_s susut $= 0,3 \times 1.308,96 \text{ mm}^2 = 392,7 \text{ mm}^2$

Dipasang tulangan 7 D 16 $A_s = 1.407,4 \text{ mm}^2$



Gambar 4. 61 Penuangan Pile cap dan Potongan Pile cap 1
Perhitungan Pondasi tipe 2

a. Data perencanaan

Kedalaman	: 18 m
Diameter	: 600 mm
Bj beton	: 2,4 t/m ³
Es	: 200000
Lebar kolom	: 0,5 m
Tinggi kolom	: 0,5 m
Tulangan utama	: 12 m
Tulangan sengkang	: 12 mm
Mutu beton(fc)	: 30 Mpa
Mutu baja(fy)	: 400 Mpa
Tebal selimut	: 50
Faktor reduksi geser	: 0,75
Faktor reduksi beban aksial	: 0,65
Faktor reduksi lentur	: 0,9

b. Perencanaan dimensi Pile Cap

Perhitungan jarak antar tiang pancang (s)

$$2D \geq s$$

$$2 \times 60 \text{ cm} \geq s$$

$$120 \geq s$$

Digunakan S pakai 180 cm

Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap

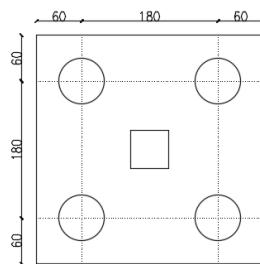
$$0,5D \geq s$$

$$0,5 \times 60 \text{ cm} \geq s$$

$$30 \text{ cm} \geq$$

Dipakai jarak 60 cm

Jadi dimensi pile cap pondasi tipe 1



Gambar 4. 62 Dimensi Pile cap

c. Pengecekan ulang kebutuhan pile cap

Asumsi tebal pile cap = 0,7 m

$$\begin{aligned} \text{Berat pile cap} &= 3\text{m} \times 3\text{m} \times 0,7 \text{ m} \times 2,4 \text{ t/m}^3 \\ &= 15,12 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah} &= \text{dimenensi pile cap} \times \text{timbunan} \times \text{Bj tanah} \\ &= 3\text{m} \times 3\text{m} \times 0,65\text{m} \times 2 \text{ t/m}^3 \\ &= 11,7 \end{aligned}$$

$$\text{P maks} = 248,29 \text{ ton}$$

$$\text{Berat pc} = 15,12 \text{ ton}$$

$$\text{Berat tanah} = 11,7 \text{ ton} +$$

$$\overline{\text{P total}} = 275,11 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{P_{total}}{P_{tiang}} = \frac{275,11}{76,487} = 3,59$$

Setelah ditambahkan berat sendiri pile cap dan tanah dengan dimensi tersebut tetap dibutuhkan 4 buah tiang borpile.

d. Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan efisiensi

$$Efisiensi (\eta) = 1 - Artag \frac{D}{s} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \right]$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam satu kolom

n = banyaknya tiang dalam baris

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang pancang

Sehingga:

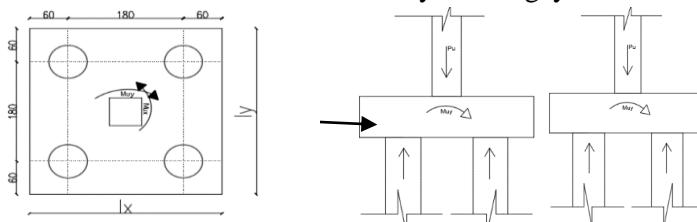
$$Efisiensi (\eta) = 1 - Artag \frac{0,6}{1,5} \left[\frac{(2-1)m + (4-1)n}{90 \times 4 \times 2} \right] \\ = 0,87$$

$$P_{ijin\ borpile} = 0,87 \times 76,487$$

$$= 66,54$$

e. Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok

Beban aksial dan momen yang bekerja akan di distribusikan ke pile cap dan kelompok ting pancang. Oleh karena itu tiang harus dikontrol untuk memastikan bahwa tiang masih dapat menahan struktur beban sesuai daya dukungnya.



Gambar 4. 63 Pengaruh Beban Aksial dan Momen

Pengaruh jarak X dan Y

X = jarak horizontal dari as tiang ke as kolom

Y = jarak vertikal dari as tiang ke as kolom

	X(m)	X ²
X ₁	0,9	0,81
X ₂	0,9	0,81
X ₃	0,9	0,81
X ₄	0,9	0,81
	ΣX^2	3,24

	Y(m)	Y ²
Y ₁	0,81	0,81
Y ₂	0,81	0,81
Y ₃	0,81	0,81
Y ₄	0,81	0,81
	ΣY^2	3,24

P akibat beban tetap 1,2 D + 1,6L

$$P = 247,86 \text{ ton}$$

$$M_x = 0,85 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 2,24 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\sum P &= P + \text{bs pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 247,86 \text{ ton} + 15,12 \text{ ton} + 11,7 \text{ ton} \\ &= 274,68 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang

$$\begin{aligned}P_{maks} &= \frac{\sum P}{n} + \frac{\sum M_x Y_1}{\sum Y^2} + \frac{\sum M_y X_1}{\sum X^2} \\ &= \frac{274,68}{4} + \frac{0,85 \times 0,81}{3,24} + \frac{2,24 \times 0,81}{3,24} \\ &= 69,4 \text{ m.ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 69,4 ton.

Syarat :

$$P_{max} (1 \text{ tiang}) < P_{ijin \tanah} \times \eta \times 1,5$$

$$69,4 \text{ ton} < 66,54 \times 1,5$$

$$69,4 \text{ ton} < 99,81$$

P akibat beban Sementara 1,2D + 1,6L+0,5R

$$P = 248,29 \text{ ton}$$

$$M_x = 0,85 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 2,23 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\sum P &= P + \text{bs pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 248,29 \text{ ton} + 15,12 \text{ ton} + 11,7 \text{ ton} \\ &= 274,68 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang:

$$\begin{aligned}P_{maks} &= \frac{\sum P}{n} + \frac{\sum M_x Y_1}{\sum Y^2} + \frac{\sum M_y X_1}{\sum X^2} \\ &= \frac{274,68}{4} + \frac{0,85 \times 0,75}{2,24} + \frac{2,23 \times 0,75}{2,24} \\ &= 69,7 \text{ m.ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 69,7 ton

Syarat :

$$P_{max} (1 \text{ tiang}) < P_{ijin \tanah} \times \eta \times 1,5$$

$$69,7 \text{ ton} < 66,54 \times 1,5$$

$$69,7 \text{ ton} < 99,81 \text{ (Memenuhi)}$$

P akibat beban Sementara 1,2D + 1,0L + 1Ex + 0,3 Ey

$$P = 236 \text{ ton}$$

$$M_x = 4,34 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 18,46 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P &= P + \text{bs pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 236 \text{ ton} + 15,12 \text{ ton} + 11,7 \text{ ton} \\ &= 262,82 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang

$$\begin{aligned}P_{\max} &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{\Sigma M_x Y_1}{\Sigma Y^2} \pm \frac{\Sigma M_y X_1}{\Sigma X^2} \\ &= \frac{262,82}{4} + \frac{4,34 \times 0,81}{3,24} + \frac{18,46 \times 0,81}{3,24} \\ &= 71,41 \text{ m.ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 71,41 ton

Syarat :

$$\begin{aligned}P_{\max} (\text{1 tiang}) &< P_{ijin} \text{ tanah} \times \eta \times 1,5 \\ 71,41 \text{ ton} &< 66,54 \times 1,5 \\ 71,41 \text{ ton} &< 99,81 \text{ (Memenuhi)}\end{aligned}$$

P akibat beban Sementara 1,2D + 1,0L + 0,3Ex + 1Ey

$$P = 222,42 \text{ ton}$$

$$M_x = 17,22 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 4,33 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P &= P + \text{bs pile cap} + \text{berat tanah} \\ &= 222,42 \text{ ton} + 15,12 \text{ ton} + 11,7 \text{ ton} \\ &= 249,24 \text{ ton.m}\end{aligned}$$

Gaya pada tiang:

$$\begin{aligned}P_{\max} &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{\Sigma M_x Y_1}{\Sigma Y^2} \pm \frac{\Sigma M_y X_1}{\Sigma X^2} \\ &= \frac{249,24}{4} + \frac{17,22 \times 0,81}{3,24} + \frac{4,33 \times 0,81}{3,24} \\ &= 67,69 \text{ m.ton}\end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah 67,69 ton

Syarat :

$$\begin{aligned} P_{\max} (\text{1 tiang}) &< P_{ijin \ tanah} \times \eta \times 1,5 \\ 67,69 \text{ ton} &< 66,54 \times 1,5 \\ 67,69 \text{ ton} &< 99,81 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

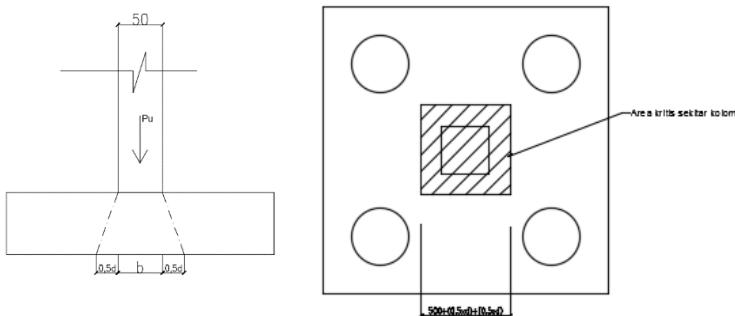
Penulangan Pile cap type 1

Tebal pilecap (h) = 0,7 m = 700m

$$d = h - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan}$$

$$d = 700 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 19 \text{ mm}$$

$$d = 606 \text{ mm}$$



Gambar 4. 64 Area Kritis di sekitar Kolom

Geser dua arah sekitar kolom

$$\begin{aligned} V_{u1} &= P_{ult \ pile \ cap} \\ &= 60,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_o &= 4 \times (b_{kolom} + d) \\ &= 4 \times (500\text{mm} + 606\text{mm}) \\ &= 4.424 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{b_{kolom}}{h_{kolom}} = \frac{500 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 1$$

$$\alpha_s = 30$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1 Nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai yang terkecil antara:

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \sqrt{f_{c'}} b_0 d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) 1 \sqrt{30} 4424 \times 606 \\ &= 7.488.908,871 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,083 \left(2 + \frac{30 \times 606}{4424} \right) 1 \sqrt{30} 4424 \times 606 \\
 &= 7.446.038,1 \\
 V_{c3} &= 0,33 \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 4424 \times 606 = 4.845.764,56 \text{ N} \\
 V_n &= V_{c3} \\
 \emptyset V_n &= 0,75 \times 4.845.764,56 \text{ N} \\
 &= 3.634.323.423 \text{ N} = 363,43 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan : $\emptyset V_n > V_{u1}$
 $363,43 \text{ ton} > 60,8 \text{ ton}$

Geser dua arah disekitar tiang pancang

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 2 \left(S \text{ tepi} + \frac{d \text{ tiang}}{2} + \frac{d}{2} \right) \\
 &= 2 \left(0,4 \times 1000 \text{ mm} + \frac{0,6 \times 1000 \text{ mm}}{2} + \frac{606 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 2.006 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1 Nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai yang terkecil antara:

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \sqrt{30} 2.006 \times 606 \\
 &= 3.395.739,42 \text{ N} \\
 V_{c2} &= 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,083 \left(2 + \frac{30 \times 606}{2.006} \right) 1 \sqrt{30} \times 2.006 \times 606 \\
 &= 6.113.751,57 \\
 V_{c3} &= 0,33 \lambda \sqrt{f c'} b_0 d \\
 &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 2.006 \times 606 = 2.197.243,15 \text{ N} \\
 V_n &= V_{c3} \\
 \emptyset V_n &= 0,75 \times 2.197.243,15 \text{ N} \\
 &= 1.647.932,36 \text{ N} = 363,43 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Transfer beban kolom ke pondasi

Kuat tekan rencana berdasarkan tegangan ultimate beton sebesar 0,85 f_c' adalah :

$$\begin{aligned}\emptyset V_n &= \emptyset(0,85f_c')A_g \\ &= 0,65 (0,85 \times 30) 500 \times 500 \\ &= 4.143,75 \text{ ton}\end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned}\emptyset V_n &> P_u \\ 4.143,75 \text{ ton} &> 94,51 \text{ ton}\end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Pondasi

$$M_u = P_{\text{tiang}} \times \text{jarak tepi kolom ke as tiang}$$

$$M_u = 2 \times 76,487 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m}$$

$$= 114,7 \text{ ton.m}$$

$$= 1.147.305.000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{1.147.305.000}{3000 \times 606^2} = 1,04 \text{ N/mm}^2 \\ \rho &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85f_c'}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,04}{0,85 \times 30}} \right] \\ &= 0,0023\end{aligned}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As} = 0,0023 \times 3000 \text{ mm} \times 606 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 4.827,33 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \rho_{\text{min}} \times b \times d$$

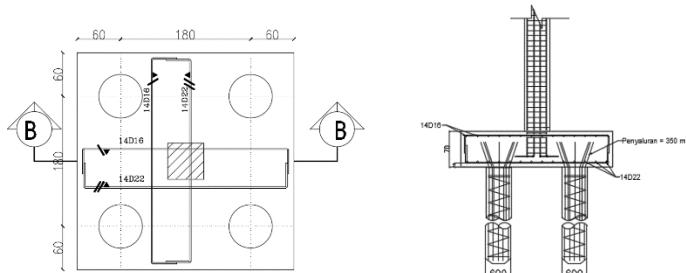
$$\text{As} = 0,0018 \times 3000 \text{ mm} \times 606 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 3.272,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan 14 D 22 As} = 5.321,85 \text{ mm}^2$$

Tulangan atas (susut) diambil 30% dari tulangan tersebut dan didapatkan : As susut = $0,3 \times 4.827,33 \text{ mm}^2 = 1.448,2 \text{ mm}^2$

Dipasang tulangan 9 D 16 As = 1.808,64 mm²



Gambar 4. 65 Penulangan Pile cap 2 dan Potongan Pile cap 2

4.5.7 Penulangan Tiang Bor

Penulangan pada tiang bor (*borepile*) pada dasarnya sama dengan perhitungan struktur kolom yakni dipengaruhi oleh gaya aksial dan momen lentur. Adapun perhitungan tiang bor adalah sebagai berikut:

4.5.7.1 Data Perencanaan

Diameter tiang	: 600 mm
Panjang tiang	: 18000 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (Ø geser)	: 13 mm
Modulus elastisitas baja (Es)	: 200000 MPa
Modulus elastisitas beton (Ec)	: 25742,96 MPa

4.5.7.2 Perhitungan Penulangan Lentur Tiang Bor

Direncanakan tulangan lentur pasang 14 D 16

Luasan tulangan lentur pasang

Aspasang= n x luas tulangan lentur

$$= 8 \times 283,5 \text{ mm}^2$$

$$= 2814,86 \text{ mm}^2$$

Lebar efektif tiang bor

d = diametertiang – decking – D sengkang – $\frac{1}{2}$ D tul. lentur

$$d = 600 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}) d = 529 \text{ mm}$$

$$d' = \text{diametertiang} - d \quad d'=600 \text{ mm} - 529 \text{ mm} \quad d'= 71 \text{ mm}$$

$$d'' = d - \frac{1}{2} \text{ diametertiang}$$

$$d'' = 529 \text{ mm} - 12 \times 300 \text{ mm} \quad d''= 232 \text{ mm}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = M_{\text{tiang}}$$

$$\phi M_n = \frac{106606324 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$M_n = 164.009.729 \text{ Nmm}$$

$$P_n = P_u / \phi$$

$$= 746.238,15 / 0,65$$

$$= 1.148.058,69 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$= 164.009.729 \text{ Nmm} / 1.148.058,69 \text{ N}$$

$$= 142,85 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (15,24 + 0,03d)$$

$$= (15,24 + 0,03 \times 300 \text{ mm})$$

$$= 33,24 \text{ mm}$$

Periksa kondisi balance :

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y$ ($f_s = f_y$)

$$X_b = \frac{600}{600+f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600+400 \text{ Mpa}} \times 532 = 319,2 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \times b$$

$$= 0,85 \times 319,2 \text{ mm}$$

$$= 271,2 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \longrightarrow (f_s = f_y)$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 2814,86 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 30 \text{ Mpa})$$

$$= 81.054.165,07 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 2814,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}$$

$$= 1.125.944 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot d \cdot b$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 532 \text{ mm} \times 271,2 \text{ mm}$$

$$= 3.137.234 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma V = 0 & \longrightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\
 & = 3.137.234 \text{ N} + 81.054.165,07 \text{ N} - 1.125.944 \text{ N} \\
 & = 83.065.455,07 \text{ N} \\
 M_b & = C_c' (d - d'' - \frac{ab}{2}) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d'' \\
 & = 3.137.234 \text{ N} (532 \text{ mm} - 232 \text{ mm} - 271,2 / \text{mm}^2) + \\
 & 81.054.165,07 \text{ N} (532 \text{ mm} - 232 \text{ mm} - 68 \text{ mm}) + 1.125.944 \\
 & \text{N} \times 232 \text{ mm} \\
 & = 19.3386.997.800 \text{ Nmm} \\
 E_b & = \frac{M_b}{P_b} \\
 & = \frac{19.3386.997.800 \text{ Nmm}}{829751 \text{ N}} \\
 & = 232,81 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$

33,24 mm < 142,85 mm < 232,81 mm . Maka tiang bor termasuk dalam kondisi tekan menentukan .

Kontrol kondisi tekan menentukan :

Nilai x:

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 x = 0,54 \times 532 \text{ mm}$$

$$x = 337,97 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \longrightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s & = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 0,003 \\
 & = \left(\frac{532 \text{ mm}}{337,97 \text{ mm}} - 1 \right) 0,003 \\
 & = 0,001722
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s & = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 600 \\
 & = \left(\frac{532 \text{ mm}}{337,97 \text{ mm}} - 1 \right) 600 = 344,46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y & = \frac{f_y}{E_s} \\
 & = \frac{400 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}} = 0,002
 \end{aligned}$$

Periksa : $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

$0,001722 < 0,002$ (memenuhi)

$f_s < f_y$

$344,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$ (memenuhi)

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 2814,86 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 30 \text{ Mpa})$$

$$= 81.054.165,07 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_k \cdot d$$

$$= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 500\text{mm} \times 532\text{mm}$$

$$= 6.783.000 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_s$$

$$= 2814,86 \text{ mm}^2 \times 344,46 \text{ Mpa}$$

$$= 969.606,67 \text{ N}$$

$$\Sigma V=0 \longrightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 6.783.000 \text{ N} + 81.054.165,07 \text{ N} - 969.606,67 \text{ N}$$

$$= 86.867.668,4 \text{ N}$$

Periksa : $P > P_b$

$86.867.668,4 \text{ N} > 83.065.455,07 \text{ N}$ (Memenuhi)

$$M = C_c' (d - d'' - ab/2) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 6.783.000 \text{ N} (227,5 \text{ mm} - 77,5 \text{ mm} - 144,5 \text{ mm}^2) +$$

$$849452 \text{ N} (227,5 \text{ mm} - 72,5 \text{ mm} - 77,5 \text{ mm}) + 781279 \text{ N}$$

$$\times 77,5 \text{ mm}$$

$$= 286474419 \text{ Nmm}$$

Periksa : $M > M_n$

$286474419 \text{ Nmm} > 175923076 \text{ Nmm}$ (memenuhi)

Sehingga dapat disimpulkan penulangan tiang bor 14D16 telah memenuhi persyaratan. Selanjutnya penulangan geser spiral pada tiang bor.

4.5.7.3 Perhitungan Penulangan Sengkang Spiral Tiang Bor

Dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.9.3 rasio tulangan spiral disyaratkan sebagai berikut:

$$P_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c}{f_{yv}}$$

Dengan nilai A_g dan A_{ch} sebagai berikut:

$$A_g = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4}\pi(600)^2 = 282.743,34 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ach} &= \frac{1}{4}\pi(d-\text{deck} \times 2)^2 \\
 &= \frac{1}{4}\pi(600 - 50 \times 2)^2 \\
 &= 196.349,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, didapatkan: $\rho_s = 0,45 \left(\frac{Ag}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c}{f_{yv}} = 0,014$

Hubungan ρ_s dengan jarak spiral dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\rho_s = \frac{4a_s(Dc - ds)}{D_c^2 S}$$

dengan: a_s = luas tulangan spiral

D_c = diameter inti beton

D = diameter tiang

D_s = diameter spiral

S = jarak antar tulangan spiral

Rencana tulangan geser D12 maka $a_s = 113,09 \text{ mm}^2$

$D_c = 600 - 2 \times 50 = 500 \text{ mm}$

Maka :

$$0,014 = \frac{4 \times 113,09 (500 - 12)}{500^2 S}$$

Didapatkan jarak spiral $S = 63,07 \text{ mm} \sim$ direncanakan 50 mm.

Sehingga tulangan geser direncanakan D12-50.

4.5.7.4 Panjang Penyaluran Tiang

Panjang penyaluran diambil dari nilai terbesar antara:

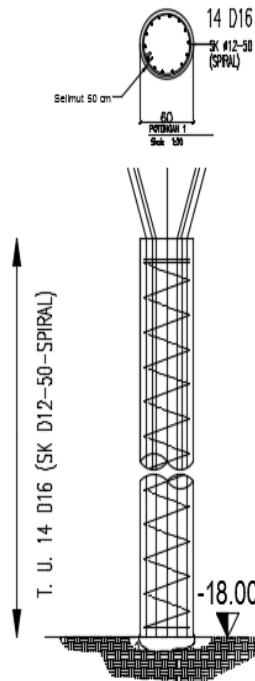
$$l_{dc} = \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_{c'}}} db \quad l_{dc} = (0,043 f_y) db$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \times 16 \quad l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 16$$

$$l_{dc} = 280,4 \text{ mm} \quad l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran adalah $l_{dc} = 280,4 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$

$Id_c \approx 300 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$ (Memenuhi)



Gambar 4. 66 Tiang Pancang

4.6 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Pekerjaan struktur atas (*upper structure*) yaitu seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur atas terdiri dari kolom, pelat, dan balok, yang masing – masing mempunyai peran yang sangat penting, akan tetapi yang kami ambil Cuma balok dan pelat.

Pekerjaan utama dari struktur atas terdiri dari:

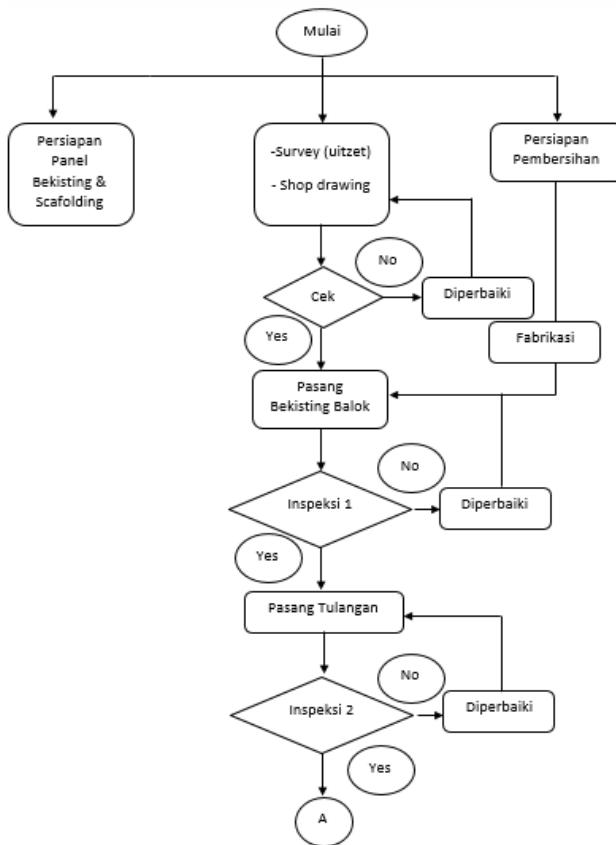
1. Pekerjaan Balok (Bekisting, Pembesian, dan Pengecoran)
2. Pekerjaan Plat (Bekisting, Pembesian, dan Pengecoran)

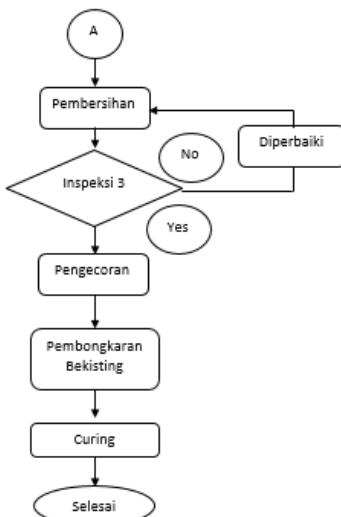
4.6.1 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Balok dan Pelat

Pekerjaan balok dan pelat merupakan satu kesatuan karena pengerjaannya pada bidang Horizontal. Pekerjaan tersebut meliputi bekisting, pembesian, pengukuran, pengecoran, perawatan hingga pembongkaran bekisting.

Balok merupakan komponen struktur pada bangunan gedung yang berfungsi sebagai penyangga lantai dan dinding yang ada diatasnya dan juga penyalur momen menuju kolom bangunan. Sedangkan pelat elemen horizontal struktur yang memikul beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke balok maupun kolom. Balok dan pelat kedua merupakan elemen horizontal struktur bangunan. Adapun cara pengerjaannya meliputi:

Dibawah ini adalah bagan alir proses pekerjaan balok dan pelat dari awal hingga akhir disertai dengan pengontrolan terhadap mutu pekerjaan.





Gambar 4. 67 Bagan Alir Prosedur Pekerjaan Balok dan Pelat Struktur

Pekerjaan balok dilaksanakan setelah pekerjaan kolom telah selesai dikerjakan. Pada tugas akhir terapan ini sistem balok yang dipakai adalah konvensional. Balok yang digunakan memiliki tipe yang berbeda-beda. Balok terdiri dari 2 macam, yaitu balok utama (balok induk) dan balok anak. Semua perkerjaan balok dan pelat dilakukan langsung di lokasi yang direncanakan, mulai dari pembersian, pemasangan bekisting, pengecoran sampai perawatan.

4.6.1.1 Pemasangan Scafolding

Pemasangan Scafolding/perancah merupakan konstruksi struktur sementara yang digunakan untuk menopang manusia dan material bahan bangunan dalam proses pembuatan struktur bangunan (balok dan pelat). Pada pembangunan proyek Graha STC menggunakan perancah dari pipa besi karena pada pemasangan perancah ini lebih cepat dan praktis dari pada perancah kayu serta mampu menahan beban yang cukup tinggi.

Pemasangan Scafolding terdiri dari beberapa tahap antara lain:

No	Tahapan	Gambar
1	Mendirikan scaffolding. Perakitan scaffolding diawali dengan pemasangan <i>jack base</i> , lalu <i>main frame</i> disusun memanjang balok dengan jarak 1 m dengan tinggi <i>main frame</i> 2 m	 <p>Gambar 4. 68 Mendirikan Scafolding</p>
2	Mengatur ketinggian U- Head agar balok dan pelat sesuai dengan elevasi yang diinginkan. <i>U head</i> merupakan alat yang dipasang pada bagian atas dari scaffolding yang berfungsi untuk mengapit konstruksi diatasnya	 <p>Gambar 4. 69 Penyetelan U - Head</p>

3	<p>Setelah dilakukan pengaturan ketinggian U head kemudian dilakukan pemasangan gelagar diatas U head tadi.</p>	 <p>Gambar 4. 70 Mendirikan Scafolding</p>
4	<p>Memasang suri-suri pada bagian balok serta pemasangan gelagar untuk menopang bekisting balok. Suri-suri merupakan penumpu gelar pada balok.</p>	 <div data-bbox="668 938 820 997" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Suri-suri</p> </div> <p>Gambar 4. 71 Mendirikan Scafolding</p>

5	Untuk pelat setelah pemasangan gelagar kemudian dilakukan pemasangan Horrie Beam (baja profil CNP)	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Horrie Beam </div> <p>Gambar 4. 72 pemasangan Horrie beam</p>
---	--	---

4.6.1.2 Fabrikasi Bekisting

Fabrikasi bekisting dilakukan agar mempermudah pelaksanaan dilapangan. Bekisting pada proyek Graga STC menggunakan multipleks ukuran 1,22 m X 2,44 m dengan tebal 1 cm. Multipleks dipotong sesuai dengan kebutuhan, pemotongan multipleks menggunakan tenaga manusia dengan menggunakan gergaji.

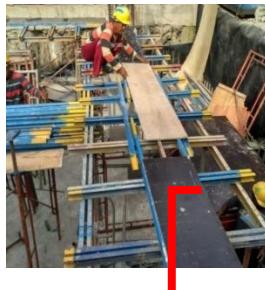


Gambar 4. 73 Fabrikasi Bekisting

4.6.1.3 Instalasi Bekisting

Setelah dilakukan fabrikasi maka pemasangan bekisting dapat dilakukan. pada proses pemasangan bekisting harus saling menyatu antara satu dengan lainnya misal (bodeman dengan tembereng) dikarenakan pada saat pengecoran air semen tidak keluar sehingga dapat menyebabkan beton kehilangan volume air.

Adapun urutan pada instalasi bekisting yaitu:

No	Tahapan	Gambar
1	Pemasangan Bodeman. Bodeman merupakan bagian bekisting balok pada bagian dasar, Ukuran bodeman sesuai dengan ukuran balok pada gambar, pemasangannya dilakukan pertama kali karena bodeman merupakan bagian dasar pada bekisting	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">Bodeman</div> <p>Gambar 4.74 Pemasangan Bodeman</p>

2	<p>Pemasangan tembereng. Tembereng merupakan bagian begisting balok yang berada pada bagian</p>	 <p>Gambar 4. 75 Pemasangan Tembereng</p>
3	<p>Pemasangan gelagar dan penahan yang menempel pada tembereng guna tembereng kuat menahan beban pengcoran serta terdapat wingnut dan skur guna mengatur sudut balok agar tegak lurus dengan bodeman dan juga sebagai pengikat gelagar yang menempel pada sisi tembereng.</p>	 <p>Gambar 4. 76 Pemasangan Gelagar</p>

4	Setelah pemasangan tembereng dilakukan pemasang bekisting untuk pelat.	 Gambar 4. 77 Pemasangan Multiplek Pelat
---	--	--

4.6.1.4 Fabrikasi Pembesian

Fabrikasi pembesian dilakukan dilakukan agar mempermudah pelaksanaan dilapangan. Proses fabrikasi tulangan meliputi pemontongan tulangan dan pembengkokan tulangan (penjangkaran) untuk fabrikasi tulangan balok menggunakan mesin yang dilakukan diluar begisting sedangkan untuk fabrikasi tulangan pelat dilakukan dilakukan di atas begisting bersamaan dengan instalasi tulangan pelat dikarenakan ukuran besi yang relatif kecil sehingga proses fabrikasi masih dapat dilakukan oleh tenaga manusia dan juga dapat menghemat waktu.

No	Tahapan	Gambar
1.	Pemotongan besi	 Gambar 4. 78 Pemotongan Besi
2.	Pembengkokan besi	 Gambar 4. 79 Pembengkokan Besi

4.6.1.5 Instalasi Pemberesan

Pemberesan merupakan hal yang tak boleh dilupakan dalam proses pembuatan balok dan pelat. Pada pemberesan untuk pemberesan balok dilakukan terlebih dahulu karena untuk penyambungan tulangan pelat ke balok lebih mudah. Pada pelat tulangan yang dipakai dimensi 10 mm dengan jarak 200 mm sedangkan untuk balok digunakan dengan besi D 19 dengan begel D 10.

- Pemberesan Balok

Adapun langkah-langkah pada pemberesan balok yaitu:

No	Tahapan	Gambar
1.	hal pertama yang dilakukan dalam pemasangan tulangan balok yaitu memasang tulangan tekan dan tulangan tarik menjadi satu dengan tujuan memudahkannya melakukan pemasangan begel	 <p>Gambar 4. 80 Pemasangan Tulangan</p>
2.	setelah selesai dilakukan pengukuran jarak begel sesuai dengan gambar. Pengukuran dilakukan dengan alat ukur meteran yang penandaannya dimulai dari ujung balok.	 <p>Gambar 4. 81 Pengukuran Jarak Begel</p>

3.	Setelah dilakukan pengukuran dilakukan pemasangan begel pada tanda yang telah diukur	 Gambar 4. 82 Pemasangan Begel
4.	langkah selanjutnya dilakukan pemasang beton decking dan juga pengikatan bendrat pada begel	 Gambar 4. 83 Pemasangan Bendrat

- **Pembesian Pelat**

Pada proyek Graha STC pembesian pelat dilakukan dengan cara penulangan rangkap yaitu jumlah tulangan utama dan tulangan pembagi sama.

Adapun cara pemasangan tulangan pelat pada proyek graha stc sebagai berikut:

No	Tahapan	Gambar
1.	Melakukan pemasangan tulangan pada salah satu sisi pada lapisan bawah	 <p>Gambar 4. 84 Pemasangan Tulangan Pelat Lapis Bawah</p>
2.	Melakukan pemasangan decking dan juga pemasangan kawat bendar pada tulangan bagian bawah.	 <p>Gambar 4. 85 Pemasangan Decking dan Kawat Bendrat</p>

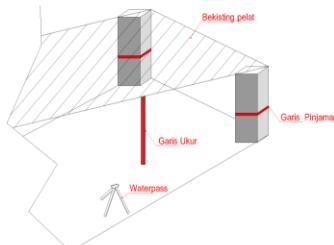
3.	<p>Setelah tulangan pada lapisan bawah selesai dilakukan pemasangan tulangan pada lapisan atas</p>	 <p>Gambar 4. 86 Pemasangan Tulangan Pelat Lapis Atas</p>
----	--	--

4.6.1.6 Pengukuran elevasi tinggi balok dan pelat

Setelah pembesian selesai dilakukan, maka dilakukan pengukuran elevasi oleh surveyor. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan waterpass agar ketelitiannya terukur. Pengukuran dilakukan dibawah pelat tepatnya pada scaffolding yang menopang pelat tersebut.



Gambar 4. 87 Pengukuran Elevasi



Gambar 4. 88 Sketsa Pengukuran Elevasi

Adapun sketsa pengukuran tersebut yaitu ;

Keterangan:

1. Melakukan pengukuran garis pinjaman pada kolom setinggi 1m
2. Mendirikan alat waterpass dengan garis pinjaman sebagai leveling
3. Pengukuran elevasi pelat dan balok dapat dilakukan dengan pembacaan bak ukur posisi terbalik agar lebih mudah dalam pembacaan.
4. Untuk penempatan teodholit dilakukan minimal 4 titik

4.6.1.7 Pengecoran

Setelah tahap pemasangan bekisting dan pemberian ssalah satu pengamatan yang dilakukan saat kerja praktik. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui pekerjaan beton yang dilaksanakan di lapangan. Pengamatan pada pekerjaan beton meliputi, pekerjaan pra pengecoran pada balok dan pelat dan pengecoran pada bagian balok dan pelat dan proses pengujian benda uji.

a. Kegiatan Pra Pengecoran (sebelum mengecor)

Sebelum pengecoran terdapat pekerjaan. Antara lain pemasangan stop cor, pemberian lem cor dan pembersihan area cor. Pekerjaan ini bertujuan agar memperoleh hasil pengecoran yang maksimal sesuai dengan mutu yang ditargetkan.

No	Tahapan	gambar
1.	Pemasangan stop cor. Pekerjaan ini dilakukan dengan tujuan untuk batas pengecoran karena pada proyek Graha STC pada satu zona tidak dilakukan pengecoran sekaligus melainkan bertahap. Stop cor dilakukan dengan menggunakan kawat yang berupa jaring.	 <p style="text-align: center;">Stop Cor</p> <p>Gambar 4. 89 Pemasangan Stop Cor</p>

2.	<p>Pembersihan area sambungan dan pemberian lem cor pada sambungan balok dan pelat. pada proyek ini pengecoran dan pelat dilakukan dua tahap. Sehingga terjadinya sambungan pada pelat, agar sambungan kuat maka dilakukan pengeleman sebelum di cor. Sebelum melakukan pemberian lem dilakukan pembersihan atau perataan terlebih dahulu pada pelat tersebut.</p>	 
----	--	--

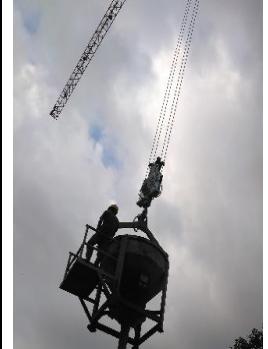
Gambar 4. 90 Pembersihan Area dan Pemberian Lem Perekat

<p>3. Pembersihan area dengan pompa angin. Pada pekerjaan ini berguna untuk menghilangkan kotoran pada pelat dan balok yang dapat mengganggu campuran aggregat pada beton karena jika terdapat aggregat yang mengganggu maka akan terjadi penurunan mutu pada beton tersebut.</p>	 <p>Gambar 4. 91 Pembersihan dengan Pompa</p>
---	--

b. Kegiatan Pengecoran

Setelah melakukan slump test dan pengambilan benda uji maka beton siap di cor dilapangan. Pada proyek Solo Bhakti proses pengecoran dilakukan dengan cara pengangkutan melalui Tower Crane yang diangkut dengan bucket. Adapun tahapan pengecoran dilapangan yaitu:

No	Tahapan	Gambar
1.	Mengisi bucket dengan beton yang telah di uji slump.	 <p>Gambar 4. 92 Pengisian Beton pada Bucket</p>

2.	Pengangkatan bucket dengan tower crane	 Gambar 4. 93 Pengangkatan Bucket
3.	Penuangan beton ke area yang akan di cor	 Gambar 4. 94 Penuangan Beton

4.	Penggunaan vibrator guna untuk memadatkan juga menghilangkan udar pada beton	
5.	Meratakan hasil cor	

Gambar 4. 95 Penggunaan Vibrator

Gambar 4. 96 Perataan Hasil Cor setelah Vibrator

4.6.1.8 Perawatan Beton

Setelah beton dicor di lapangan dilakukan prosing curing. Adapun guna curing antara lain :

1. Mempertahankan jumlah air dalam beton selama proses pengerasan
2. Mengurangi hilangnya air pada permukaan beton
3. Mempercepat perkembangan kuat tekan serta penambahan kelembapan.

Untuk Curing pada balok dan pelat menjadi satu kesatuan. Untuk langkah curing sebagai berikut:

1. Setelah beton berusia 24 jam proses curing dapat dilakukan
2. Meletakkan karung goni pada pelat yang telah di cor
3. Menyirami karung goni tersebut dan juga pelat yang telah dicor



Gambar 4. 97 Curing Pelat

4.6.1.9 Pembongkaran Bekisting Pelat dan Balok

Adapun langkah-langkah pada pembongkaran bekisting pelat adalah:

1. usia cor sudah mencapai minimal 7 hari untuk melakukan pembongkaran bekisting
2. lakukan pelepasan wing nut dan skur terlebih dahulu dilanjutkan dengan suri - suri dan gelagar
3. melakukan pembongkaran scaffolding
4. melakukan pelepasan multipleks



Gambar 4. 98 Pembongkaran Bekisting

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan suatu struktur gedung beton bertulang didaerah zona II dapat dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan nilai $R = 5$.
2. Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan Gedung Perkantoran STC Sumenep dengan metode SRPMM.

Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

- Komponen Pelat

pada pelat lantai menggunakan beton sebagai berikut:

Pelat Lantai

Tumpuan	Arah X	D 10-200 mm
	Arah Y	D 10-200 mm
Lapangan	Arah X	D 10-200 mm
	Arah Y	D 10-200 mm

Pelat Atap

Tumpuan	Arah X	D 10-200 mm
	Arah Y	D 10-200 mm
Lapangan	Arah X	D 10-200 mm
	Arah Y	D 10-200 mm

- Komponen Tangga

Pelat Tangga	Arah X	D 13 – 100 mm
	Arah Y	D 13 – 100 mm
	Susut	D 10 – 200 mm
Pelat Bordes	Arah X	D 16 – 100 mm
	Arah Y	D 16 – 100 mm

Type	Tanjakan (cm)	Injakan (cm)	Tebal Pelat (cm)	Tebal Pelat (cm)	Arah Penulangan	Tulangan Tangga	Tulangan Bordes
1	15	30	22 (Tangga)	15 (Bordes)	X	D13 – 100	D 16 – 100
					Y	D 13 – 100	D 16 – 100

■ Komponen Balok

Tipe Balok	Bentang Balok cm	Dimensi cm	Tulangan Torsi	Tulangan Lentur				Tumpuan Geser	
				Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
Memanjang Induk	810	40/60	2 D 16	8 D 19	3 D 19	5 D 19	2 D 19	2 Ø12 – 100	2 Ø12 – 150
Melintang Induk	750	35/50	-	10 D 19	4 D 19	4 D 19	2 D 19	2 Ø12 – 100	2 Ø12 – 150
Bordes	320	30/40	-	3 D 16	2 D 16	3 D 16	2 D 16	2 Ø10 – 75	2 Ø10 – 150
Memanjang Anak	810	30/40	-	5 D 16	5 D 16	2 D 16	2 D 16	2 Ø10 – 80	2 Ø10 – 150
Melintang Anak	750	25/35	-	4 D 16	2 D 16	3 D 16	2 D 16	2 Ø10 – 70	2 Ø10 – 125
Sloof	810	40/60	-	3 D 19	2 D 19	3 D 19	2 D 19	2 Ø10 – 100	2 Ø12 – 150

■ Komponen Kolom

Tipe kolom	Penulangan	
Kolom Lantai 1 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø12 – 100
Kolom Lantai 2 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø12 – 100
Kolom Lantai 3 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø12 – 100
Kolom Lantai 4 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø12 – 100
Kolom Lantai 5 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø12 – 100

Bentuk = Bujur Sangkar

Sengkang = Non – Spiral

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dalam pengumpulan data perencanaan diusahakan didapatkan dengan lengkap mulai gambar arsitek dan struktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.
2. Untuk proses perhitungan perencanaan menggunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang diperlajari dari semester 1 sampai 6.
3. Proses penentuan preliminary desain struktur primer harus mempertimbangkan efisiensi dari ukuran yang digunakan seperti mempertimbangan kemudahan dalam pelaksanaan, kemampuan penampang.
4. Pertahankan apa yang telah dikerjakan, selama perencanaan maupun perhitungan yang dilakukan tidak keluar dari koridor peraturan
5. Jangan takut untuk mempelajari hal-hal baru, sekalipun hal tersebut belum pernah disampaikan di dalam kurikulum perkuliahan
6. Tetap terus mencoba dan pantang putus asa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional.2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta.
2. Badan Standarisasi Nasional.2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2013)*. Jakarta.
3. Badan Standarisasi Nasional.2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726- 2012)*. Jakarta.
4. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.2013. *Peraturan Beton Bertulang 1971*. Bandung.
5. Kementerian Pekerjaan Umum.2013. *PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur*. Jakarta.
6. Wang. Chu-Kia dan Charles G. Salmon. *Desain Beton Bertulang Jilid 1 Dan 2 Edisi Keempat*. Jakarta:Erlangga.
7. Hendika. Debby dan Dzulfiqar Rizwanda. Muhammad. 2017. *Perencanaan Struktur Gedung Apartemen “B” Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)*.Surabaya.
8. Tiara Wibowo. Dea Adlina dan Rizky Darmawan. Ilham. 2017. *Perencanaan Ulang Struktur Gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Metode Pelaksanaan Elemen Kolom*.Surabaya.
9. Husin, Nur Ahmad. 2015. *Struktur Beton*. Surabaya: Zifatama Publisher
10. Pamungkas, Anugrah dan Harianti, Erny.2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: Cv Andi Offset

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

- **Lampiran 1 Data Perhitungan Gempa**

Data perhitungan pembebanan gempa.

- Menghitung pusat kekakuan

- Berat Struktur

BERAT STRUKTUR BANGUNAN							
	BL	BERAT	DIMENSI	Panjang	Tinggi	JUMLAH	TOTAL
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m	m ²	m	m	kg
Lantai Tangga 1							
Plat Bordes	2400			3,2	1,6	0,22	2703,36
Keramik (19mm) + spesi (20mm) bordes		57		3,2	1,6		291,84
Berat plat tangga naik	2400			1,4	3,76	0,22	2778,648
Berat plat tangga turun	2400			1,4	3,76	0,22	2778,648
Keramik (19mm) + spesi (20mm) tangga		97,5		1,4	3,76		513,102
Berat pegangan		10		1,4	3,76		52,62388
Beban hidup tangga	=	0,3	x	479	x	15.325	= 9118,218
Lantai Tangga 2							
Plat Bordes	2400			3,2	1	0,22	1689,6
Keramik (19mm) + spesi (20mm) bordes		57		3,2	1		182,4
Berat plat tangga naik	2400			1,4	4,30	0,22	3175,12
Berat plat tangga turun	2400			1,4	4,30	0,22	3175,12
Keramik (19mm) + spesi (20mm) tangga		97,5		1,4	4,30		586,3148
Berat pegangan		10		1,4	4,30		60,13489
Beban hidup tangga	=	0,3	x	479	x	16.227	= 8868,69
Lantai Tangga 3 & 4							
Plat Bordes	2400			3,2	1,3	0,22	2196,48
Keramik (19mm) + spesi (20mm) bordes		57		3,2	1,3		237,12
Berat plat tangga naik	2400			1,4	4,02	0,22	2975,223
Berat plat tangga turun	2400			1,4	4,02	0,22	2975,223
Keramik (19mm) + spesi (20mm) tangga		97,5		1,4	4,02		549,4019
Berat pegangan		10		1,4	4,02		56,34891
Beban hidup tangga	=	0,3	x	479	x	15.77	= 8999,798
Lantai 1							
KOLOM	=	2400		0,5	0,5	-	3,6
Sloof 50/70	=	2400		0,5	0,7	105	88200
Sloof 45/65	=	2400		0,45	0,65	50,3	35310,6
Sloof 30/40	=	2400		0,3	0,4	40,5	11664
Sloof 25/35	=	2400		0,25	0,35	40,5	8505
Dinding	=		97,5			128,65	3,6
							45156,15
					Total		223395,8
Beban mati	=	231656,4					
Beban hidup Lt.1	=	0,3 x	0 x	0,35		0 kg	
TOTAL BEBAN LANTAI		234716,2					

Lantai 2									
KOLOM	-	2400		0,5	0,5	-	4,1	16	39360
Balok Induk 40/60	-	2400		0,4	0,6		112,6		64857,6
Balok Induk 35/50	-	2400		0,35	0,5		64,2		26964
Balok Anak 25/35	-	2400		0,3	0,4		43,9		12643,2
Balok 20/30	-	2400		0,2	0,3	32,325			4654,8
Balok 15/45	-	2400		0,15	0,45		84,3		13656,6
Balok Anak 30/40	-	2400		0,3	0,4		52,1		15004,8
	-	2400		8,1	7,5		0,12	5	87480
	-	2400		1,05	3,2		0,12	4	3870,72
Pelat	-	2400		2,6	5,725		0,12	2	8573,76
	-	2400		3,2	3,2		0,12	2	5898,24
	-	2400		1,675	8,1		0,12	5	19537,2
	-	2400		3,2	6,75		0,12	2	12441,6
	-		57	40,5	12,375				28567,69
Keramik (19mm) + spesi (25mm)	-		8,6	40,5	12,375				4310,213
Plafond	-		10	40,5	12,375				5011,875
Penggantung plafond	-		19	40,5	12,375				9522,563
M/E	-		97,5				256		24960
DINDING	-								
Total									387314,9
Beban mati	-	322982,4							
Koridor	-	0,3 x	383 x		48		5513,2		
Beban hidup Lt.2	-	0,3 x	240 x	453,1875	-	32629,5 kg			
TOTAL BEBAN LANTAI 2	-	436660,1							
Lantai 3&4									
KOLOM	-	2400		0,5	0,5	-	3,85	16	36960
Balok Induk 40/60	-	2400		0,4	0,6		112,6		64857,6
Balok Induk 35/50	-	2400		0,35	0,5		64,2		26964
Balok Anak 25/35	-	2400		0,3	0,4		43,9		12643,2
Balok 20/30	-	2400		0,2	0,3	32,325			4654,8
Balok 15/45	-	2400		0,15	0,45		84,3		13656,6
Balok Anak 30/40	-	2400		0,3	0,4		52,1		15004,8
	-	2400		8,1	7,5		0,12	5	87480
	-	2400		1,05	3,2		0,12	4	3870,72
Pelat	-	2400		2,6	5,725		0,12	2	8573,76
	-	2400		3,2	3,2		0,12	2	5898,24
	-	2400		1,675	8,1		0,12	5	19537,2
	-	2400		3,2	6,75		0,12	2	12441,6
	-		57	40,5	12,375				28567,69
Keramik (19mm) + spesi (25mm)	-		8,6	40,5	12,375				4310,213
Plafond	-		10	40,5	12,375				5011,875
Penggantung plafond	-		19	40,5	12,375				9522,563
M/E	-		97,5				256		24960
DINDING	-								
Total									384914,9
Beban mati	-	320582,4							
Koridor	-	0,3	240 x		60		4320		
Beban hidup Lt.3&4	-	0,3 x	240 x	441,1875	-	31765,5 kg			
TOTAL BEBAN LANTAI 3&4	-	432156,3							

a. Lantai 1

- Kolom

- Sloof

No	Type	Dimensi Sloof		panjang	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y		
		Arah	b	h	(m)	(m)	(Kg/m ³)	(Kg)	(N)	(m)	(m)	(Kg.m)
1	S1	X	0,4	0,6	7,5	2400	4320	3,75	0	16200	0	
2	S1		0,4	0,6	7,5	2400	4320	3,75	8,1	16200	34992	
3	S1		0,4	0,6	7,5	2400	4320	3,75	16,2	16200	69984	
4	S1		0,4	0,6	7,5	2400	4320	3,75	24,3	16200	104976	
5	S1		0,4	0,6	7,5	2400	4320	3,75	32,4	16200	139968	
6	S1		0,4	0,6	7,5	2400	4320	3,75	40,5	16200	174960	
7	S1		0,4	0,6	3,2	2400	1843,2	9,1	8,1	16773,12	14929,92	
8	S1		0,4	0,6	3,2	2400	1843,2	9,1	16,2	16773,12	29859,84	
9	S1		0,4	0,6	3,2	2400	1843,2	9,1	24,3	16773,12	44789,76	
10	S1		0,4	0,6	3,2	2400	1843,2	9,1	32,4	16773,12	59719,68	
11	S1	Y	0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	0	4,05	0	18895,68	
12	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	0	12,15	0	56687,04	
13	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	0	20,25	0	94478,4	
14	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	0	28,35	0	132269,76	
15	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	0	36,45	0	170061,12	
16	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	7,5	4,05	34992	18895,68	
17	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	7,5	12,15	34992	56687,04	
18	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	7,5	20,25	34992	94478,4	
19	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	7,5	28,35	34992	132269,76	
20	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	7,5	36,45	34992	170061,12	
21	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	10,7	12,15	49921,92	56687,04	
22	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	10,7	20,25	49921,92	94478,4	
23	S1		0,4	0,6	8,1	2400	4665,6	10,7	28,35	49921,92	132269,76	
							93946			489018,24	1902398,4	
										5,2053342	20,25	
										X _a	Y _a	

- Dinding

No	Arah	Dimensi Dinding		panjang	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		Panjang (m)	Tinggi (m)							
1	X	3,75	3,6		97,5	1316,25	5,625	0	7403,91	0
2		7,5	3,6		97,5	2632,5	3,75	8,1	9871,88	21323,25
3		3,2	3,6		97,5	1123,2	9,1	8,1	10221,1	9097,92
4		3,2	3,6		97,5	1123,2	9,1	16,2	10221,1	18195,84
5		3,2	3,6		97,5	1123,2	9,4	18,7	10558,1	21003,84
6		3,2	3,6		97,5	1123,2	9,4	21,2	10558,1	23811,84
7		6	3,6		97,5	2106	3	21,2	6318	44647,2
8		4	3,6		97,5	1404	4	24,3	5616	34117,2
9		2	3,6		97,5	702	6	26,7	4212	18743,4
10		7,5	3,6		97,5	2632,5	3,5	32,4	9213,75	85293
11		3,2	3,6		97,5	1123,2	9,1	32,4	10221,1	36391,68
12		8,1	3,6		97,5	2843,1	0	4,05	0	11514,56
13		8,1	3,6		97,5	2843,1	7,5	4,05	21323,3	11514,56
14		8,1	3,6		97,5	2843,1	10,7	12,15	30421,2	34543,67
15	Y	6,6	3,6		97,5	2316,6	7	12,9	16216,2	29884,14
16		8,1	3,6		97,5	2843,1	0	12,15	0	34543,67
17		8,1	3,6		97,5	2843,1	10,7	20,2	30421,2	57430,62
18		3	3,6		97,5	1053	0	22,8	0	24008,4
19		3	3,6		97,5	1053	2	22,8	2106	24008,4
20		2	3,6		97,5	702	1,45	23,3	1017,9	16356,6
21		2	3,6		97,5	702	4	23,3	2808	16356,6
22		2	3,6		97,5	702	6	23,3	4212	16356,6
23		8,1	3,6		97,5	2843,1	10,7	28,35	30421,2	80601,89
24		6,6	3,6		97,5	2316,6	7	28,8	16216,2	66718,08
25		8,1	3,6		97,5	2843,1	0	28,35	0	80601,89
Total						45156,2			249578	817064,8
									5,527	18,09421
									Xa	Ya

Kesimpulan :

Lantai 1	BERAT (W)	W.x	W.y
	(kg)	(Kg.m)	(Kgm)
Total	173661,75	928244,3513	3419303,2

Titik Berat

Xa (m)	Ya (m)
5,35	Rp 19,69

b. Lantai 2 s/d 4

- Balok

No	Dimensi Balok			Panjang	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	Wx	Wy
	Arah	lebar	Tinggi							
1		0,15	0,45	3,2	2400	518,4	1,6	1,55	829,44	803,52
2		0,15	0,45	3,2	2400	518,4	4,8	1,55	2488,32	803,52
3		0,15	0,45	3,75	2400	607,5	8,825	0	5361,188	0
4		0,15	0,45	1,675	2400	271,35	11,5375	0	3130,701	0
5		0,3	0,4	3,2	2400	921,6	1,6	2,6	1474,56	2396,16
6		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	2,6	21892,5	8190
7		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	2,6	2782,845	627,12
8		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	6,65	1075,2	4458,8
9		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	6,65	10946,25	10473,75
10		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	6,65	2782,845	1603,98
11		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	9,85	1075,2	6619,2
12		0,25	0,35	3,75	2400	787,5	6,95	9,85	5473,125	7756,875
13		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	10,7	2150,4	14380,8
14		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	10,7	21892,5	33705
15		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	10,7	2782,845	2580,84
16		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	13,9	1075,2	9340,8
17		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	13,9	10946,25	21892,5
18		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	13,9	2782,845	3352,58
19		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	18,8	2150,4	25267,2
20		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	18,8	21892,5	59220
21	X	0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	18,8	2782,845	4534,56
22		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	22,85	10946,25	35988,75
23		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	22,85	2782,845	5511,42
24		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	26,9	2150,4	36153,6
25		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	26,9	21892,5	84735
26		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	26,9	2782,845	6488,28
27		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	30,1	1075,2	20227,2
28		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	30,95	10946,25	48746,25
29		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	30,95	2782,845	7465,14
30		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	35	2150,4	47040
31		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	35	21892,5	110250
32		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	35	2782,845	8442
33		0,25	0,35	6,95	2400	1459,5	3,475	36,35	5071,763	53052,83
34		0,25	0,35	3,5	2400	735	1,6	39,05	1176	28701,75
35		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	39,05	10946,25	61503,75
36		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	39,05	2782,845	9418,85
37		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	43,1	1075,2	28963,2
38		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	43,1	21892,5	135765
39		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	43,1	2782,845	10395,72
40		0,15	0,45	6,4	2400	1036,8	3,2	44,15	3317,76	45774,72
41		0,15	0,45	5,425	2400	878,85	9,6625	45,525	8491,888	40009,65

42		0,15	0,45	1,05	2400	170,1	6,4	2,075	1088,64	352,9575
43		0,15	0,45	5,1	2400	826,2	0	4,1	0	3387,42
44		0,4	0,5	1,05	2400	604,8	2,6	3,125	1572,48	1890
45		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	6,95	1,3	5204,16	973,44
46		0,4	0,5	2,6	2400	1497,6	10,7	1,3	16024,32	1946,88
47		0,15	0,45	2,6	2400	421,2	12,375	1,3	5212,35	547,56
48		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	6,65	14929,92	31026,24
49		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	6,65	16212,96	15513,12
50		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	6,65	49921,92	31026,24
51		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	6,65	16238,48	8726,13
52		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	0	14,75	0	68817,6
53		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	14,75	14929,92	68817,6
54		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	14,75	16212,96	34408,8
55		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	14,75	49921,92	68817,6
56		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	14,75	16238,48	19354,95
57		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	0	22,85	0	106609
58		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	22,85	14929,92	106609
59		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	22,85	16212,96	53304,48
60		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	22,85	49921,92	106609
61		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	22,85	16238,48	29983,77
62		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	0	30,95	0	144400,3
63		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	30,95	14929,92	144400,3
64		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	30,95	16212,96	72200,16
65		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	30,95	49921,92	144400,3
66		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	30,95	16238,48	40612,59
67		0,15	0,45	1,35	2400	218,7	0,5	35,675	109,35	7802,123
68		0,15	0,45	1,35	2400	218,7	0,5	10,125	109,35	2124,338
69		0,15	0,45	7,8	2400	1263,6	0	40,25	0	50859,9
70		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	39,05	14929,92	182191,7
71		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	39,05	16212,96	91095,84
72		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	39,05	49921,92	182191,7
73		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	39,05	16238,48	51241,41
74		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	43,625	14929,92	203536,8
75		0,15	0,45	1,05	2400	170,1	6,4	43,625	1088,64	7420,613
76		0,3	0,4	2,425	2400	698,4	6,95	44,3125	4853,88	30947,85
77		0,4	0,5	2,425	2400	1396,8	10,7	44,3125	14945,76	61895,7
78		0,15	0,45	2,425	2400	392,85	12,375	44,3125	4861519	17408,17
Total						138070			824006,6	3236192
									5,96802	23,43872

- Dinding

No	Type	DINDING									
		Arah	Dimensi Pelat		Tebal	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
			Panjang	Tinggi							
		x	6,4	3,85	97,5	2402,4	3,2	2,6	7687,68	6246,24	
			1	3,85	97,5	375,375	6,9	0	2590,088	0	
			5,5	3,85	97,5	2064,5625	9,15	3,1	18890,75	6400,1438	
			1,2	3,85	97,5	450,45	0,6	3,6	270,27	1621,62	
			1	3,85	97,5	375,375	0,5	5,1	187,6875	1914,4125	
			1,6	3,85	97,5	600,6	2,8	5,1	1681,68	3063,06	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	6	1921,92	7207,2	
			1	3,85	97,5	375,375	0,5	9	187,6875	3378,375	
			1,6	3,85	97,5	600,6	2,8	9	1681,68	5405,4	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	10,7	1921,92	12852,84	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	21,5	1921,92	25825,8	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	23	1921,92	27627,6	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	35	1921,92	42042	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	36	1921,92	43243,2	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	38,6	1921,92	46566,32	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	40,6	1921,92	48768,72	
			6,4	3,85	97,5	2402,4	3,2	44,15	7687,68	106065,96	
			0,8	3,85	97,5	300,3	6,4	4,6	1921,92	1381,38	
			1	3,85	97,5	375,375	6,5	18,5	2439,938	6944,4375	
			1	3,85	97,5	375,375	6,5	23	2439,938	8633,625	
			0,8	3,85	97,5	300,3	6,4	41	1921,92	13212,3	
			1	3,85	97,5	375,375	6,9	43,1	2590,088	16178,663	
			5,5	3,85	97,5	2064,5625	9,15	45,7	18890,75	94350,506	
			1	3,85	97,5	375,375	6,4	5,1	2402,4	1165,6625	
			2,6	3,85	97,5	975,975	6,95	1,3	6783,026	1268,7675	
			2,6	3,85	97,5	975,975	12,375	1,3	12077,69	1268,7675	
			2,6	3,85	97,5	975,975	12,375	1,3	1163,6625		
			1	3,85	97,5	375,375	0	3,1	0	1163,6625	
			7,25	3,85	97,5	2721,4688	0	6,225	0	16941,143	
			5,2	3,85	97,5	1951,95	3,2	6,6	6246,24	12882,87	
			8	3,85	97,5	3003	0	14,75	0	44294,25	
			8	3,85	97,5	3003	3,2	14,75	9609,6	44294,25	
			8	3,85	97,5	3003	0	22,85	0	68618,55	
			3	3,85	97,5	1126,125	1,3	25,3	1463,963	28490,963	
			3	3,85	97,5	1126,125	2,3	25,3	2590,088	28490,963	
			8	3,85	97,5	3003	0	30,95	0	92942,85	
			8	3,85	97,5	3003	3,2	30,95	9609,6	92942,85	
			1	3,85	97,5	375,375	0,85	35,5	319,6988	13325,813	
			7,25	3,85	97,5	2721,4688	0	39,48	0	107429,98	
			7,25	3,85	97,5	2721,4688	3,2	39,48	8708,7	107429,98	
			1	3,85	97,5	375,375	0	43,6	0	16366,35	
			1	3,85	97,5	375,375	6,4	43,6	2402,4	16366,35	
			2,3	3,85	97,5	863,3625	6,4	3,75	5525,52	3237,8094	
			6	3,85	97,5	2177,175	6	7,8	13063,05	16981,965	
			8,1	3,85	97,5	3040,5375	12,375	6,65	37626,65	20219,574	
			8,1	3,85	97,5	3040,5375	6	14,75	18243,23	44847,928	
			8,1	3,85	97,5	3040,5375	12,375	14,75	37626,65	44847,928	
			4,9	3,85	97,5	1839,3375	6,95	21,25	12783,4	39082,922	
			3,2	3,85	97,5	1201,2	6	25,3	7207,2	30390,36	
			8,1	3,85	97,5	3040,5375	0	30,95	0	94104,636	
			8,1	3,85	97,5	3040,5375	12,375	30,95	37626,65	94104,636	
			8,1	3,85	97,5	2177,175	6	37,9	13063,05	82514,933	
			2,3	3,85	97,5	863,3625	6,4	42,4	5525,52	36806,57	
			8,1	3,85	97,5	3040,5375	12,375	39,05	37626,65	118732,99	
			2,6	3,85	97,5	975,975	6,95	44,4	6783,026	43333,29	
			2,6	3,85	97,5	975,975	12,375	44,4	12077,69	43333,29	
		Total				83577,244			393436,2	1935853,5	
									4,707456	23,162447	

- Pelat

No	NO	PELAT									
		Dimensi Pelat		Tebal	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	Wx		
		Type	Fanjang	Lebar	(m)	(Kg/m ³)	(Kg)	(X)	(Y)		
1	1	S1	3,2	1,05	0,12	2400	967,68	1,6	2,075	1548,288	2007,936
2	2	S1	3,2	1,05	0,12	2400	967,68	4,8	2,075	4544,864	2007,936
3	3	S2	3,75	2,6	0,12	2400	2808	8,825	1,3	24780,6	3550,4
4	4	S2	2,6	1,675	0,12	2400	1254,2	11,5375	1,3	14470,794	1630,512
5	5	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,5	1,6	4,625	5971,968	17262,75
6	6	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	4,625	22198,05	20229,75
7	7	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	4,625	38600,55	20229,75
8	8	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	4,625	22541,045	9035,955
9	9	S2	3,2	2,7	0,12	2400	2488,3	1,6	7,925	3981,312	19719,936
10	10	S2	4,05	2,7	0,12	2400	3149,3	5,075	7,925	15982,596	24958,044
11	11	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	8,675	38600,55	37944,45
12	12	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	8,675	22541,045	16948,521
13	13	S1	2,3	1,35	0,12	2400	894,24	2,15	10,025	1922,616	8964,756
14	14	S1	4,05	1,35	0,12	2400	1574,6	5,075	10,025	7991,298	15785,766
15	15	S2	3,2	3,2	0,12	2400	2949,1	1,6	12,3	4718,592	38274,176
16	16	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	12,725	22198,05	55659,15
17	17	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	12,725	38600,55	55659,15
18	18	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	12,725	22541,045	24861,087
19	19	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	16,775	22198,05	73373,85
20	20	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	16,775	38600,55	73373,85
21	21	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	16,775	22541,045	32773,653
22	22	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	20,825	22198,05	91088,55
23	23	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	20,825	38600,55	91088,55
24	24	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	20,825	22541,045	40686,219
25	25	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	24,875	22198,05	108803,25
26	26	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	24,875	38600,55	108803,25
27	27	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	24,875	22541,045	48598,785
28	28	S2	3,2	3,175	0,12	2400	2926,1	1,6	28,4875	4881,728	83356,704
29	29	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	28,925	22198,05	126517,95
30	30	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	28,925	38600,55	126517,95
31	31	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	28,925	22541,045	56511,331
32	32	S1	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	32,975	22198,05	144332,65
33	33	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	32,975	38600,55	144332,65
34	34	S1	4,05	1,675	0,12	2400	1953,7	11,5375	32,975	22541,045	64423,917

- Kesimpulan :

Lantai 1	BERAT (W)	W.x	W.y
	(kg)	(Kg.m)	(Kgm)
Total	426745,8	2608550,321	9831770,9

Titik Berat

Xa (m)	Ya (m)
6,11	Rp 23,04

c. Lantai 5

- Balok

No	Type	Arah	Dimensi Balok		Panjang	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
			lebar (m)	Tinggi (m)							
1	X		0,15	0,45	3,2	2400	518,4	1,6	1,55	829,44	803,52
2			0,15	0,45	3,2	2400	518,4	4,8	1,55	2488,32	803,52
3			0,15	0,45	3,75	2400	607,5	8,825	0	5361,1875	0
4			0,15	0,45	1,675	2400	271,35	11,5375	0	3130,70063	0
5			0,3	0,4	3,2	2400	921,6	1,6	2,6	1474,56	2396,16
6			0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	2,6	21892,5	8190
7			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	2,6	2782,845	627,12
8			0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	6,65	1075,2	4468,8
9			0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	6,65	10946,25	10473,75
10			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	6,65	2782,845	1603,98
11			0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	9,85	1075,2	6619,2
12			0,25	0,35	3,75	2400	787,5	6,95	9,85	5473,125	7756,875
13			0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	10,7	2150,4	14380,8
14			0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	10,7	21892,5	33705
15			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	10,7	2782,845	2580,84
16			0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	13,9	1075,2	9340,8
17			0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	13,9	10946,25	21892,5
18			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	13,9	2782,845	3352,68
19			0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	18,8	2150,4	25267,2
20			0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	18,8	21892,5	59220
21			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	18,8	2782,845	4534,56
22			0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	22,85	10946,25	35988,75
23			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	22,85	2782,845	5511,42
24			0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	26,9	2150,4	36153,6
25			0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	26,9	21892,5	84735
26			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	26,9	2782,845	6488,28
27			0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	30,1	1075,2	20227,2
28			0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	30,95	10946,25	48746,25
29			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	30,95	2782,845	7465,14
30			0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	35	2150,4	47040
31			0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	35	21892,5	110250
32			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	35	2782,845	8442
33			0,25	0,35	6,95	2400	1459,5	3,475	36,35	5071,7625	53052,825
34			0,25	0,35	3,5	2400	735	1,6	39,05	1176	28701,75
35			0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	39,05	10946,25	61503,75
36			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	39,05	2782,845	9418,86
37			0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	43,1	1075,2	28963,2
38			0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	43,1	21892,5	135765
39			0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	43,1	2782,845	10395,72

40		0,15	0,45	6,4	2400	1036,8	3,2	44,15	3317,76	45774,72
41		0,15	0,45	5,425	2400	878,85	9,6625	45,525	8491,8881	40009,645
42		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	37,225	1075,2	25015,2
43		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	37,225	10946,25	58629,375
44		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	37,225	2782,845	8978,67
45		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	4,7	1075,2	3158,4
46		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	4,7	10946,25	7402,5
47		0,2	0,3	1,675	2400	241,2	11,5375	4,7	2782,845	113,64
48		0,15	0,45	1,05	2400	170,1	6,4	2,075	1088,64	352,9575
49		0,15	0,45	5,1	2400	826,2	0	4,1	0	3387,42
50		0,4	0,6	1,05	2400	604,8	2,6	3,125	1572,48	1890
51		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	6,95	1,3	5204,16	973,44
52		0,4	0,6	2,6	2400	1497,6	10,7	1,3	16024,32	1946,88
53		0,15	0,45	2,6	2400	421,2	12,375	1,3	5212,35	547,56
54		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	3,2	6,65	14929,92	31026,24
55		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	6,65	16212,96	15513,12
56		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	10,7	6,65	49921,92	31026,24
57		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	6,65	16238,475	8726,13
58		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	0	14,75	0	68817,6
59		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	3,2	14,75	14929,92	68817,6
60		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	14,75	16212,96	34408,8
61		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	10,7	14,75	49921,92	68817,6
62		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	14,75	16238,475	19354,95
63		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	0	22,85	0	106608,96
64		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	3,2	22,85	14929,92	106608,96
65		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	22,85	16212,96	53304,48
66		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	10,7	22,85	49921,92	106608,96
67		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	22,85	16238,475	29983,77
68		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	0	30,95	0	144400,32
69		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	3,2	30,95	14929,92	144400,32
70		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	30,95	16212,96	72200,16
71		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	10,7	30,95	49921,92	144400,32
72		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	30,95	16238,475	40612,59
73		0,15	0,45	1,35	2400	218,7	0,5	35,675	109,35	7802,1225
74		0,15	0,45	1,35	2400	218,7	0,5	10,125	109,35	2214,3375
75		0,15	0,45	7,8	2400	1263,6	0	40,25	0	50859,9
76		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	3,2	39,05	14929,92	182191,68
77		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	39,05	16212,96	91095,84
78		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	10,7	39,05	49921,92	182191,68
79		0,15	0,45	8,1	2400	1312,2	12,375	39,05	16238,475	51241,41
80		0,4	0,6	8,1	2400	4665,5	3,2	43,625	14929,92	203536,8
81		0,15	0,45	1,05	2400	170,1	6,4	43,625	1088,64	7420,6125
82		0,3	0,4	2,425	2400	698,4	6,95	44,3125	4853,88	30947,85
83		0,4	0,6	2,425	2400	1396,8	10,7	44,3125	14945,76	61895,7
84		0,15	0,45	2,425	2400	392,85	12,375	44,3125	4851,5188	17408,166
Total					143047				853615,22	3340509,7
									5,9673863	23,352573

- Pelat

PELAT

No	Arah	Dimensi Pelat		Tebal	Bj Beton (Kg/m ³)	Berat (Kg)	Jarak Ke Xo (X)	Jarak ke Yo (Y)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
		Panjang (m)	Lebar (m)							
1		3,2	1,05	0,12	2400	967,68	1,6	2,075	1548,288	2007,936
2		3,2	1,05	0,12	2400	967,68	4,8	2,075	4644,864	2007,936
3		3,75	2,6	0,12	2400	2808	8,825	1,3	24780,6	3650,4
4		2,6	1,675	0,12	2400	1254,24	11,5375	1,3	14470,794	1630,512
5		3,2	2,1	0,12	2400	1935,36	1,6	3,65	3096,576	7064,064
6		3,75	2,1	0,12	2400	2268	5,075	3,65	11510,1	8278,2
7		3,75	2,1	0,12	2400	2268	8,825	3,65	20015,1	8278,2
8		2,1	1,675	0,12	2400	1013,04	11,5375	3,65	11687,949	3697,596
9		3,2	1,95	0,12	2400	1797,12	1,6	5,675	2875,392	10198,656
10		3,75	1,95	0,12	2400	2106	5,075	5,675	10687,95	11951,55
11		3,75	1,95	0,12	2400	940,68	11,5375	5,675	18585,45	11951,55
12		1,95	1,675	0,12	2400	1935,36	1,6	7,925	3981,312	19719,936
13		3,2	2,7	0,12	2400	2483,32	5,075	7,925	15982,594	24958,044
14		4,05	2,7	0,12	2400	3149,28	5,075	7,925	22198,05	55659,15
15		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	8,675	38600,55	37944,45
16		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	8,675	22541,0445	16948,521
17		2,3	1,35	0,12	2400	894,24	2,15	10,025	1922,616	8964,756
18		4,05	1,35	0,12	2400	1574,64	5,075	10,025	7991,298	15785,766
19		3,2	3,2	0,12	2400	2949,12	1,6	12,3	4718,592	36274,176
20		4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	12,725	22198,05	55659,15
21		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	12,725	38600,55	55659,15
22		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	12,725	22541,0445	24861,087
23		4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	16,775	22198,05	73737,85
24		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	16,775	38600,55	73737,85
25		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	16,775	22541,0445	32773,653
26		4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	20,825	22198,05	91088,55
27		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	20,825	38600,55	91088,55
28		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	20,825	22541,0445	40886,219
29		4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	24,875	22198,05	108803,25
30		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	24,875	38600,55	108803,25
31		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	24,875	22541,0445	48598,785
30		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	24,875	38600,55	108803,25
31		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	24,875	22541,0445	48598,785
32		3,2	3,175	0,12	2400	2926,08	1,6	28,4875	4681,728	83356,704
33		4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	28,925	22198,05	124517,95
34		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	28,925	38600,55	126517,95
35		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	28,925	22541,0445	56511,351
36		4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	32,975	22198,05	144232,65
37		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	32,975	38600,55	144232,65
38		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	32,975	22541,0445	64423,917
39		2,3	1,35	0,12	2400	894,24	2,15	35,675	1922,616	31902,012
40		4,05	1,35	0,12	2400	1574,64	5,075	35,675	7991,298	56175,282
41		4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	37,025	38600,55	161947,35
42		4,05	1,675	0,12	2400	1953,72	11,5375	37,025	22541,0445	72336,483
43		3,2	2,7	0,12	2400	2488,32	1,6	37,7	3981,312	93809,684
44		4,05	2,7	0,12	2400	3149,28	5,075	37,7	15982,596	118727,856
45		3,2	1,55	0,12	2400	1428,48	1,6	40,225	2285,568	57460,608
46		3,75	1,55	0,12	2400	1674	5,075	40,225	8495,55	67336,65
47		3,75	1,55	0,12	2400	1674	8,825	40,225	14773,05	67336,65
48		1,675	1,55	0,12	2400	747,72	11,5375	40,225	8626,8195	30077,037
49		3,2	2,1	0,12	2400	1935,36	1,6	42,05	3096,576	81381,888
50		3,75	2,1	0,12	2400	2268	5,075	42,05	11510,1	95369,4
51		3,75	2,1	0,12	2400	2268	8,825	42,05	20015,1	95369,4
52		2,1	1,675	0,12	2400	1013,04	11,5375	42,05	11687,949	42598,332
53		3,2	1,05	0,12	2400	967,68	1,6	43,625	1548,288	42215,04
54		3,2	1,05	0,12	2400	967,68	4,8	43,625	4644,864	42215,04
55		3,75	2,425	0,12	2400	2619	8,825	44,3125	23112,675	116054,438
56		2,425	1,65	0,12	2400	1152,36	11,5375	44,3125	13295,3535	51063,925
					138101				949325,072	3110590,21
									6,87413412	22,5240172

- Dinding

No	Type	Dimensi Pelat		Tebal	Bj Beton (Kg/m ³)	DINDING			W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
		Panjang (m)	Tinggi (m)			Berat (Kg)	Jarak Ke Xo (m)	Jarak ke Yo (m)		
1	X	3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	6,65	1921,92	7987,98	
2		3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	9,25	1921,92	11111,1	
3		3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	10,7	1921,92	12852,84	
4		3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	18,8	1921,92	22582,56	
5		2,7	3,85	97,5	1013,5125	1,35	21,3	1368,242	21587,816	
6		2,7	3,85	97,5	1013,5125	1,35	23,8	1368,242	24121,598	
7		5,5	3,85	97,5	2064,5625	8,6	26,9	17755,24	55536,731	
8		3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	35	1921,92	42042	
9		3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	36,5	1921,92	43843,8	
10		3,2	3,85	97,5	1201,2	1,6	37,6	1921,92	45165,12	
11		5,5	3,85	97,5	2064,5625	8,6	36,5	17755,24	73356,331	
12	Y	4	3,85	97,5	1501,5	0	8,7	0	13063,05	
13		2,6	3,85	97,5	975,975	2	8	1951,95	7807,8	
14		2,6	3,85	97,5	975,975	3,2	8	3123,12	7807,8	
15		8,1	3,85	97,5	3040,5375	0	12,75	0	38766,853	
16		6,6	3,85	97,5	2477,475	3,2	12,9	7927,92	31959,428	
17		8,1	3,85	97,5	3040,5375	0	22,85	0	69476,282	
18		8,1	3,85	97,5	3040,5375	0	30,95	0	94104,636	
19		4	3,85	97,5	1501,5	0	37	0	55555,5	
20		4	3,85	97,5	1501,5	3,2	37	4804,8	55555,5	
21		8,1	3,85	97,5	3040,5375	10,7	30,95	32533,75	94104,636	
22		1	3,85	97,5	373,375	5,2	35,5	1951,95	13325,813	
23		1	3,85	97,5	373,375	10,7	35,5	4016,513	13325,813	
		Total			36411,375			108010,4	857041,19	
								2,963692	23,537732	

- Kesimpulan :

Lantai 1	BERAT (W) (kg)	W.x (Kg.m)	W.y (Kgm)
Total	352119,165	2100598,7	8007981,1
Titik Berat			
Xa (m)		Ya (m)	
5,97		22,742247	

d. Lantai Atap

- Balok

No	Dimensi Balok			Panjang	Bj Beton (Kg/m ³)	Berat (Kg)	Jarak Ke Xo (m)	Jarak ke Yo (m)	Wx (Kg.m)	Wy (Kg.m)	
	Arah	Lebar (m)	Tinggi (m)								
1	X	0,2	0,3	7,5	2400	1080	6,95	0	7506	0	
2		0,2	0,3	3,2	2400	460,8	1,6	1,95	737,28	898,56	
3		0,2	0,3	7,5	2400	1080	6,95	1,95	7506	2106	
4		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	6	2150,4	8054	
5		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	6	21892,5	18900	
6		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	10,05	1075,2	6753,6	
7		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	10,05	10946,25	15828,75	
8		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	14,1	2150,4	18950,4	
9		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	14,1	21892,5	44415	
10		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	18,15	1075,2	12196,8	
11		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	18,15	10946,25	28586,25	
12		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	22,2	2150,4	29836,8	
13		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	22,2	21892,5	69930	
14		0,25	0,35	3,2	2400	672	1,6	26,25	1075,2	17640	
15		0,25	0,35	7,5	2400	1575	6,95	26,25	10946,25	41343,75	
16		0,35	0,5	3,2	2400	1344	1,6	30,3	2150,4	40723,2	
17		0,35	0,5	7,5	2400	3150	6,95	30,3	21892,5	95445	
18		0,2	0,3	3,2	2400	460,8	1,6	34,35	737,28	15828,48	
19		0,2	0,3	7,5	2400	1080	6,95	34,35	7506	37098	
20		0,2	0,3	7,5	2400	1080	6,95	36,3	7506	39204	
21	Y	0,2	0,3	4,05	2400	583,2	0	3,975	0	2318,22	
22		0,2	0,3	6	2400	864	3,2	3	2764,8	2592	
23		0,2	0,3	6	2400	864	6,95	3	6004,8	2592	
24		0,2	0,3	6	2400	864	10,7	3	9244,8	2592	
25		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	0	10,05	0	45889,28	
26		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	10,05	14929,92	46889,28	
27		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	10,05	16212,96	23444,64	
28		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	10,05	49921,92	46889,28	
29		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	0	18,15	0	84680,64	
30		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	18,15	14929,92	84680,64	
31		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	18,15	16212,96	42340,32	
32		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	18,15	49921,92	84680,64	
33		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	0	26,25	0	122472	
34		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	3,2	26,25	14929,92	122472	
35		0,3	0,4	8,1	2400	2332,8	6,95	26,25	16212,96	61236	
36		0,4	0,5	8,1	2400	4665,6	10,7	26,25	49921,92	122472	
37		0,2	0,3	4,05	2400	583,2	0	32,325	0	18851,94	
38		0,2	0,3	6	2400	864	3,2	33,3	2764,8	28771,2	
39		0,2	0,3	6	2400	864	6,95	33,3	6004,8	28771,2	
40		0,2	0,3	6	2400	864	10,7	33,3	9244,8	28771,2	
Total							85298		442957,71	1548155,1	
									5,1930731	18,15	

- Pelat

No	Type	Dimensi Pelat			Tebal	Bj Beton	Berat	Jarak Ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		Type	Panjang (m)	Lebar (m)				(X)	(Y)		
1	S2	3,75	1,95	0,12	2400	2106	5,075	0,975	10687,95	2053,35	
2	S2	3,75	1,95	0,12	2400	2106	8,825	0,975	18585,45	2053,35	
3	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	3,975	5971,968	14836,608	
4	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	3,975	22198,05	17386,65	
5	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	3,975	38600,55	17386,65	
6	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	8,025	5971,968	29953,152	
7	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	8,025	22198,05	35101,35	
8	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	8,025	38600,55	35101,35	
9	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	12,075	5971,968	45069,696	
10	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	12,075	22198,05	52816,05	
11	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	12,075	38600,55	52816,05	
12	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	16,125	5971,968	60186,24	
13	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	16,125	22198,05	70530,75	
14	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	16,125	38600,55	70530,75	
15	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	20,175	5971,968	75302,784	
16	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	20,175	22198,05	88245,45	
17	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	20,175	38600,55	88245,45	
18	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	24,225	5971,968	90419,328	
19	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	24,225	22198,05	105960,15	
20	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	24,225	38600,55	105960,15	
21	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	28,275	5971,968	105535,872	
22	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	28,275	22198,05	123674,85	
23	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	28,275	38600,55	123674,85	
24	S2	4,05	3,2	0,12	2400	3732,48	1,6	32,325	5971,968	120652,416	
25	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	5,075	32,325	22198,05	141389,55	
26	S2	4,05	3,75	0,12	2400	4374	8,825	32,325	38600,55	141389,55	
27	S2	3,75	1,95	0,12	2400	2106	5,075	35,325	10687,95	74394,45	
28	S2	3,75	1,95	0,12	2400	2106	8,825	35,325	18585,45	74394,45	
		Total			108268			592711,344			
								1965061,3			
								5,47449126			
								18,15			

- Kesimpulan

Lantai 1	BERAT	W.x	W.y
	(kg)	(Kg.m)	(Kgm)
Total	193566	1035669,1	3513216,366
Titik Berat			
Xa	Ya		
(m)	(m)		
5,35	18,15		

- **Lampiran 2 Data Tanah**



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI**
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006
Email : labtransgeo.its@gmail.com

DRILLING LOG									
Project No.		Project Name		Date of Drilling		Return		Remarks	
Bore Hole No.		Lokasi : Samarang, Jawa Tengah		Date : 01 - 07 - March 2012		Driller : Dwiwid		SD = Lulusdrill Sample	
Water Table		Elevation : ± 6.00 (muka tanah setempat)		SPT = SPT Test		UD = Undrained Sample		N = Value	
Sediment Type	Thickness	Description	Texture	Soil Type	Consistency	UD	SD	Water Content (%)	Sample Code
Liasan Betong Basah (Lembut)	0.00 - 4.00	Putih	Medium	1	1	13	3	6	8
Pias Berpasir	4.00 - 9.00	Coklat	Medium	2	2	11	6	5	8
Lempung Berpasir	9.00 - 19.00	Kuning	Medium soft	3	3	15	4	7	8
Lempung Berpasir	19.00 - 33.00	Abu-abu	soft hard	4	4	22	7	8	14
Lempung Berpasir (Bergasir)	33.00 - 40.00	Abu-abu	Hard	5	5	19	16	13	8
Lempung Berpasir	40.00 - 48.00	Abu-abu	Hard	6	6	15	5	6	8
Lempung Berpasir	48.00 - 53.00	Abu-abu	Hard	7	7	14	6	7	7
Lempung Berpasir	53.00 - 58.00	Abu-abu	Hard	8	8	18	8	8	10
Lempung Berpasir	58.00 - 63.00	Abu-abu	Hard	9	9	21	6	9	12
Lempung Berpasir	63.00 - 68.00	Abu-abu	Hard	10	10	23	9	11	12
Lempung Berpasir	68.00 - 73.00	Abu-abu	Hard	11	11	29	8	13	16
Lempung Berpasir	73.00 - 78.00	Abu-abu	Hard	12	12	33	10	15	18
Lempung Berpasir	78.00 - 83.00	Abu-abu	Hard	13	13	37	12	15	22
Lempung Berpasir	83.00 - 88.00	Abu-abu	Hard	14	14	43	11	17	26
Lempung Berpasir	88.00 - 93.00	Abu-abu	Hard	15	15	42	11	15	27
Lempung Berpasir	93.00 - 98.00	Abu-abu	Hard	16	16	37	12	16	21
Lempung Berpasir	98.00 - 103.00	Abu-abu	Hard	17	17	44	11	18	26
Lempung Berpasir	103.00 - 108.00	Abu-abu	Hard	18	18	49	10	22	27
Lempung Berpasir	108.00 - 113.00	Abu-abu	Hard	19	19	40	13	17	23
Lempung Berpasir	113.00 - 118.00	Abu-abu	Hard	20	20	50	13	21	28

- **Lampiran 3 Data Tambahan (Brosur Plester, Keramik, Dinding)**

Blok & Jumbo Blok



hebel

Bangun tembok yang praktis, cepat dan rap... ya pokai blok Hebel!!

Building with common sense

Hotline Service: 021-6126712
SMS Customer Care: 0815-9480008
www.hebel.co.id

AAC Hebel

Autoclaved Aerated Concrete (AAC) hebel adalah beton ringan berbaut dan bahan baku berkualitas tinggi, diproduksi dengan teknologi Jerman dan standar Deutsche Industrie Norm (DIN).

AAC hebel diproduksi oleh PT. Hebel Indonesia yang merupakan produsen beton ringan yang terbesar dan terlengkap di Indonesia.

AAC hebel memberikan kemudahan, kecepatan, serta kerapian dalam membangun rumah tinggal, gedung komersial, dan bangunan Industri.

Spesifikasi Blok Hebel B-2

Panjang, l (mm)	: 600	
Tinggi, h (mm)	: 200	
Tebal	: 75; 100; 125; 150; 175; 200	
Berat jenis kering, ρ (kg/m^3)		: 500
Berat jenis normal, ρ (kg/m^3)		: 575
Kuat lekan, σ (N/mm^2)		: 4.0
Konduktivitas termis, $(W/\text{m.K})$: 0.16

Dimensi kemasan : panjang x lebar x (m) : 0.80 x 1.20

Total	mm	75	100	125	150	175	200
Volume Paket	m^3	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Jumlah Paket	bks	200	150	125	100	80	70
Luas Dinding / m ²	m^2	13.00	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Berat Paket (termasuk paket)	kg	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059
Jumlah Paket	bks	111.1	163.3	196.7	222.2	247.6	267.7
Tegak Kemasan (termasuk paket)	m	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83

Dimensi kemasan : panjang x lebar x (m) : 1.00 x 1.20

Total	mm	75	100	125	150	175	200
Volume Paket	m^3	1.44	1.44	1.44	1.44	1.34	1.34
Jumlah Paket	bks	80	80	80	80	60	52
Luas Dinding / m ²	m^2	13.00	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Berat Paket (termasuk paket)	kg	952	952	952	952	798	798
Jumlah Paket	bks	55.6	41.47	33.99	27.78	23.81	20.03
Tegak Kemasan (termasuk paket)	m	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83

Pemotongan Blok



1. Blus gars dengan besi sikat

2. Gunakan gerigi tangan untuk memotong blok

Membuat Alur Pipa



1. Buat lubang pada dinding dengan petali

2. Gunakan circular saw untuk memotong



3. Keluaran bagian yang tidak terpakai dengan pahat

4. Kerjakan dengan hand roller untuk memperbaiki sisa potongan

Pembuatan Stair



Ketinggian = 400 mm
Lebar = 400 mm
Batasan = 100 mm
Batasan = 100 mm
Basis pasca

Sar pada setiap kali, bidang dasar adalah PM-200 dengan ketebalan ± 2 cm

Interlocking
Tebal kisi minimal 100 mm (tinggi dinding maksimal 7 m dengan sistem Thin Metal Mesh PM-100)

Almond angular pengait interlocking



30 x 30

TECHNICAL DATA
ARWANA Ceramic Tiles



Plain Colour 3663 WT



Plain Colour 3673 BK



Plain Colour 3633 MN



Strata 3719 GN



Strata 3729 BL



Strata 3739 PK



Fancy 3657 MN



Fancy 3667 GN



Fancy 3317 BN



Fancy 3317 YL



Fancy 3667 DB



Fancy 3667 BK



Rustic 3681 BN



Rustic 3681 GN



Rustic 3281 YL



Rustic 3381 NY



Rustic 3681 BN



Rustic 3681 GN



Rustic 3681 BN



Rustic 3781 BN



Rustic 3681 BN



Rustic 3681 GN



Rustic 3681 BN



Rustic 3181 BN



2081 BN



2081 BN



2081 BN



2081 BN

Arwana Ceramic tiles packing information

SIZE (cm)	QTY./BOX	M/BOX	WT. KG/BOX
20cm x 20cm	25	1	13-14
20cm x 25cm	20	1	12
30cm x 30cm	11	1	14-15
40cm x 40cm	6	1	15.5-16.5

Contact us :

Head Office:
PT ARWANA CITRAMULIA Tbk
 Sentra Niaga Puri Indah Blok T2 No. 24
 Kemanggungan Selatan, Jakarta 11610
 Jakarta 11610
 Phn: +62 21 5830 2363
 Fax: +62 21 5830 2363
 E-mail: info@arwanacitra.com
 Website: www.arwanacitra.com

Sole Distributor:
PT PRIMAGRHA KERAMINDO
 Sentra Niaga Puri Indah Blok T3 No. 16-17
 Kemanggungan Selatan, Jakarta 11610
 Phn: +62 21 5835 8118
 Fax: +62 21 5835 8008
 E-mail: info@pgk.arwanacitra.com

Factories:

PLANT I:
PT ARWANA CITRAMULIA (ACM)
 Jl. Raya Pondok, Desa Kilin Km 69
 Cikande - Serang, Banten
 Tangerang 15133, Banten
 Phn: +62 21 5903555 - Fax: +62 21 5903461
 Email: info@acm.arwanacitra.com

PLANT II:
PT ARWANA NUANSA KERAMIK (ANK)
 Jl. Raya Gonda, Desa Kilin Km 33
 Desa Wringin Asinan, Kec. Gesuk
 Jawa Timur
 Phn: +62 31 8982225-26 Fax: +62 31 8981679
 Email: info@ankd.arwanacitra.com

PLANT III:
PT MINIR KARYA DUTA ABADI (SKDA)
 Jl. Wringin Asinan Raya Km. 33
 Desa Wringin Asinan, Kec. Gesuk
 Jawa Timur
 Phn: +62 31 8982225-26 Fax: +62 31 8981679
 Email: info@vldda.arwanacitra.com



DINDING



Plester D200

- Dipergunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan batu.
- Ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya retak dan workability yang baik.
- Daya sebar/zak ± 2-2,5 m²/10mm



Acian dinding dan plester

Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk ekspose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak ± 10-12 m²/2mm



Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak ± 10-12 m²/2mm
- 5-7 hari bisa langsung di cat



Acian dinding plester dan beton

SKIMCOAT S200

- Daya retak tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/zak 9-12 m²/30 kg



30kg

SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekspos dak/beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Larva pianat dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/zak 9-11 m²/20 kg



20kg



Thinbed 101 TB101

- Perekat batu ringan dengan ketebalan spesial antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya retak yang baik
- Daya sebar/zak ± 10-11 m²/3mm (40 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Cepat dalam pengelajahannya



40kg

Khusus
Bata Ringan

Plester Ringan 1.6 S150

- Plester aci bata ringan dalam paketasi
- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebar/zak ± 4,5-6,5 m²/5-8mm (50 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Lebih cepat dan hemat dalam penerapannya



50kg

Produk lainnya

Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perekat/bonding dinding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll
- Tebal aplikasi 3-15 mm

25kg
40kg

Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar



1L

APRIL 2015



Papan Senggaran Deteksi Asbes

TOP BRAND

PT. Kalsiindo
Jl. Raya Ngawi Km. 12,5 Candi, Ngawi
• Kepala Daerah PPH/DS
• Kepala Daerah PPH/DS
• Kepala Daerah PPH/DS
• Kepala Daerah PPH/DS

www.kalsi.co.id

100% BEBAS ASBESTOS

KalsiPlat 3'

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
3.0	1000	1000	4.3	13,995
3.0	500	1000	2.2	8,990
3.0	1000	2000	8.6	34,550
3.0	500	2000	4.3	15,850

KalsiPlat 3.5'

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
3.5	1220	2440	14.4	62,800
3.5	1200	2400	13.0	60,400

KalsiPlat 4.5'

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
4.5	1220	2440	19.0	88,550
4.5	1200	2400	18.4	83,350

KalsiPlat 5'

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
5.0	1220	2440	23.4	122,350
5.0	1200	2400	24.5	117,750
5.0	1200	2700	27.6	132,450
5.0	1200	3000	30.7	148,650

KalsiBoard Liny 6-12"

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
6.0	1220	2440	25.4	125,550
6.0	1200	2400	24.5	120,000
6.0	1200	2700	27.6	135,900
6.0	1200	3000	30.7	149,650

KalsiBoard Liny 6-14"

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
6.0	1220	2440	25.4	120,150
6.0	1200	2400	24.5	117,050
6.0	1200	2700	27.6	137,200
6.0	1200	3000	30.7	151,500

KalsiBoard Liny 8"

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
8.0	1220	2440	34.8	184,950
8.0	1200	2400	33.6	158,000
8.0	1200	2700	37.3	174,400
8.0	1200	3000	42.1	198,150

KalsiParti 8"

Partisi

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
8.0	1220	2440	34.8	189,000
8.0	1200	2400	33.6	162,650
8.0	1200	2700	37.3	181,000

KalsiParti 8-12"

Partisi

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
8.0	1220	2440	34.8	189,000
8.0	1200	2400	33.6	162,650
8.0	1200	3000	42.1	202,100

KalsiParti 10-14"

Partisi

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
10	1220	2440	43.8	200,000
10	1200	2400	42.1	186,100
10	1200	2700	47.3	225,100
10	1200	3000	52.8	250,100

KalsiClad 10"

Dinding luar

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
10	1220	2440	43.8	200,000
10	1200	2400	42.1	186,100
10	1200	2700	47.3	225,100
10	1200	3000	52.8	250,100

KalsiClad 12"

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
12	1220	2440	32.2	221,350
12	1200	2400	30.5	242,450
12	1200	2700	36.8	277,850
12	1200	3000	43.1	301,150

KalsiClad 8"

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
8.0	1200	2400	33.6	209,400

KalsiFloor 20"

Lantai

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rp./meter)
20	1200	2400	84.11	553,000

Produk pelengkap untuk pengikatan & pernyelatan akhir papan Kalsi®.

AKSESORIS BARU

Aksesori	Ukuran standar	Unit	Harga (Rp./meter)
KalsiFurring MCI*	0.4x3x100x1400 mm	meter (m)	27,650
KalsiFurring MJC*	50x35x15 mm	buah	2,200
KalsiFurring JWD*	0.45x20x20x1400 mm	meter (m)	14,350
KalsiFurring LP*	40x30x20 mm	buah	1,850
KalsiFrame MT-51*	0.45x125x25x3000 mm	meter (m)	26,750
KalsiFrame MF-45*	0.45x125x25x3000 mm	meter (m)	35,000
KalsiNail 3-4.5"	95 x 1 inch	3000 buah/ des	82,500
KalsiScrew CE*	100x20x244 mm	1000 buah/ des	118,800
KalsiScrew PC*	96 x 3/4 inch	1000 buah/ des	236,600
KalsiScrew FL*	96 x 1 inch	1000 buah/ des	286,000
KalsiTape FB-58*	50mmx50m	Roll	28,750
KalsiTape IN-F*	20 Kileogram (kg)	Zak	75,000

*Pembelian minimum 3 zak.

©2014 PT. Kalsiindo. All rights reserved. Kalsi® is a registered trademark of PT. Kalsiindo.

Kalsi Credit

= EX-
CASH



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Matur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025

<http://www.itsmaspits.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muhammad Yanvar Ishaq, 2 Purnomo Riyanto
 NRP : 1 10115 000000 59 2 10115 000000 95
 Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Gedung perkantoran 5 lantai Graha STC
 Sumenep dengan Metode Sistem Rangka Penitul Meman Menengah (SPPMM)
 Dosen Pembimbing : Ir. Sri Subekti, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan	B	C	K
1.	15 - 02 - 2018	- di bantalkan Cara Penggambaran. - Cara Poulisan dimensi → bxh Penjelasan .	<i>V. Sri Subekti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	01 - 03 - 2018	- Perkalkulasi Banyak indikat. - Balon Air pada atap - Penentuan dimensinya - Peningkatan Peter Atap ditambah Balon Air - notasi yg tad perlu dicantum jplet.	<i>V. Sri Subekti</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	04 16 - 03 - 2018	- Gambar potongan tangga. menunjukkan tinggiak, tangkap - Gambar twistress luar A1 + A2 Tangga .	<i>V. Sri Subekti</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	06 - 04 - 2018	- di Cari min Tabel SNI nya dan sifat cian juga . Penjelasan	<i>V. Sri Subekti</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	26 - 04 - 2018	- Notasi dy,dx pelat tangga dan berlis dikarish . - d Spesi pelat tangga arah x & y	<i>V. Sri Subekti</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kel:

- B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muhammad Yanvar Ishraq 2 Purnomo Riyanto
 NRP : 1 10115 0000059 2 10115 00000095
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

: Perencanaan Ulang Gedung perkantoran & lantai kerja STC Surabaya dengan metode lisian rangka pembiul halma
 : Ir. Sri Subekti, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
		diganti 120 mm. - fakultas pengembangan - tulisan diameter buro k.		B C K
6	3-05-18	Ru kolom tambil yg berat	<i>R. Subekti</i>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	17 May 2018	Data PCACOL dicetak lagi - Notari - - Pelajari Penyaluran kolom dan Perbaiki	<i>R. Subekti</i>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	29 mei -2018	Pelajaran Bab 1 Coloum, perbaiki mugang dicetak lagi dan yg turpinca & kronologis	<i>R. Subekti</i>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9.	09 juni -2018	- Karin Gambar / Sketsa - cek . n pada Tpc. Bentuk dan Tata tulis laporan	<i>R. Subekti</i>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				B C K
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				B C K
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Ket:

- B = Lebih cepat dari jadwal
- C = Sesuai dengan jadwal
- K = Terambat dari jadwal

8
15
6
12
9
31



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS SOKAHS

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS , Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasioil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama	: 1 Muhammad Yanuar Ishaq	2	Purnomo Riyanto
NRP	: 1 10115 000 00059	2	10115 000 00055
Judul Tugas Akhir	: PERENCANAAN UJLAM 6 EDUNG PERKANTORAH 5 LANTAI GRAHA STC SUMENEP DENGAN METODE SISTEM PAMA PMIKALI MOMB MEMPRAHAT (SRPMMM).		
Dosen Pembimbing	: Ir. Sri Subekti, MT.		

Ket.

- B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Tertambat dari jadwal

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS 1



Penulis bernama Muhammad Yanuar Ishaq, dilahirkan di Sidoarjo 12 Januari 1997, merupakan anak Kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK dharma wanita Wadungasih, SDN 01 Wadungasih Sidoarjo, MTs Ma'arif Nu Ngaban Tanggulangin Sidoarjo, SMAN 3 Sidoarjo. Setelah lulus SMA pada tahun 2015, penulis mengikuti program Tes SMITS pada tahun 2015 dan memilih jurusan D3 Teknik Sipil untuk pilihan pertamanya. Syukur alhamdulillah penulis diterima di jurusan D3 Teknik Sipil FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 10111500000059. Di Jurusan D3 Teknik Sipil ITS ini penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Umum JMAA Tahun 2017 – 2018, Sekertaris Departemen Kesejahteraan JMAA tahun 2016 – 2017, pernah mengikuti organisasi JMMI sebagai anggota BSO BPU 2016 - 2017 dan Karateka – do ITS 2015 – 2016, 2016 – 2017 dan pernah mengikuti banyak pelatihan – pelatihan keislaman, entrepreneurship dan leadership di ITS, email penulis m.yanuarishaq@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS 2



Penulis bernama Purnomo Riyanto, dilahirkan di Sumenep 23 Januari 1998, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Pabian 1, SMPN 1 Kalianget, SMAN 1 Kalianget. Setelah lulus SMA pada tahun 2015, penulis mengikuti program Tes SMITS pada tahun 2015 dan diterima Departemen Teknik Infrastruktur Sipil dan terdaftar dengan NRP 10111500000095. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis juga aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan diantaranya pernah menjabat sebagai Ketua Divisi Intern JMAA Tahun 2017 – 2018, dan pernah mengikuti banyak pelatihan – pelatihan di ITS, email penulis purnomoriyanto98@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan baik dan lancar. Tak lupa pula Nabi besar Muhammad SAW junjungan kita, semoga kita mendapatkan syafaatnya kelak diakhirat nanti. Tugas akhir terapan ini tidak bisa selesai dengan baik tanpa dukungan dari orang-orang yang turut serta membantu, baik berupa bimbingan, dorongan maupun berupa doa. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih ini kepada :

1. Oran tua yang selalu mensupport kami mulai dari do'a yang tiada henti-hentinya.
2. Ibu Ir. Srie Subekti, MT. selaku dosen pembimbing, yang selalu membimbing kami dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
3. Ibu Palupi, Ibu Sulfi yang telah membantu dalam proses adminstrasi dan memberikan kemudahan dalam mengurus dan menyelesaikan segala sesuatu yang terkait tugas akhir terapan ini.
4. Dosen – dosen kami yang telah memberikan pencerahan yang luar biasa dan secerik ilmunya yang diberikan kepada kami.
5. Teman-teman bangunan gedung 2015 (anak struktur), yang selalu menyemangati dan menanyakan kabar revisi setiap hari. Semoga kita selalu kompak dan dilancarkan dalam semua urusan kita menuju keberhasilan. Aamiin.
6. Teman-teman angkatan 2015, DS36 atas dukungan serta do'anya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”