



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN – VC180609

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

Rendy Muhammad Rievqy
NRP. 10111600000003

Ichwan Nur Rochman
NRP. 10111600000064

Dosen Pembimbing:
Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730710 199802 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR TERAPAN – VC180609

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN DENGAN
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)**

**Rendy Muhammad Rievqy
NRP. 1011160000003**

**Ichwan Nur Rochman
NRP. 1011160000064**

**Dosen Pembimbing:
Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730710 199802 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT – VC180609

***PLANNING OF APARTEMENT BUILDING STRUCTURE WITH
METHOD OF MEDIUM RESISTING FRAME SYSTEM***

Rendy Muhammad Rievqy
NRP. 10111600000003

Ichwan Nur Rochman
NRP. 10111600000064

Advisor Lecturer :

Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D..
NIP. 19730710 199802 1 002

***DIPLOMA III INFRASTRUKTURE CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
FAKULTY OF VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020***

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

TUGAS AKHIR TERAPAN

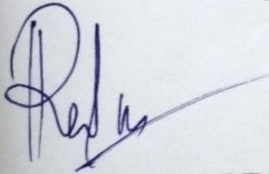
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik

pada

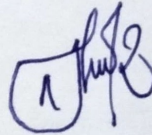
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Januari 2020

Disusun oleh:



Rendy Muhammad Rievqy
NRP 10111600000003



Ichwan Nur Rochman
NRP 10111600000064

Disetujui oleh:
Pembimbing Tugas Akhir Terapan:



Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197307101998021002

31 JAN 2020



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

No. Agenda :
 -/890/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2020

Tanggal : 14/01/2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Gedung Apartemen dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)		
Nama Mahasiswa 1	Rendy Muhammad Rievqy	NRP	10111600000003
Nama Mahasiswa 2	Ichwan Nur Rochman	NRP	101116000000064
Dosen Pembimbing 1	Ridho Bayu Aji, ST, MT., Ph.D. NIP. 19730710 199802 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	.	Tanda tangan	.

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Diwajibkan gambar balok & buat level yg sama + selanglusu & pelat. 2. Tuliskan part $l_x > l_y$ + deklinasi. 3. Tuliskan pener. 4. Gambar 2D, portal, hujung terluar kecil, gambar potongan balok-kolom, pelat ke balok. 5. Notasi gambar. (19, 14, 15, 12, 10, 11, 5, 16, 21)	 Ir. Murnas Suluch, MS. NIP. 19550408 198203 1 003
1. Tata tulis. → & buku B. Yuyun. 2. Metodologi + flow chart & partaun. 3. Bab II & disleksi. 4. Abstrak	 DR. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT NIP. 19780201 200604 2 002
1. Hal 19, deklaskan SAP 2000 + PCACOL. 2. Ditinjau beban angin. 3. Deht balok bordes di tapan. → hal 95. 4. Bab II & tambahkan gaya gempa. 5. Gambar perajay penguatan Ldh. Lh.	 Dimas P. Dibiantara, ST. MSc. NPP. 1986 20 19 11 091
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Murnas Suluch, MS. NIP. 19550408 198203 1 003	DR. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT NIP. 19780201 200604 2 002	Dimas P. Dibiantara, ST. MSc. NPP. 1986 20 19 11 091	

Peretujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	Ridho Bayu Aji, ST, MT., Ph.D. NIP. 19730710 199802 1 002	



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 RENDY MUHAMMAD RIEVDY 2 ICHWAN MUR ROCHMAN
NRP : 1 10111600000003 2 10111600000064
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN DENGAN METODE SISTEM RANGKA PERIKUL MOMEN MENENGAH (SRPM)
Dosen Pembimbing : RIDHO BAYU AJI, ST., MT., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	15 Maret 2019	- Selesaikan denah dan tangga - Pelajari harga struktur yang diinvest - Pahami estetika agar orang tertarik - Pelajari lift dan arsitektur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	16 April 2019	- Kolom disesuaikan letaknya - Hasil permodelan harus bisa di buktikan - Fungsi void dipahami - Bentuk pelat lantai diperlihatkan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	20 Mei 2019	- Denah dan potongan disesuaikan - Denah struktur diselesaikan - gaya dan setiap analisis wajib memahami itu sudah selesai / belum		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	20 September 2019	- Denah dilengkapi dengan notasi dan axis potongan - Denah struktur diselesaikan - Alasan dilubangi pedesain - potongan, tumpang		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 RENDY MUHAMMAD RIEVAY 2 ICHWAN NUR ROCHMAN
NRP : 1 10111600000003 2 10111600000064
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MUMEN MENENGAH (SRPM)
Dosen Pembimbing : RIDHO BAYUADI, S.T., M.T., Ph.D.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5	25-10-2019	- Gambar harus bisa dipertanggung jawabkan - Harus sesuai fase / tahapan - Gaya dalam dipelaborasi lagi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	01-11-2019	- Gambar plat cukup 1 saja setiap senisya - Detail plat crop dan zoom dari gambar plat - Detail plat beserta potongan plat dan balok - Tulangan pangsang dan pendek dipergelas - Tulangan utama tangga arch memasang karena hanya ada 2 sisi yang ditumpu		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

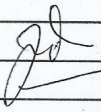


KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Rendy Muhammad Revqy 2 Ichwan Nur Rachman
NRP : 1 1011160000003 2 1011160000064
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEORG APARTEMEN DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN. MENENGAH.
Dosen Pembimbing : RIDHO BAYUADI, ST., MT., Ph.D. (SRPM)

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
	16-12-2019	- Baca SNI mengenai tulangan susut		
		- As susut + As tulangan utama		B C K
		- Tangga diberi sarak (notasi) diberi sarak dan ukuran tebal plat (bordes dan tangga)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Tebal efektif plat anak tangga		B C K
		- Satuan sama antara mm/m harus sama		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Hitung balok bordes (perhitungan struktur sekunder)		B C K
		- Potongan tangga harus sesuai dengan detail		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Hitung momen manual struktur		B C K
		- PPT perhitungan struktur prosesnya		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Bagaimana bisa meyakini output dari sap sudah bisa dipakai		
		- Perbanyak literatur		B C K
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

**“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)”**

Nama Mahasiswa : Rendy Muhammad Rievqy
NRP : 10111600000003
Nama Mahasiswa : Ichwan Nur Rochman
NRP : 101116000000064
Jurusan : D - III Infrastruktur Sipil - ITS
Dosen Pembimbing : Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D.
NIP : 19730710 199802 1 002

ABSTRAK

Penyusunan tugas akhir terapan ini menggunakan bangunan Gedung Apartemen yang terletak di kota Surabaya dengan luas bangunan sebesar 765 m². Namun bangunan tersebut telah dimodifikasi dalam perencanaan ini sesuai dengan standar kompetensi dan batasan pada program studi Diploma 3 Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS. Modifikasi bangunan yaitu mrnggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan nama bangunan diubah menjadi Gedung Apartemen “Rose” dan berlokasi di pamekasan.

Struktur bangunan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini terdiri dari struktur sekunder dan struktur primer. Sedangkan untuk material utama penyusun struktur adalah beton bertulang. Perhitungan yang dikerjakan akan mengacu pada beberapa acuan meliputi : Perhitungan struktur mengacu pada SNI 2847 – 2013 ; Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Perhitungan Pembebanan mengacu pada SNI 1727 – 2013, Sedangkan untuk perhitungan gempa mengacu pada SNI 1726 – 2012 dan Peta *Hazzard* Gempa Indonesia 2010. Metode untuk perhitungan gempa yang digunakan yaitu analisa statik ekuivalen.

Hasil dari penyusunan tugas akhir terapan ini diperoleh laporan hasil perhitungan struktur bangunan apartemen yang mampu menahan gaya-gaya yang dipikul bangunan termasuk gaya gempa dan juga gambar teknik detail elemen struktur terdiri dari dua portal memanjang dan satu portal melintang. Menghitung volume tulangan pada satu portal memanjang dan satu portal melintang untuk mengetahui volume tulangan per m^3 beton.

Kata Kunci : Perencanaan Struktur Gedung, Statik Ekuivalen, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

“PLANNING OF APARTMENT BUILDING STRUCTURE WITH METHOD OF MEDIUM RESISTING FRAME SYSTEM”

Student Name : Rendy Muhammad Rievqy
NRP : 10111600000003
Student Name : Ichwan Nur Rochman
NRP : 101116000000064
Department : D-III Infrastruktur Sipil - ITS
Supervisor : Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D.
NIP : 19730710 199802 1 002

ABSTRACT

Preparation of this final application is applied using apartment building located in Surabaya with building area of 765 m². However, the building has been modified in this plan in accordance with competency standards and limits on the Diploma 3 Civil Infrastructure Engineering, Vocational Faculty, ITS. Building modification used the Intermediate Moment Resistant Frame System (SRPMM) and the name of the building was changed to the "Rose" Apartment Building and located in Pamekasan.

Building structure consists of secondary structure and primary structure. The main material of the structure is reinforced concrete. For the calculation of building structures refer to SNI 2847 - 2013; The Procedure for Calculating Concrete Structures for Buildings. Calculation of Loading refers to SNI 1727 - 2013. While for earthquake calculation refers to SNI 1726 - 2012 and the 2010 Indonesia Earthquake Hazzard Map. The method for earthquake calculation used is equivalent static analysis.

From the preparation of this assignment is obtained report of calculation result of apartement building structure that able to withstand the style that bears the building including earthquake style and also draw technique detail element of

structure consisting of two portals that is one portal elongate and one transverse portal. Calculates the volume of reinforcement on one lengthy portal and one transverse portal to know the volume of reinforcement each m^3 of concrete.

Keywords: Building Structure Planning, Equivalent Static, Medium Resisting Frame System (SRPMM).

KATA PENGANTAR

Puji syukur terpanjatkan kehadiraat Allah S.W.T atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad S.A.W. sehigga tugas akhir terapan ini dapat terselesaikan.

Tersusunnya tugas akhir terapan dengan judul **“Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)”** tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Pada kesempatan ini penullis menyampaikan banyak ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Mohamad Khoiri ,ST., MT., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Bapak Ridho Bayu Aji, ST.,MT.,Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan ini.
3. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, sebagai pemberi semangat dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil, terutama doa.
4. Semua pihak dan instansi yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman sekalian yang saling memberikan dukungan selama perkuliahan.
6. Serta semua pihak yang secara tidak langsung ikut membantu kami dalam penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir terapan ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan kritik dan saran yang membangun demi kasempurnaan 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, Januari 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Lokasi Studi	3
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Data Bangunan.....	7
2.3 Studi Literatur	8
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen.....	8

2.4.1	Ketentuan Struktur Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	9
2.5	Pembebanan	10
2.5.1	Beban Mati	10
2.5.2	Beban Hidup	11
2.5.3	Beban Hidup Atap	12
2.5.4	Beban Angin	12
2.5.5	Beban Gempa	19
2.5.6	Kombinasi Pembebanan	24
2.6	Perencanaan Struktur Sekunder	24
2.6.1	Pelat	24
2.6.2	Tangga	27
2.6.2.1	Perencanaan Dimensi Tangga	27
2.6.2.2	Pembebanan Tangga	28
2.6.2.3	Penulangan Struktur Tangga	29
2.7	Perencanaan Struktur Primer	29
BAB III		43
METODOLOGI		43
3.1	Pengumpulan Data	43
3.2	Studi Literatur	44
3.3	Penentuan Kriteria Desain	44
3.4	Preliminary Desain	45
3.4.1	Penentuan Dimensi Balok	45
3.4.2	Penentuan Dimensi Kolom	45

3.4.3	Penentuan Dimensi Pelat	45
3.4.4	Preliminary Tangga.....	45
3.5	Perhitungan Pembebanan.....	45
3.5.1	Beban Mati.....	45
3.5.2	Beban Hidup	45
3.5.3	Beban Angin	46
3.5.4	Beban Gempa.....	46
3.6	Permodelan Struktur	46
3.7	Analisa Gaya Dalam	46
3.7.1	Analisa Gaya Dalam Pelat	46
3.7.2	Analisa Gaya Dalam Balok.....	47
3.7.3	Analisa Gaya Dalam Kolom	47
3.8	Perhitungan Tulangan Struktur	47
3.9	Cek Syarat.....	47
3.10	Gambar Rencana.....	48
3.10.1	Gambar Arsitektur.....	48
3.10.2	Gambar Potongan.....	48
3.10.3	Gambar Penulangan	48
3.10.4	Gambar Detail	48
3.10.5	Gambar Struktur.....	48
3.11	Flow Chart	49
3.11.1	Proses Perencanaan Struktur	49
3.11.2	Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen	51
3.11.3	Gempa	52

3.11.4	Pelat.....	54
3.11.5	Tangga.....	58
3.11.6	Balok.....	61
3.11.7	Kolom	67
BAB IV	73
PEMBAHASAN	73
4.1	Data Desain Preliminary	73
4.2	Perencanaan Dimensi Struktur.....	73
4.2.1	Preliminary Balok Induk.....	73
4.2.2	Preliminary Sloof (L=800 cm).....	75
4.2.3	Preliminary Pelat.....	75
4.2.4	Preliminary Kolom.....	81
4.2.5	Perencanaan Tangga	81
4.3	Perhitungan Beban Struktur.....	83
4.3.1	Beban Mati (DL).....	83
4.3.2	Beban Hidup (LL).....	83
4.3.3	Beban Air Hujan (R).....	84
4.3.4	Beban Angin (W).....	84
4.3.5	Beban Gempa.....	86
4.3.6	Kombinasi Pembebanan.....	92
4.4	Analisa Permodelan	93
A.	Permodelan Komponen Struktur Tangga.....	93
B.	Besaran Massa	94
C.	Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa	95

D. Faktor Skala Gaya Bebean Gempa dengan Statik Ekuivalen SAP 2000 untuk SRPM	95
E. Kontrol Periode Fundamental SRPM	95
F. Kontrol Gaya Gempa Dinamis Struktur.....	97
4.5 Perhitungan Struktur Sekunder	99
4.5.1 Perhitungan Struktur Pelat	99
4.5.2 Perhitungan Struktur Tangga	118
4.7 Perhitungan Struktur Primer	133
4.7.1 Desain Struktur Balok Induk.....	133
4.6.2 Desain Struktur Balok Anak	172
4.6.3 Desain Struktur Sloof.....	210
4.6.4 Desain Struktur Kolom	245
4.6.5 Desain Struktur Bangunan Bawah	285
4.7 Perhitungan Volume Penulangan Kolom.....	303
4.7 Perhitungan Volume Penulangan Balok	307
4.8 Perhitungan Volume Penulangan Pelat.....	314
BAB V	319
PENUTUP	319
5.1 KESIMPULAN.....	319
5.2 SARAN	322
DAFTAR PUSTAKA	323

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi proyek pembangunan Gedung Apartemen Rosebay Surabaya	4
Gambar 2.1. Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Daerah Pamekasan	20
Gambar 2.2. Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Daerah Pamekasan	21
Gambar 2.3. Dimensi bidang pelat.....	25
Gambar 2.4. Dimensi bidang pelat.....	25
Gambar 2.5. Gaya lintang rencana balok untuk SRPMM.....	33
Gambar 2.6. Faktor kekakuan kolom.....	38
Gambar 2.7. Gaya lintang pada kolom	40
Gambar 2.9. Output SAP2000 Gaya Aksial	42
Gambar 2.9. Output PCACOL Diagram Interaksi P_u dan M_u	42
Gambar 3. 2 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan ...	50
Gambar 3. 3 Flow Chart Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen	51
Gambar 3. 4 Flow Chart Perhitungan Gempa.....	53
Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Tangga	57
Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Tangga	60
Gambar 3. 7 Flow Chart Perhitungan Tulangan Torsi Balok	62
Gambar 3. 8 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok	64

Gambar 3. 9 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok	66
Gambar 3. 10 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Kolom	70
Gambar 3. 11 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Kolom	72
Gambar 4. 1. Tipe Plat P1 450cm x 450cm	76
Gambar 4. 2. Sketsa Penampang Balok	76
Gambar 4. 3. Sketsa Tangga	82
Gambar 4. 4. Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik. Nilai $S_1 = 0,2$	88
Gambar 4. 5. Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek. Nilai $S_s = 0,5$	88
Gambar 4. 6. Permodelan Bangunan Dengan SAP2000.....	93
Gambar 4. 7. Input Beban Hidup	95
Gambar 4.8 Ketentuan Pada Analisa Pelat Lantai1	102
Gambar 4.9 Cross Momen Tangga	120
Gambar 4.10 Cross Momen Tangga	122
Gambar 4.11 Cross Momen Tangga	123
Gambar 4.12 Cross Momen Tangga	124
Gambar 4.13 Momen Tumpuan Tannga	124
Gambar 4.14 Momen Lapangan Tangga.....	125
Gambar 4.15 Momen Tumpuan Bordes.....	125
Gambar 4.16 Momen Torsi Pada Balok Bordes	128
Gambar 4.17 Momen Tumpuan Pada Balok Bordes	129

Gambar 4.18 Momen Lapangan Pada Balok Bordes.....	130
Gambar 4.16 Sketsa Balok Induk	134
Gambar 4.17 Momen Pada Balok Induk.....	135
Gambar 4.18 Momen Torsi Pada Balok Induk	136
Gambar 4.19 Momen Lentur Pada Balok Induk	136
Gambar 4.20 Gaya Geser Pada Balok Induk	137
Gambar 4.21 Gaya Axial Pada Balok Induk.....	137
Gambar 4.22 Sketsa Penampang Balok Induk 40/60.....	139
Gambar 4.23 Wilayah Geser Balok	161
Gambar 4.24 Sketsa Panjang Penyaluran	170
Gambar 4.25 Sketsa Balok Anak	173
Gambar 4.26 Momen Pada Balok Anak	174
Gambar 4.27 Momen Torsi Pada Balok Anak.....	174
Gambar 4.28 Momen Lentur Pada Balok Anak.....	175
Gambar 4.29 Gaya Geser Pada Balok Anak.....	175
Gambar 4.30 Gaya Axial Pada Balok Anak	176
Gambar 4.31 Sketsa Balok Anak	178
Gambar 4.32 Pembagian Wilayah Balok.....	199
Gambar 4.33 Sketsa Panjang Penyaluran	209
Gambar 4.41 Sketsa Kolom	247
Gambar 4.42 Gaya Axial Terhadap Beban (Dead).....	247
Gambar 4.43 Gaya Axial Terhadap Beban (Live)	247
Gambar 4.44 Gaya Axial Terhadap Kombinasi (1.2DL + 1.6LL)	248

Gambar 4.45 Gaya Axial Terhadap Kombinasi (1.2DL + 1.0LL+ 1.0Ex+0.3Ey).....	248
Gambar 4.46 Gaya Axial Terhadap Kombinasi (1.2DL + 1.0LL+ 1.0Ey+0.3Ex).....	248
Gambar 4.47 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kanan	248
Gambar 4.48 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	248
Gambar 4.49 Momen Arah Sumbu Y Tumpuan Kanan	249
Gambar 4.50 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	249
Gambar 4.51 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kanan	249
Gambar 4.52 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	249
Gambar 4.53 Momen Arah Sumbu Y Tumpuan Kanan	250
Gambar 4.54 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	250
Gambar 4.55 Diagram Faktor Panjang Tekuk	254
Gambar 4.56 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	257
Gambar Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	258
Gambar 4.57 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri	258
Gambar 4.58 Diagram Interaksi.....	261
Gambar 4.59 Diagram Interaksi.....	269
Gambar 4.60 Susunan Tulangan Rencana	275
Gambar 4.61 Output Peacol.....	277
Gambar 4.62 Output Grafik Peacol.....	279
Gambar 4.63 Sketsa Arah Gaya dan Momen Pada Kolom .	279
Gambar 4.64 Besaran Gaya dalam Pada SAP.....	287
Gambar 4.65 Brosur Tiang Pancang.....	288
Gambar 4.66 Sketsa Rencana Pemasangan Pancang	289

Gambar 4.67 Sketsa Efisiensi Tiang PANCANG	291
Gambar 4.68 Sketsa Rencana Pemasangan Pancang	295
Gambar 4.69 Ilustrasi Beban yang Bekerja pada Pondasi ..	298
Gambar 4.70 Tulangan Utama Atas.....	307
Gambar 4.71 Tulangan Utama Bawah.....	308
Gambar 4.72 Tulangan tekan Kiri.....	309
Gambar 4.73 Tulangan Tarik Kiri.....	309
Gambar 4.74 Tulangan Tekan Kanan	310
Gambar 4.75 Tulangan Tarik Kanan.....	311
Gambar 4.76 Tulangan Torsi	311
Gambar 4.77 Tulangan Sengkang.....	312

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel kategori resiko bangunan	13
Tabel 2.2. Tabel Faktor arah angin	14
Tabel 2.3. Tabel faktor topografi	16
Tabel 2.4. Tabel koefisien eksposur tekanan velositas	17
Tabel 2.5. Tabel takanan eksternal.....	18
Tabel 2.6. Tabel kelas situs tanah	20
Tabel 2.7. Tabel koefisien situs periode 0,2 detik.....	21
Tabel 2.8. Tabel koefisien situs periode 1 detik.....	22
Tabel 2.9. Tabel Kategori Resiko	23
Tabel 2.10. Tabel Faktor Keutamaan Gempa	23
Tabel 2.11. Tabel koefisien modifikasi respon	23
Tabel 2.12. Tabel pelindung beton.....	29
Tabel 2.13. Tabel Panjang Penyaluran.....	35
Tabel 4.1. Koefisien Tekanan Dinding	85
Tabel 4.2. Perhitungan Tekanan Angin	86
Tabel 4.3. Hasil Tes Tanah Pada Kec. Pamekasan	87
Tabel 4.4. SNI 1726-2012 Tabel 4.....	88
Tabel 4.5. SNI 1726-2012 Tabel 5.....	88
Tabel 4.6. Koefisien dan Parameter Percepatan Respons	90
Tabel 4.7. Rekapitulasi Berat Bangunan.....	92
Tabel 4.8. Nilai Parameter Periode Pendekatan, Ct dan x	96

Tabel 4.9. Koefisien Untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung	97
Tabel 4.10 Tabel Momen Pelat Berdasarkan Tipe.....	100
Tabel 4.11. Perhitungan Cross Tangga	121
Tabel 4.12. Kebutuhan Tulangan Pelat Tangga	126
Tabel 4.13. Kebutuhan Tulangan Pelat Bordes.....	127
Tabel 4.14. Untuk Panjang Penyaluran.....	168
Tabel 4.15. Faktor Lokasi Penulangan dan Faktor Pelapis.	169
Tabel 4.16. SNI 03-2847-2013 Penyaluran Batang Ulir.....	207
Tabel 4.17. Faktor Pelapis dan Faktor Lokasi Penulangan.	207
Tabel 4.19. Rekapitulasi Penulangan Lantai 1-4	285
Tabel 4.20. Data Tanah Hasil Uji SPT.....	287
Tabel 4.21. Momen Inersia dari Kelompok Tiang Pancang 292	
Tabel 4.22. Rekapitulasi Pile Cap.....	302
Tabel 4.23. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Kolom	306
Tabel 4.24. Rekapitulasi Jumlah Tulangan Kolom.....	306
Tabel 4.25. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Balok.	314
Tabel 4.26. Volume Plat P1 Arah Memanjang	314
Tabel 4.27. Volume Plat P1 Arah Melintang.....	314
Tabel 4.28. Volume Plat P2 Arah Memanjang	314
Tabel 4.29. Volume Plat P2 Arah Melintang.....	314
Tabel 4.30. Volume Plat P3 Arah Memanjang	315
Tabel 4.31. Volume Plat P3 Arah Melintang.....	315
Tabel 4.32. Volume Plat P4 Arah Memanjang	315

Tabel 4.33. Volume Plat P4 Arah Melintang.....	315
Tabel 4.34. Volume Plat P5 Arah Memanjang	315
Tabel 4.35. Volume Plat P5 Arah Melintang.....	316
Tabel 4.36. Volume Plat P6 Arah Memanjang	316
Tabel 4.37. Volume Plat P6 Arah Melintang.....	316
Tabel 4.38. Volume Plat P7 Arah Memanjang	316
Tabel 4.39. Volume Plat P7 Arah Melintang.....	316
Tabel 4.40. Volume Plat P8 Arah Memanjang	317
Tabel 4.41. Volume Plat P8 Arah Melintang.....	317
Tabel 4.42. Rekapitulasi Kebutuhan Plat.....	317
Tabel 4.43. Rekapitulasi Kebutuhan Plat.....	321
Tabel 4.44. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Balok.	321
Tabel 4.45. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Kolom	321
Tabel 4.46. Rekapitulasi Jumlah Tulangan Kolom.....	322

DAFTAR NOTASI

Acp	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2
Acv	= Luas efektif bidang geser dalam hubungan balok-kolom (mm^2)
Ag	= Luas bruto penampang (mm^2)
An	= Luas bersih penampang (mm^2)
Al	= Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2)
Ao	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2)
Aoh	= Luas penampang yang dibatasi oleh garis as tulangan sengkang (mm^2)
As	= Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
As'	= Luas tulangan tekan non prategang (mm^2)
At	= Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2)
Av	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau Luas 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^2)
bw	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)
Cc'	= Gaya pada tulangan tekan
Cs'	= Gaya tekan pada beton
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 prategang (mm)
D	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati

ex	= Jarak kolom kepusat kekakuan arah x
ey	= Jarak kolom kepusat kekakuan arah y
Ex	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa X
Ey	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y
Ec	= Modulus elastisitas beton (MPa)
Ib	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
Ip	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
fc'	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
fy	= Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa)
fvy	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
fys	= Kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)
h	= Tinggi total dari penampang
hn	= Bentang bersih kolom
Ln	= Bentang bersih balok
Mu	= Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
Mnb	= Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh
Mnc	= Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
Mn	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
Mnx	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x
Mny	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y
Mox	= Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x untuk aksial tekan yang nol
Moy	= Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y untuk aksial tekan yang nol
M1	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal,

- negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
- M2 = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada Komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
- M1ns = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M2ns = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- M1s = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M2s = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- Nu = Beban aksial terfaktor
- Pcp = keliling luar penampang beton (mm)
- Pb = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
- Pc = Beban kritis (N)
- Ph = Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi

P_n	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
P_o	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol
P_u	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
S	= Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan (N)
T_c	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton
T_n	= Kuat momen torsi nominal (Nmm)
T_s	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh Tulangan tarik
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm)
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
V_s	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
x	= Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang
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
α_m	= Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel
β	= Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
δ_{ns}	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
δ_s	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dasar dari perencanaan struktur tahan gempa adalah menghasilkan suatu struktur yang cukup kuat dan aman ketika terjadi gempa pada struktur tersebut. Oleh sebab itu, bangunan harus di desain secara khusus agar dapat menahan gempa yang terjadi sesuai SNI 1726 – 2012.

Salah satu sistem yang digunakan dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang dibagi menjadi tiga jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Seperti yang telah dijelaskan di dalam SNI 2847 – 2013.

Penyusunan Tugas Akhir terapan ini menggunakan Bangunan Gedung Apartemen Rosebay yang terletak di Kompleks Graha Family Blok W Surabaya. Bangunan yang terdiri dari 4 lantai dengan 1 dak dan 1 basement. Penyusunan Tugas Akhir Terapan ini berdasarkan standart kompetensi pada Program Studi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil maka perencanaan struktur Gedung Apartemen ini akan mengubah nama menjadi “Gedung Apartemen Rose Pamekasan“. Sistem yang digunakan dimodifikasi menjadi Single Sistem yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen, dan tidak lagi menggunakan Dual Sistem yaitu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Geser.

Metode yang digunakan untuk merencanakan perhitungan gempa yaitu analisa statik ekuivalen, sesuai dengan Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726 –

2012). Perencanaan bangunan gedung Apartemen Rose Pamekasan ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). SRPMM sendiri adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen – komponen strukturnya mampu menahan gaya – gaya yang bekerja melalui aksi, lentur, geser dan memenuhi ketentuan – ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa sesuai SBI 2847 – 2013 pasal 23, sehingga struktur dapat merespon gempa kuat tanpa mengalami keruntuhan struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mencegah terjadinya keruntuhan struktur akibat kurang kuatnya struktur dalam menagani beban – beban yang ada, maka studi ini merencanakan struktur gedung apartemen dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan sekaligus merealisasikan antara perhitungan dan gambar rencana.

1.3 Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memberikan sebuah laporan perhitungan struktur gedung dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai dengan aturan – aturan yang ada.
2. Dapat merencanakan penulangan struktur gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
3. Dapat mengaplikasikan dan menyaikan perhitungan perencanaan kedalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Perencanaan gedung ini hanya meninjau strukturnya saja, tidak meninjau analisa biaya, manajemen konstruksi, maupun segi arsitektural.
2. Perencanaan Gedung hanya 4 lantai.
3. Analisis beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan statik ekuivalen.
4. Perhitungan kebutuhan volume tulangan hanya meninjau pada salah satu portal.
5. Tidak menghitung lift.

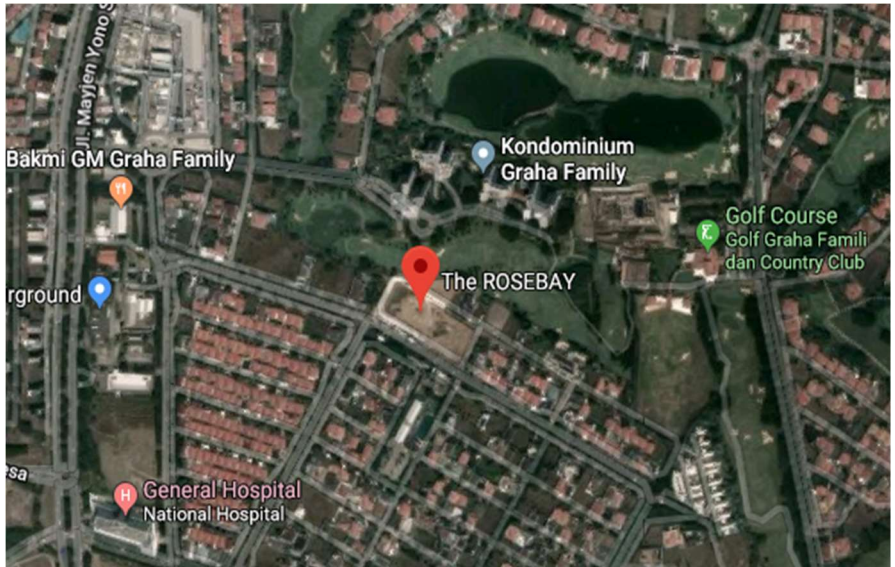
1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan Tugas Akhir Terapan ini adalah:

1. Bagi penulis, dapat mengetahui cara perhitungan struktur gedung dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Bagi Pembaca, mampu memberikan bahan bacaan berupa laporan perhitungan struktur dan gambar rencana dari gedung Apartemen “ROSE” Surabaya 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.

1.6 Lokasi Studi

Gedung Apartemen “Rosebay” Surabaya ini terletak di Perumahan Graha Family, Blok W, Surabaya, Jawa Timur, dengan peta lokasi sebagai berikut:



Gambar 1.1. Lokasi proyek pembangunan Gedung Apartemen Rosebay Surabaya

Data proyek pembangunan struktur gedung ini adalah sebagai berikut:

- Nama Proyek : Gedung Apartemen Rosebay Surabaya
- Lokasi Proyek : Kompleks Graha Family Blok W, Surabaya
- Fungsi Bangunan : Apartemen
- Jumlah Lantai : 4 lantai
- Pemilik Proyek : PT. Grande Family View
- Konsultan Perencana
 - Arsitektur : WOW Architect
 - Struktur : Benjamin Gideon & Associates
 - Mekanikal Elektrikal : Dian Sarana Indonesia
 - Quantity Surveyor : PT. Total Cipta Indonesia

- Kontraktor Konstruksi : PT. Pulauintan Bajaperkasa
- Luas Bangunan : 765 m²
- Struktur Atap : Pelat Beton
- Struktur Bangunan : Beton bertulang

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam merancang sebuah bangunan struktur, ada banyak hal yang harus diperhatikan. Tidak hanya material pembentuk struktur saja seperti baja atau beton. Tetapi juga fungsi gedung yang dipakai, apakah untuk apartemen, perkantoran, ruang arsip, sekolah atau rumah sakit. Dalam merancang sebuah bangunan struktur kita harus mengecek beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya :

- Sistem Rangka Pemikul Momen yang dipakai,
- Pembebanan,
- Daktilitas.

2.2 Data Bangunan

Informasi umum mengenai gedung yang akan direncanakan sebagai berikut:

1. Nama Bangunan : Apartemen “Rose”
Pamekasan
2. Fungsi Bangunan : Hunian
3. Lokasi : Kompleks Graha Family
Blok W Surabaya
4. Jarak dari Tepi Laut : 10 km
5. Jenis Tanah : Tanah Sedang
6. Gambar Struktur : (Terlampir)

Data gedung apartemen *Rose* yang akan direncanakan sebagai berikut:

1. Sistem Struktur : Sistem Tunggal
 2. Jumlah Lantai : 4 Lantai
 3. Struktur Utama : Struktur Beton Bertulang
- Denah gedung apartemen “*Rose*” berbentuk nyaris Persegi panjang, yang merupakan kategori bangunan

tidak simetris. Gedung eksisting dibangun tanpa dilatasi, maka perencanaan ini juga mengikuti keadaan eksisting, sehingga memerlukan beberapa pertimbangan jika sistem struktur gedung direncanakan tanpa dilatasi.

2.3 Studi Literatur

Studi referensi berupa buku pustaka, diktat pelajaran, penelitian terdahulu, jurnal konstruksi beton serat peraturan mengenai perencanaan struktur gedung secara umum dan perencanaan struktur beton prategang, yaitu:

- a. SNI 1727-2013 tentang "*Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur lain*".
- b. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.
- c. SNI 1726-2012 tentang "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*".
- d. SNI 2847-2013 tentang "*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*".
- e. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI) 1971.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen, atau momen 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. Dalam hal ini, bangunan 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 desain seismik (KDS) A dan B.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori desain seismik (KDS) A, B, dan C.
 3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori desain seismik (KDS) A, B, C, 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 memberikan kesempatan penghuni untuk menyelamatkan diri).
 - Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasarkan 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 coloumn weak beam* (Kolom kuat balok lemah)
 - Kerusakan dipaksakan terjadi pada balok.
 - Hubungan Balok Kolom harus didesain sesuai persyaratan gempa.

2.4.1 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 2847-2013:

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus

memenuhi ketentuan-ketentuan pasal 21.3.2, bila beban aksial terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi ($A_g \cdot f_c' / 10$). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi $A_g \cdot f_c' / 10$, maka pasal 21.3.5 harus dipenuhi. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya 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:
 - a. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor, atau
 - b. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

2.5 Pembebanan

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

2.5.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural

dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Seseuai 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. Berat plafond
 - c. Berat instalasi listrik, AC, dll.
2. Beban mati pada pelat lantai
 - a. Berat sendiri pelat
 - b. Berat keramik
 - c. Berat spesi
 - d. Berat plafond
 - e. Berat instalasi listrik, AC, dll
3. Beban mati pada pelat lantai lobby
 - a. Berat sendiri pelat
 - b. Berat keramik
 - c. Berat spesi
 - d. Berat plafond
 - e. Berat 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. Berat keramik
 - c. Berat spesi

2.5.2 Beban Hidup

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. Sesuai SNI

1727 – 2013 pasal 4.1-6.

2.5.3 Beban Hidup Atap

Beban pada atap yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material. Serta akibat benda bergerak selama masa layanan struktur seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian sesuai SNI 1727 – 2013 pasal 4.1-7

2.5.4 Beban Angin

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

- a. Kategori resiko bangunan

Tabel 2.1. Tabel kategori resiko bangunan

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Resiko
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 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.	III
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. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.	IV

Catatan :

*Jenis bangunan sesuai Tabel 1 SNI 1726-2012

^aBangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap kategori resiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan dengan suatu penilaian bahaya seperti yang dijelaskan dalam pasal 1.5.3 bahwa pelepasan zat sepadan dengan resiko terkait dengan kategori resiko.

- b. Kecepatan angin dasar (V)
Kecepatan angin dasar dan arah angin didapatkan dari BMKG Jawa Timur.
- c. Parameter beban angin
 - Faktor arah angin (K_d)
Faktor arah angin, K_d , harus ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2.2. Tabel Faktor arah angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,85
Bundar	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	0,85
Penampang lainnya	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 1500 ft (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 2500ft (792m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.
 2. **Eksposur C:** Eksposur C berlaku untuk semua kasus dimana Eksposur B atau D tidak berlaku.
 3. **Eksposur D:** Eksposur D berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana

ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5000 ft (1524m) 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 (183m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya. Situs yang terletak di zona transisi antara kategori exposure, harus menggunakan hasil kategori di gaya angin terbesar.

4. **Pengecualian:** Eksposur menengah antara kategori sebelumnya diperbolehkan di zona transisi asalkan itu ditentukan 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} .

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

dimana 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 2.3. Tabel faktor topografi

Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing						
Bentuk bukit	$K_z/(H/L_n)$			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 $K_z/(H/L_n)$)	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 tertutup

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”.
- d. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h)

Berdasarkan katego eksposur yang telah ditentukan, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h ,

sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2.4. Tabel koefisien eksposur tekanan velositas

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
ft	(m)			
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)	0,78	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 $z < 15 \text{ ft}$

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{0,425} \quad K_z = 2,01(15/z_g)^{0,425}$$

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

e. Tekanan velositas (q atau q_h)

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

$$qz = 0,613K_zK_{zt}K_dV_2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

dimana:

K_d = faktor arah angin

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas

K_{zt} = faktor topografi tertentu

V = kecepatan angin dasar

qz = tekanan velositas dihitung pada ketinggian z

q_h = Tekanan velositas dihitung pada ketinggian atap rata-rata h .

Koefisien numerik 0,613 harus digunakan

pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif.

G = faktor efek tiupan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

(GC_{pi}) = koefisien tekanan internal

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

2.5.5 Beban Gempa

Tata cara untuk 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. Berikut adalah tata cara perhitungan beban gempa:

1. Perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata.

$$N_{rata-rata} = \frac{\sum di}{\sum \frac{di}{N_i}}$$

2. Nilai NSPT dapat menentukan kelas situs tanah dengan tabel berikut:

Tabel 2.6. Tabel kelas situs tanah

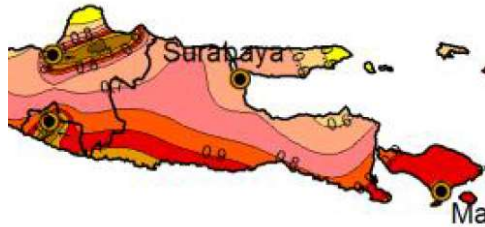
Kelas Situs	\bar{v}_g (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{eh}	\bar{s}_{u_i} (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah Lunak)	<175	<15	<50
	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)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, 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 $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

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



Gambar 2.1. Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Daerah Pamekasan



Gambar 2.2. Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Daerah Pamekasan

4. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2.7. Tabel koefisien situs periode 0,2 detik

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 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 2.8. Tabel koefisien situs periode 1 detik

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S _I				
	S _I ≤ 0,25	S _I = 0,5	S _I = 0,75	S _I = 1,0	S _I ≥ 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}).

$$S_{MS} = Fa \times S_S$$

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

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

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

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} \times S_{Ms}$$

8. Parameter percepatan spektral desai untuk periode 1 detik.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

9. Menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan

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

10. Menentukan Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan.

Tabel 2.9. Tabel Kategori Risiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan ; rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Tabel 2.10. Tabel Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I</i>)
II	1,0

11. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (*R*)

Tabel 2.11. Tabel koefisien modifikasi respon

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon, <i>R</i>	Faktor Kuat- lebih sistem, Ω_k	Faktor Pembesaran Defleksi, <i>C_d</i>	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, <i>h_n</i> (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

12. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (*V*).

$$V = C_s \times W$$

$$V = \frac{S_{DS}}{R} \times W$$

$$T$$

13. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik per Lantai (*F*)

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_i \cdot h_i^k} \times V$$

14. Input ke dalam SAP 2000 gaya geser seismik per lantai.

2.5.6 Kombinasi Pembebanan

Beban – beban yang ada harus dikombinasikan agar mendapat kekuatan perlu bangunan. Berikut adalah kekuatan perlu dari kombinasi beban terfaktor berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 9.2:

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. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5R$
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. $0,9D + 1,0EY$

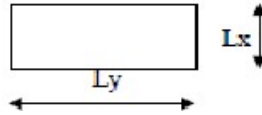
2.6 Perencanaan Struktur Sekunder

2.6.1 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 beban kerja.

2.6.1.1 Perencanaan ketebalan Pelat

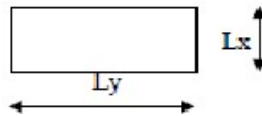
- Perencanaan pelat satu arah (*One way slab*)
Pelat satu arah terjadi apabila $l_y/l_x > 2$; dimana L_x = bentang pendek dan L_y bentang panjang seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.3. Dimensi bidang pelat

Tebal minimum yang ditentukan dalam tabel 2.11 berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.2.1, 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 digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

- Perencanaan pelat dua arah (*Two way slab*)
Pelat satu arah terjadi apabila $l_y/l_x > 2$; dimana L_x = bentang pendek dan L_y bentang panjang seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.4. 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

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta[\alpha_m - 0,2]}$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm.

- c. Untuk $\alpha_m > 2$ ketebalan minimum pelat harus memenuhi

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Dimana:

L_n : Panjang bentang bersih pada arah memanjang konstruksi dua arah

f_y : Tegangan leleh

β : Rasio bentang bersih

α_m : Nilai rata-rata dari α untuk sebuah balok

α : Rasio kekakuan lentur penampang balok

2.6.1.2 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). Perhitungan momen-momen yang terjadi dalam pelat berdasarkan perhitungan manual menggunakan acuan PBBI 1971 untuk pelat dua arah dan SNI 2847-2013 untuk pelat satu arah.

2.6.1.3 Perhitungan penulangan pelat

- a. Analisis struktur pelat

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

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p} > 1$$

Dimana:

E_{cb} : Modulus elastisitas balok

E_{cp} : Modulus elastisitas pelat

I_b : Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p : Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

b. Rasio penulangan pelat

SUMBER	PERSAMAAN
SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1	$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
SNI-03-2847-2013 Lampiran B.8.4.2	$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
SNI-03-2847-2013 Lampiran B.10.3.3	$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$
Wang, C. Salmon hal. 55 pers. 3.8.4.a	$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$
Wang, C. Salmon hal. 55 pers. 3.8.4.a	$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$

Jika $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka ρ_{perlu} dinaikkan 30%.

c. Kontrol jarak spasi tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 13.3.2,

$$S_{max} < 2h$$

d. 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.

e. 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 dari 450 mm sesuai SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.2.

2.6.2 Tangga

2.6.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Perencanaan dimensi anak tangga dan bordes.

- Merencanakan dimensi tahanan dan injakan

dengan:

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

Keterangan:

t = tinggi injakan < 25 cm

i = lebar injakan, 25 cm < i < 40 cm

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \left(\frac{t}{i} \right)$$

Syarat sudut kemiringan tangga

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

- Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

- Tebal efektif pelat anak tangga

Perhitungan tebal efektif pelat anak tangga menggunakan perbandingan 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 + $\frac{1}{2} d$

2.6.2.2 Pembebanan Tangga

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

- Beban Mati
 - Berat sendiri
 - Spesi
 - Berat railing
 - Keramik
- Beban hidup pada tangga berdasarkan SNI 1727-2013 Tabel 4-1.

2.6.2.3 Penulangan Struktur Tangga

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

2.7 Perencanaan Struktur Primer

2.7.1 Balok

2.7.1.1 Perencanaan dimensi balok

Perencanaan dimensi balok menggunakan SNI 2847-2013, Tabel 9.5 (a).

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/16$.
- Komponen struktur balok anak sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/21$.
- Apabila kuat leleh lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

2.7.1.2 Syarat Pelindung Beton

Syarat pelindung beton sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1

Tabel 2.12. Tabel pelindung beton

Keterangan	Tebal selimut minimum (mm)
a. Beton yang di cor diatas dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b. Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D19 hingga D57 Batang D16, kawat M-16 ulir atau	50 40

polos, dan yang lebih kecil	
c. Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau berhubungan dengan tanah: <u>Pelat, dinding, balok usuk:</u> Batang D44 dan D57	40
Batang D36 dan yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom:</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u> Batang D19 dan yang lebih besar	20
Batang D16, kawat ulir atau polos dan yang lebih kecil	13

2.7.1.3 Perhitungan Momen dan Gaya Dalam pada Balok

Momen-momen balok akibat beban terbagi rata q per-satuan panjang balok, didapatkan dari output analisa program bantu SAP 2000.

2.7.1.4 Perhitungan Tulangan

- **Perhitungan Tulangan Lentur**

- Tentukan momen tumpuan dan lapangan pada balok dari output program bantu SAP 2000.
- Rencanakan $f_c', f_y, d, d',$ dan d'' .
- Hitung rasio penulangan balok

$$m = \frac{fy}{0,85fc},$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_b = \frac{0,85fc'\beta}{fy} \times \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right]$$

Dimana:

Mn : momen nominal penampang

Mu : momen ultimate penampang

ϕ : faktor reduksi

ρb : rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

Cc : selimut bersih dari permukaan tarik terdekat ke permukaan tulangan tarik lentur

Asc : luas tulangan tarik non-prategang

Mns : momen akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti pada struktur

Mnc : momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan

- Kontrol jarak spasi tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 7.6.2

$$s = \frac{(bw - 2 \times decking) - (2 \times \emptyset tul. sengkang) - (n \times \emptyset tul. utama)}{n - 1} > 25 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan momen penampang
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 22.5.1

$$Mn^o \geq \frac{Mu}{\phi}$$

- **Perhitungan Tulangan Torsi**

Berdasarkan SNI 2847-2013, pasal 11.5.1.a. Pengaruh puntir pada struktur non-prategang dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$T_u = \varphi \times 0,083 \times \lambda \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir (SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.5)

$$\varphi T_u \geq T_u$$

Sedangkan tulangan sengkang yang dibutuhkan untuk menahan puntir (SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.6)

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana:

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = kuat momen puntir nominal

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

P_{cp} = keliling luar penampang beton

- **Perhitungan Tulangan Geser**

Kekuatan geser nominal beton bertulang V_n pada dasarnya merupakan kombinasi kekuatan antara geser yang mampu dipikul beton V_c dengan kekuatan geser yang mampu dipikul oleh baja tulangan V_s atau dalam persamaan dapat ditulis berdasarkan SNI 2487-2013 Pasal 11.1.1.

$$\varphi V_n \geq V_u$$

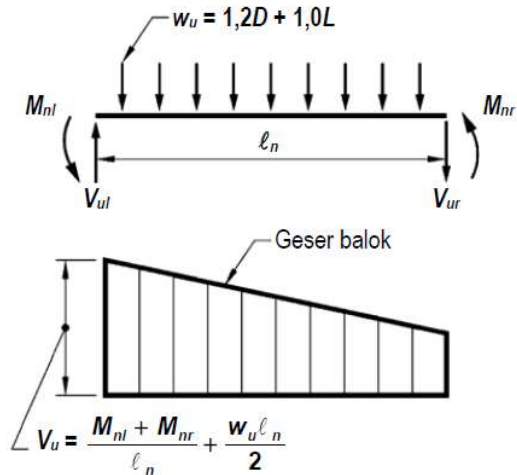
$$V_n = V_c + V_s$$

- Kuat geser beton (V_c) dihitung berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.2.1.1.

- $V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times bw \times d$
- Kuat geser tulangan (V_s) dihitung berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.4.5.3
 $V_s \text{ min} = 0,33 bw d$
 $V_s \text{ max} = 0,33 \sqrt{f'c'} bw d$
 - Luasan tulangan geser dihitung berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.4.6.3

$$A_v = \frac{0,35 \times bw \times s}{f_{yt}}$$

Nilai kuat geser terjadi (V_u) didapatkan menggunakan rumus berikut:



Gambar 2.5. Gaya lintang rencana balok untuk SRPMM

Dimana:

V_u : gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai

M_n kiri : momen nominal penampang kiri

M_n kanan: momen nominal penampang kanan

W_u : beban terfaktor per unit luas

(kombinasi pembebanan)

Ln : bentang bersih balok

- Adapun persyaratan perhitungan tulangan geser adalah:

- Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

- Kondisi 2 (Perlu tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min}$$

$$Av = \frac{0,35 \times bw \times s}{fyt}$$

$$Smax \leq \frac{d}{2} \text{ dan } Smax \leq 600$$

- Kondisi 3 (Perlu tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmin)$$

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min}$$

$$Av = \frac{0,35 \times bw \times s}{fyt}$$

$$Smax \leq \frac{d}{2} \text{ dan } Smax \leq 600$$

- Kondisi 4 (Perlu tulangan geser minimum)

$$\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmax)$$

$$Vs \text{ perlu} = Vu - \emptyset Vc$$

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

$$Smax \leq \frac{d}{2} \text{ dan } Smax \leq 600$$

- Kondisi 5 (Perlu tulangan geser minimum)

$$\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vsmax)$$

$$Vs \text{ perlu} = Vu - \emptyset Vc$$

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

$$Smax \leq \frac{d}{2} \text{ dan } Smax \leq 300$$

- Kondisi 6 (Perbesar penampang)

$$V_s > 2V_s \text{ max}$$

Dimana:

V_n : tegangan geser nominal

V_c : kuat geser nominal beton

V_s : kuat geser nominal tulangan geser

A_v : luas tulangan geser

- **Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan**

Berdasarkan SNI 2847-2013, Tabel 12. Panjang penyaluran (l_d), dinyatakan dalam diameter d_b . Nilai l_d tidak boleh kurang dari 300 mm. Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai l_d/d_b harus diambil sebagai berikut.

Tabel 2.13. Tabel Panjang Penyaluran

	Batang tulangan atayu kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut nersih tidak kurang dari d_b	$\left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$	$\left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$
Kasus-kasus lain	$\left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$	$\left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$

- Panjang penyaluran (l_d) dalam mm, untuk batang ulir yang berbeda dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{db} . Nilai l_d tidak boleh kurang dari 200 mm.
- Panjang penyaluran dasar l_{db} harus diambil sebesar yang terbesar (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4)

$$\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} d_b$$

- Dan tidak kurang dari $0,043 \times d_b \times f_y$.

2.7.1.5 Ketentuan-ketentuan Perhitungan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Ketentuan perhitungan balok untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) diatur didalam SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4

- a. Ketentuan 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 seberang penampang panjang balok tidak boleh kutang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.
- b. Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. 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):
 - a) $d/4$;
 - b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
 - d) 300 mm.
- c. Sengkang harus dipastikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok.

2.7.2 Kolom

2.7.2.1 Perencanaan dimensi kolom

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

Dimana:

- Ikolom = inersia kolom $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$
 Lkolom = tinggi bersih kolom
 Ibalok = inersia balok $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$
 Lbalok = panjang bersih balok

2.7.2.2 Perhitungan penulangan kolom

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

$$EI = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d}$$

Dimana :

E_c = modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f'c'}$

I_g = momen inersia penampang kolom = $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$

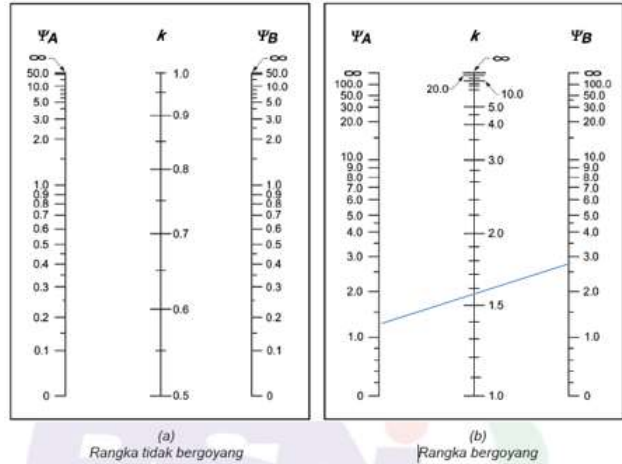
E_s = modulus elastisitas baja = 200000 Mpa

βd = rasio dari beban mati aksial terfaktor minimum terhadap beban maksimal terfaktor maksimum

3. Hitung faktor kekakuan ujung kolom atas dan bawah (ψ_a dan ψ_b) berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.10.7

$$\psi_a = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right) \text{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right) \text{balok}}$$

4. Hitung faktor panjang efektif
 Dalam penerapannya dipergunakan nomogram seperti pada gambar.



Gambar 2.6. Faktor kekakuan kolom

ψ = adalah rasio $\Sigma \left(\frac{Ei}{L} \right)$ komponen struktur tekan terhadap $\Sigma \left(\frac{Ei}{L} \right)$ 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 kelangsingan

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) atau kolom tanpa pengaku (unbraced), maka sebab itu perlu dilakukan kontrol sesuai dalam SNI 2847-2013, pasal 10.10.

- Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (braced) terhadap goyangan

menyamping:

$$\frac{K \times Lu}{r} \leq 22$$

- Untuk komponen struktur tekan yang dibresing (braced) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{K \times Lu}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M1}{M2} \right) \leq 40$$

Dimana:

M1 = momen terkecil ujung kolom

M2 = momen terbesar ujung kolom

6. Hitung beban kritis (P_c) berdasatrkan SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(K \cdot lu)^2}$$

7. Faktor pembesaran momen (δ_{ns} dan δ_s)

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

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{\Sigma Pu}{0,75 \Sigma P_c} \right)} \geq 1$$

$$M_c = \delta_s M_2$$

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

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Sigma Pu}{0,75 \Sigma P_c} \right)} \geq 1$$

$$M1 = M1_{ns} + \delta_s M1_s$$

$$M2 = M2_{ns} + \delta_s M2_s$$

- **Perhitungan Penulangan lentur**

1. Hitung nilai β

2. Hitung nilai M_{ux} dan M_{uy} (nilai terbesar dari M1 atau M2)

3. Hitung $\frac{\phi P_n}{A_g}$ dan $\frac{\phi M_n}{A_g}$

4. Tentukan nilai ρ_{perlu} yang didapatkan dari diagram interaksi

5. Hitung $A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$

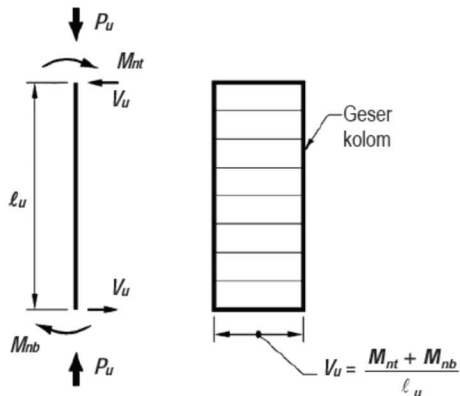
• **Perhitungan Penulangan Geser**

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \left[1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

Untuk mendapatkan nilai V_u pada kolom diperoleh dari rumus berikut:

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_n}$$



Gambar 2.7. Gaya lintang pada kolom

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

2.7.2.3 Ketentuan-ketentuan perhitungan kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Ketentuan perhitungan kolom Sistem Rangka

Pemikul Momen Menengah (SRPMM) berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5

1. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi S_o sepanjang panjang L_o diukur dari muka joint. Spasi S_o 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. 300 mm

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. 500 mm
2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $S_o/2$ dari muka joint.
3. Di luar panjang L_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.14.
4. Kolom yang menuumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, S_o , 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 $A_g f_c'/10$. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $A_g f_c'/10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f_c'/4$. Tulangan transversal ini harus menerus di atas dan di bawah kolom seperti yang disyaratkan

dalam 21.6.4.6(b)

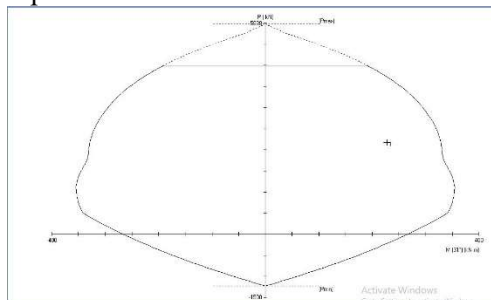
2.8 Program Bantu SAP2000 dan PCACOL

- SAP2000 merupakan program analisis struktur yang lengkap namun mudah dioperasikan. Prinsip utama program ini adalah analisa struktur, eksekusi analisis, dan pemeriksaan desain yang dimana semuanya dilakukan dalam satu tampilan. Tampilan berupa model secara real time sehingga memudahkan pengguna melakukan prmodelas secara menyeluruh, baik permodelan 2D maupun 3D. Selain itu output yang dihasilkan dapat ditampilkan sesuai kebutuhan baik berupa grafik, model struktur maupun tabel.



Gambar 2.9. Output SAP2000 Gaya Aksial

- PCACOL merupakan program analisis dan desain kolom beton bertulang. PCACOL pada umumnya digunakan untuk mencari kapasitas penampang kolom yang dimana harus melakukan input gaya aksial (P_u) dan Momen (M_u). Output dari PCACOL dapat berupa grafik, diagram interaksi, dan laporan hasil kapasitas kolom..



Gambar 2.9. Output PCACOL Diagram Interaksi P_u dan M_u

BAB III METODOLOGI

Langkah – langkah dalam perencanaan struktur bangunan gedung Apartemen “Rose” Pamekasan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan pencarian data untuk keperluan desain gedung, meliputi :

- a. Data Gambar
Pengumpulan gambar rencana. Dimana gambar rencana tersebut akan digunakan untuk menentukan dimensi komponen–komponen struktur gedung.
- b. Data Perencanaan
 - o Data umum bangunan
 - Nama Gedung : Apartemen “Rose” Pamekasan
 - Lokasi : Pamekasan
 - Luas Bangunan : 765 m²
 - Tinggi Bangunan: 14.4 m
 - o Data bahan
 - Mutu beton (fc’) : 30 Mpa
 - Baja Tulangan Lentur (fy) : 400 Mpa
 - Baja Tulangan Geser (fy_s) : 240 Mpa
- c. Data tanah untuk perencanaan
- 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 (PBTI 1971)

- e. Literatur dari berbagai 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:

- a. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
- b. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung (SNI 1726 - 2012).
- c. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).
- d. Peraturan Beton Bertulang Indonesia.1971. (PBBI 1971)
- e. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB
- f. Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya: ITS Press.

3.3 Penentuan Kriteria Desain

Modifikasi Gedung Apartemen “Rose” Pamekasan ini berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung, dengan data sebagai berikut:

- Tipe Bangunan : Apartemen (Kategori risiko II)
- Klasifikasi Situs Tanah : SD (Tanah Sedang)
- Kategori Desain Seismik : C

Sistem struktur harus didesain menggunakan penahan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur, sehingga Gedung Apartemen “Rose” Pamekasan ini direncanakan menggunakan sistem struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

3.4 Preliminary Desain

3.4.1 Penentuan Dimensi Balok

Perencanaan lebar efektif balok sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 8.12 dan pasal 9.5.

3.4.2 Penentuan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 8.10.

3.4.3 Penentuan Dimensi Pelat

- a. Perencanaan pelat satu arah sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 9.5
- b. Perencanaan pelat dua arah sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 9.5
- c. Penulangan pelat sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7
- d. Penulangan susut dan suhu sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12

3.4.4 Preliminary Tangga

Perencanaan Tangga sesuai dengan acuan dan peraturan yang ada

3.5 Perhitungan Pembebanan

3.5.1 Beban Mati

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

3.5.2 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.

3.5.3 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.

3.5.4 Beban Gempa

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

3.6 Permodelan Struktur

Perhitungan struktur bangunan ini menggunakan analisis Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan menggunakan program bantu komputer yaitu SAP 2000. Komponen-komponen struktur dari gedung yang dimodelkan antara lain balok, kolom, pelat lantai, tangga, atap, sloof dan pondasi. Pada program SAP 2000 diasumsikan menggunakan perletakan jepit pada permodelan struktur bangunan.

Perencanaan terhadap gempa menggunakan analisa pembebanan dengan menggunakan beban gempa “Statik Ekuivalen”.

3.7 Analisa Gaya Dalam

3.7.1 Analisa Gaya Dalam Pelat

Perhitungan momen yang terjadi pada pelat berdasarkan pada tabel 13.3.1 dan 13.3.2 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBTU) 1971 dan SNI 2847 – 2013.

3.7.2 Analisa Gaya Dalam Balok

Perhitungan gaya dalam yang terjadi pada balok menggunakan program bantu yaitu SAP 2000 v.14

3.7.3 Analisa Gaya Dalam Kolom

Perhitungan gaya dalam yang terjadi pada kolom, menggunakan program bantu yaitu SAP 2000 v.14 untuk mencari gaya dalam yang berupa torsi (T), aksial (P), dan geser (D). Sedangkan PCACOL 4.5 untuk mengecek kapasitas penampang kolom.

3.8 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 table penulangan yang terpakai pada elemen struktur yang di hitung (struktur atas dan struktur bawah)
5. Gambar detail penulangan

3.9 Cek Syarat

1. Pelat
 - Kontrol jarak spasi tulangan
 - Kontrol jarak spasi tulangan susut
 - Kontrol perlu tulangan susut
 - Kontrol lendutan
2. Balok
 - Kontrol $M_n \text{ pasang} \geq M_n$ untuk penulangan lentur
 - Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 5 kondisi
3. Kolom
 - Kontrol kemampuan kolom

- Kontrol momen yang terjadi M_n pasang $\geq M_n$

3.10 Gambar Rencana

3.10.1 Gambar Arsitektur

- a. Gambar denah
- b. Gambar tampak

3.10.2 Gambar Potongan

- a. Potongan memanjang
- b. Potongan melintang

3.10.3 Gambar Penulangan

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

3.10.4 Gambar Detail

- a. Gambar detail panjang penyaluran

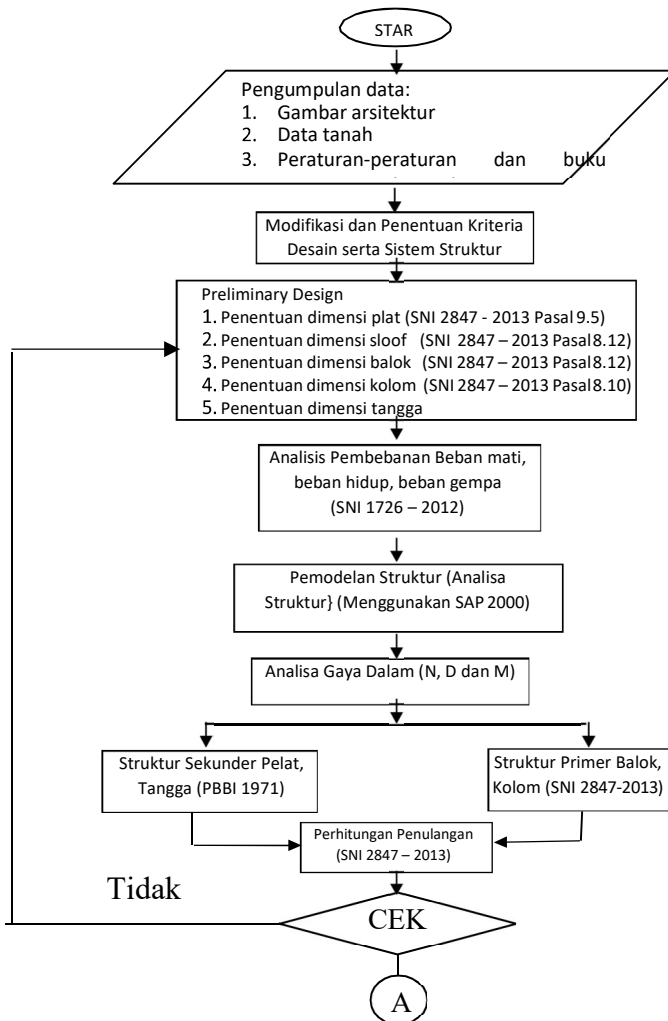
3.10.5 Gambar Struktur

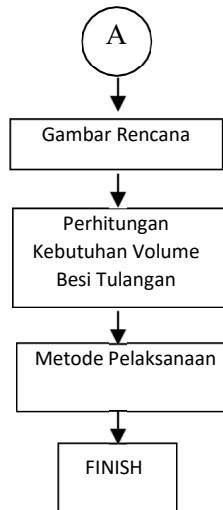
- a. Gambar balok
- b. Gambar kolom
- c. Gambar sloof

3.11 Flow Chart

3.11.1 Proses Perencanaan Struktur

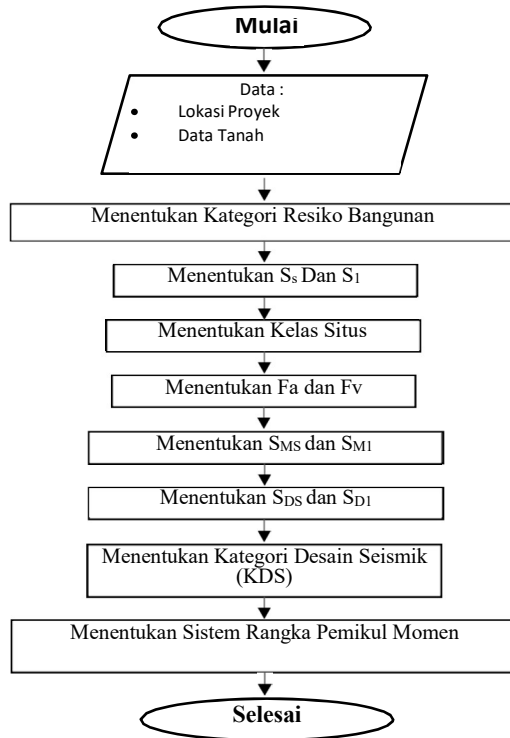
Langkah-langkah dalam Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Apartemen Rose Surabaya dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :





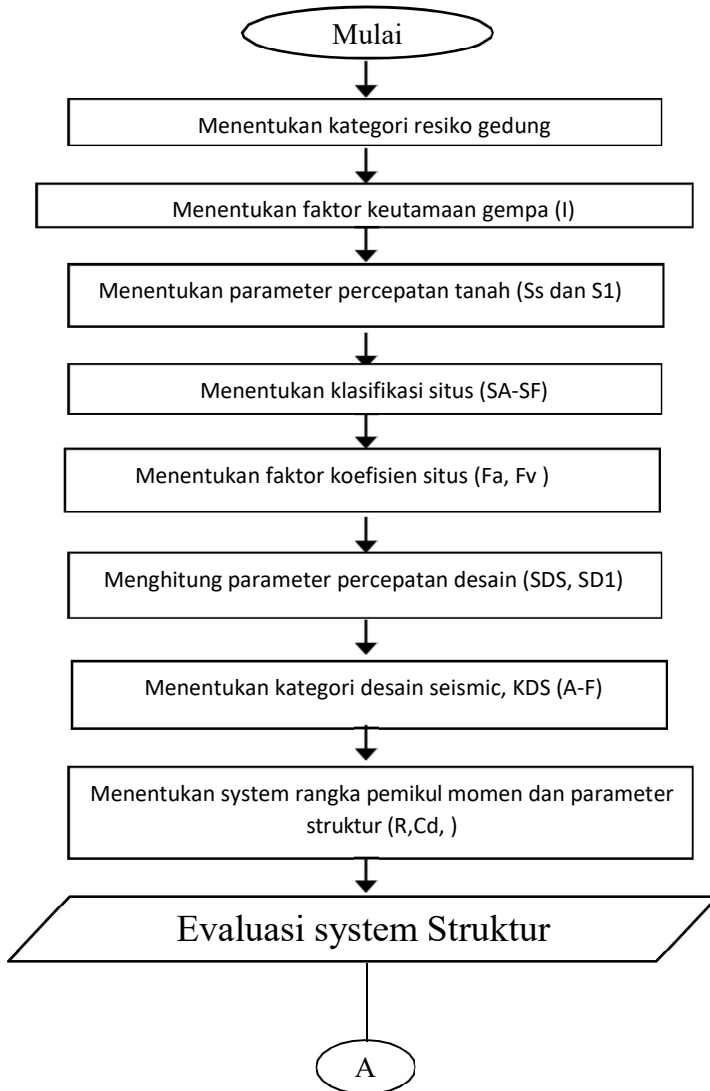
Gambar 3. 2 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan

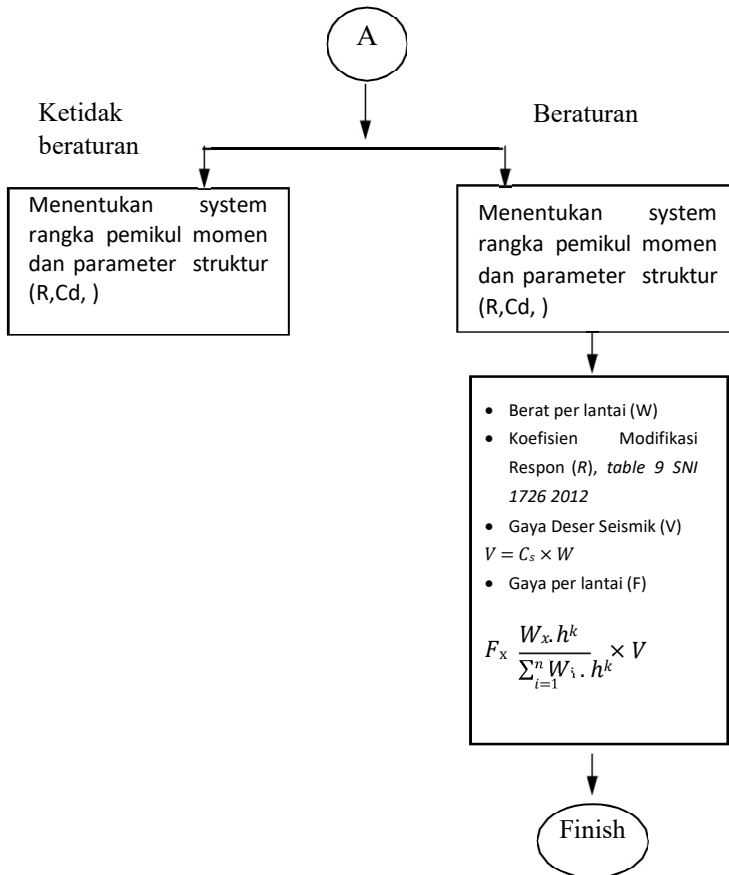
3.11.2 Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen



Gambar 3. 3 Flow Chart Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen

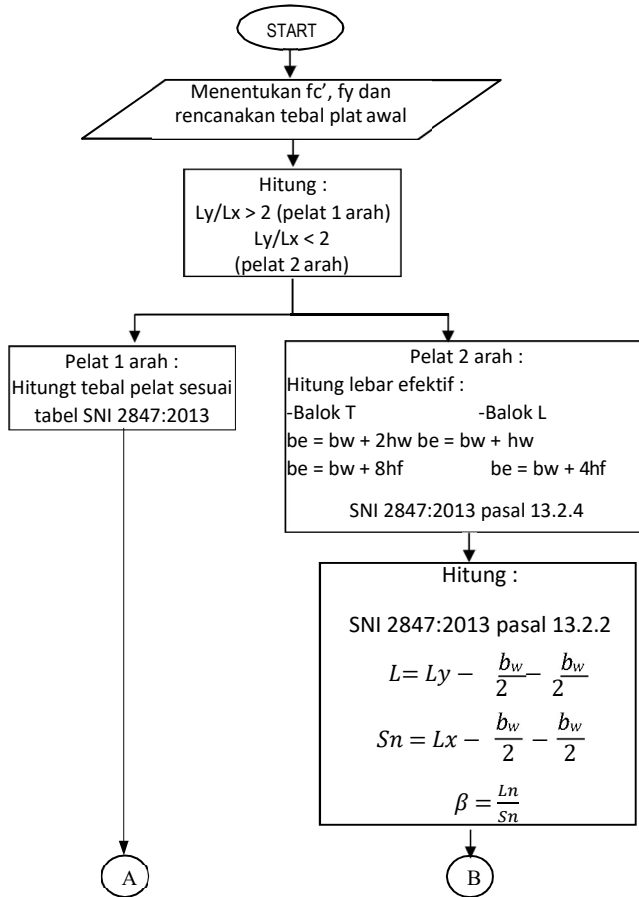
3.11.3 Gempa

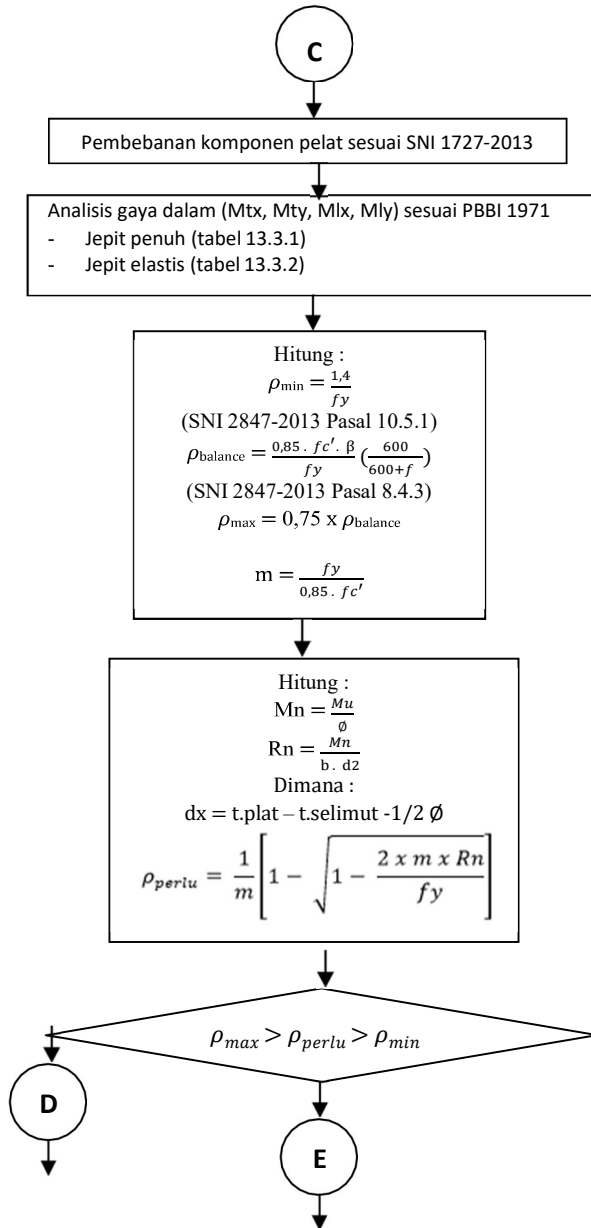


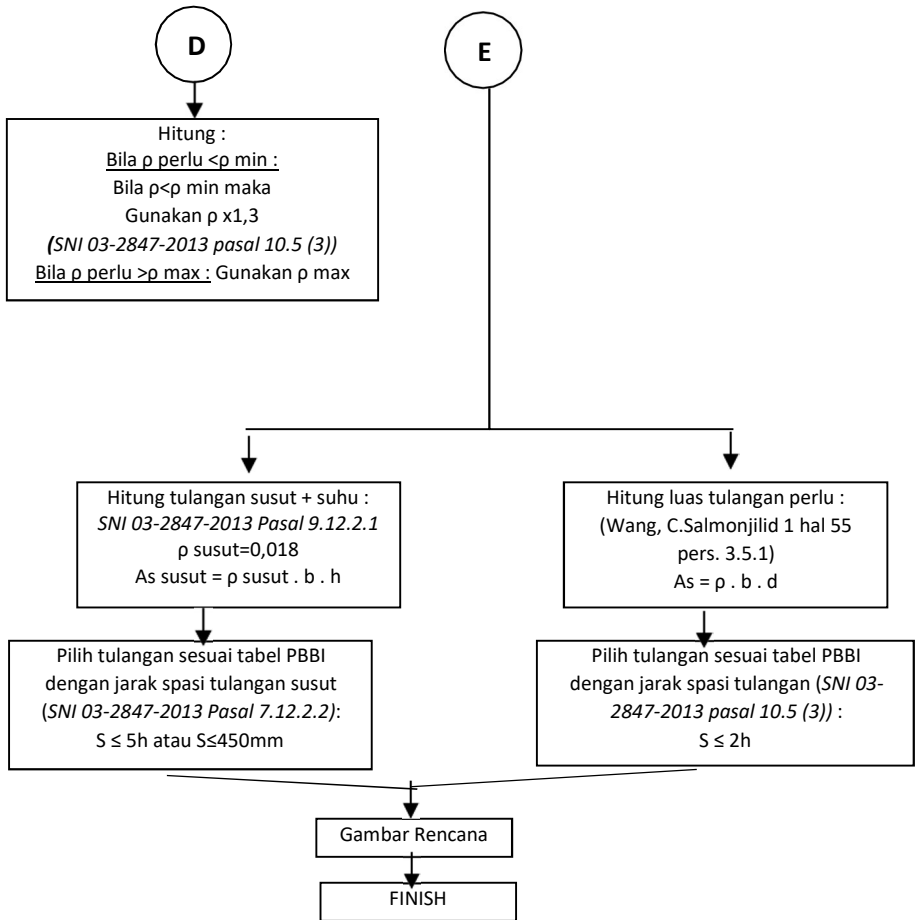


Gambar 3. 4 Flow Chart Perhitungan Gempa

3.11.4 Pelat

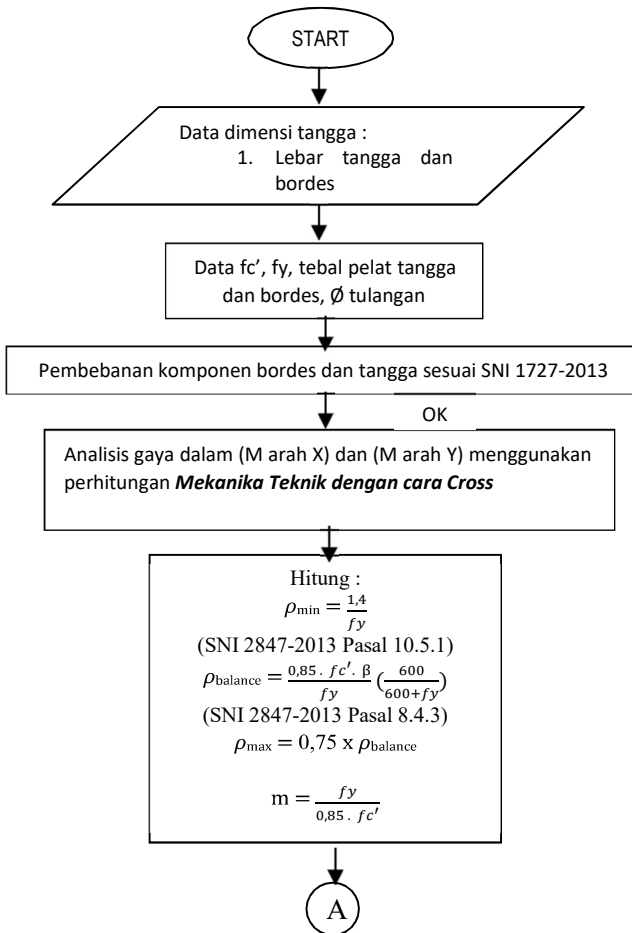


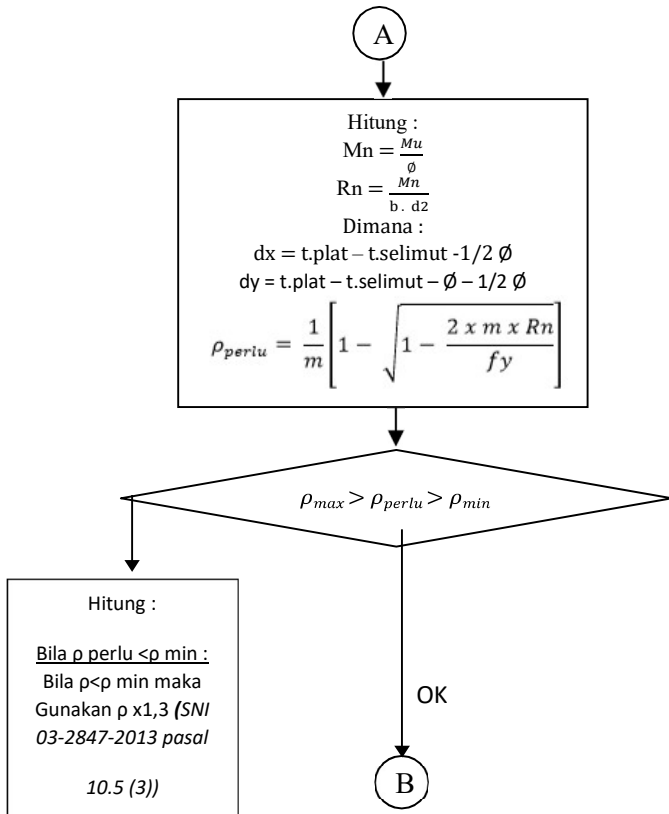


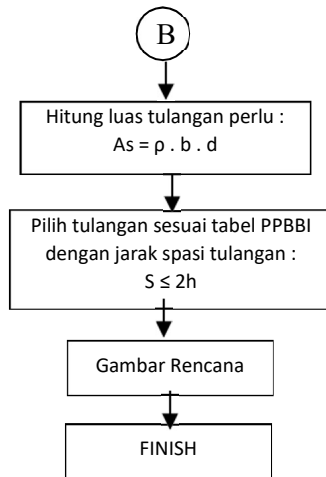


Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Tangga

3.11.5 Tangga

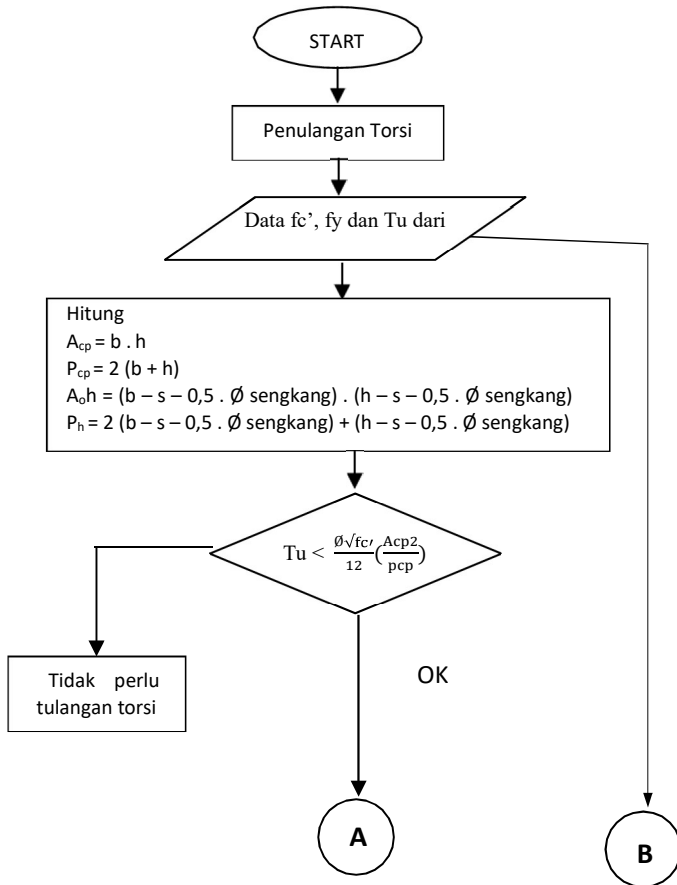


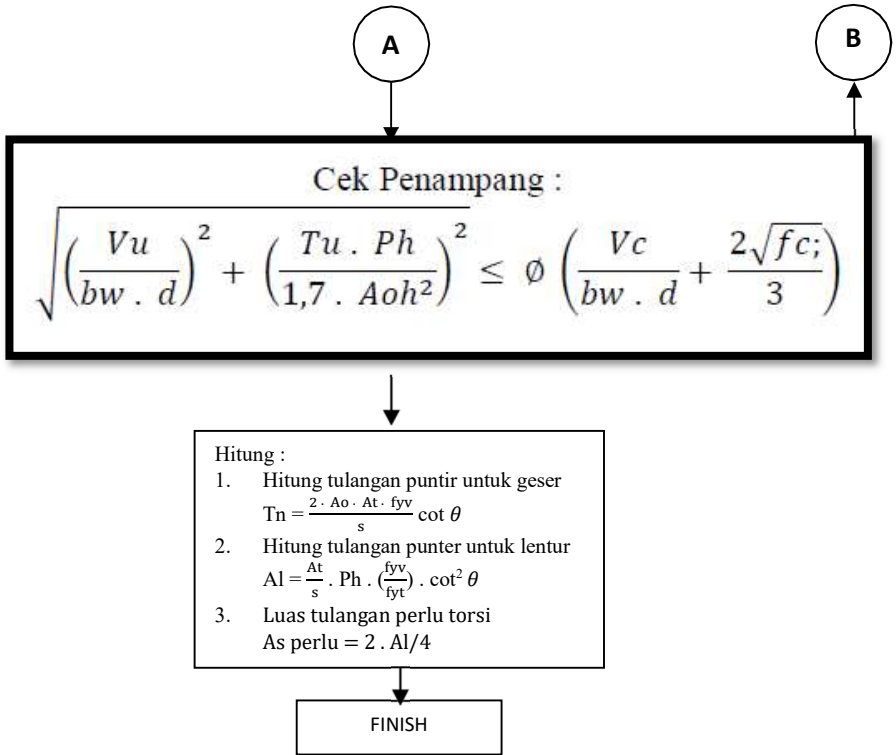




Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Tangga

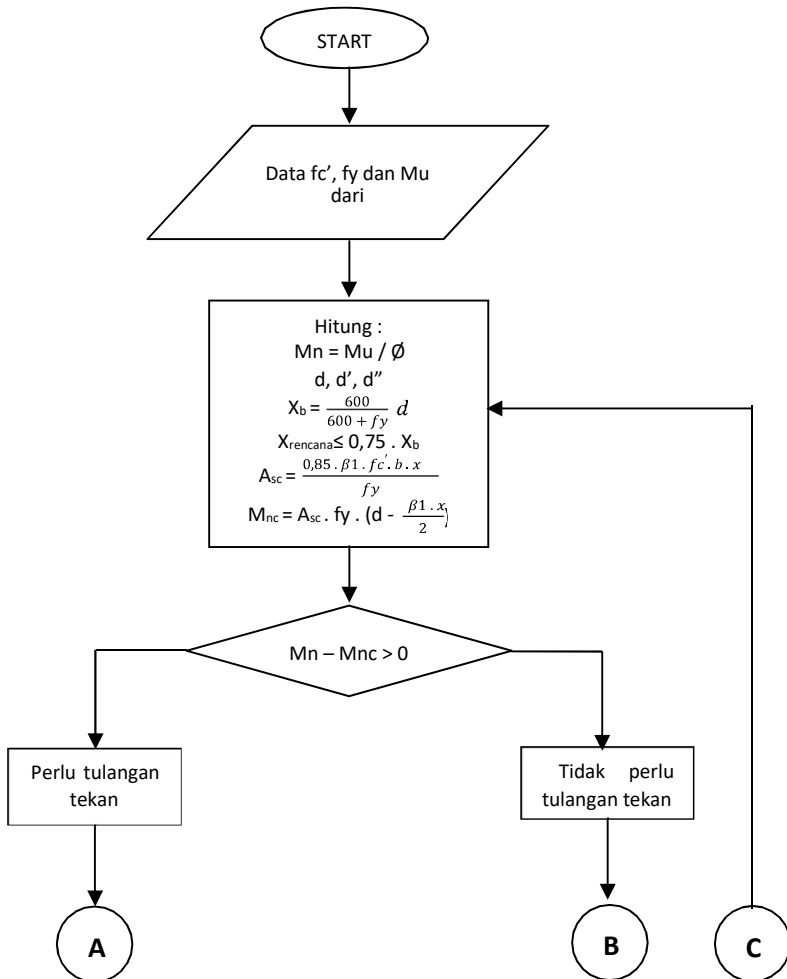
3.11.6 Balok Perhitungan Tulangan Torsi

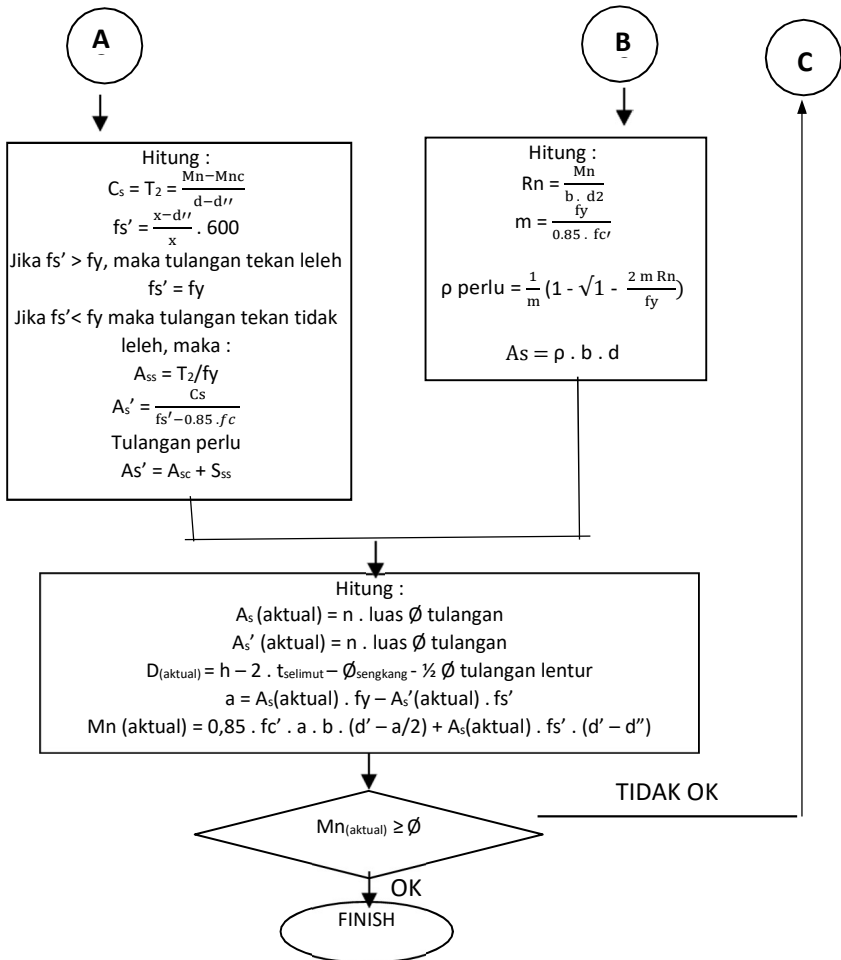




Gambar 3. 7 Flow Chart Perhitungan Tulangan Torsi Balok

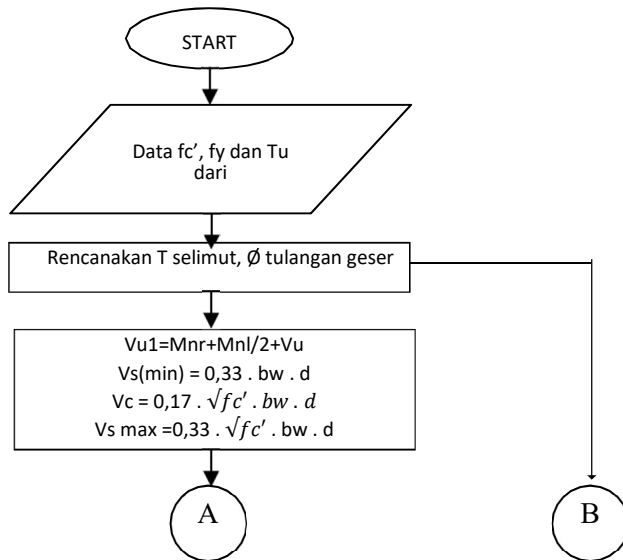
Perhitungan Tulangan Lentur

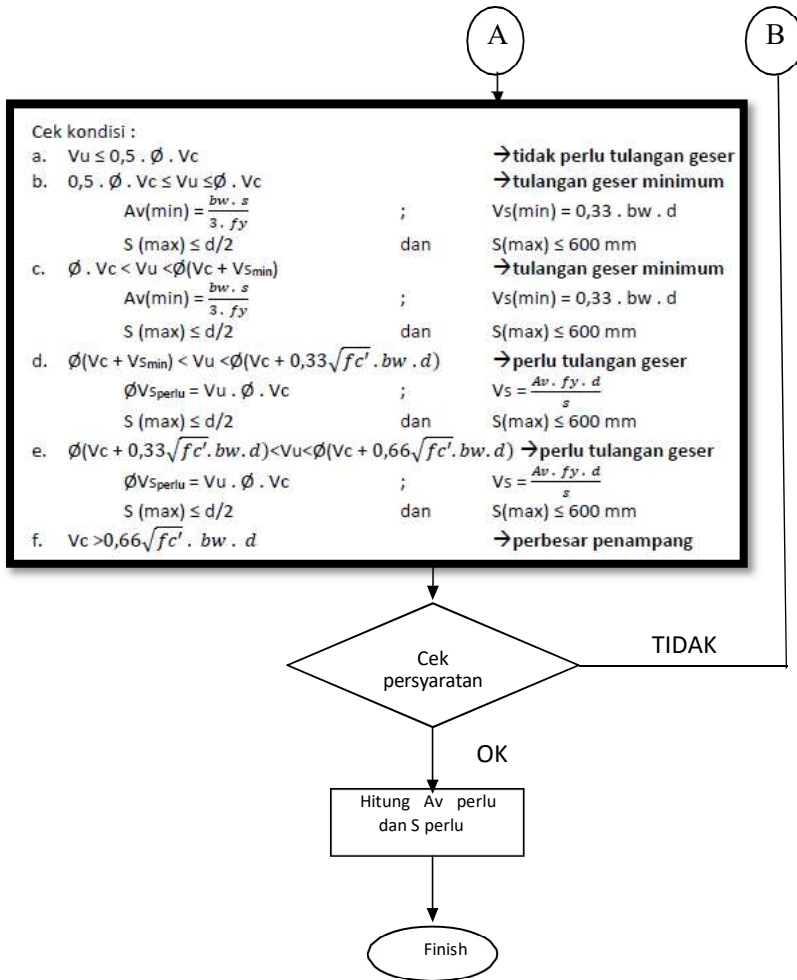




Gambar 3. 8 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perhitungan Tulangan Geser

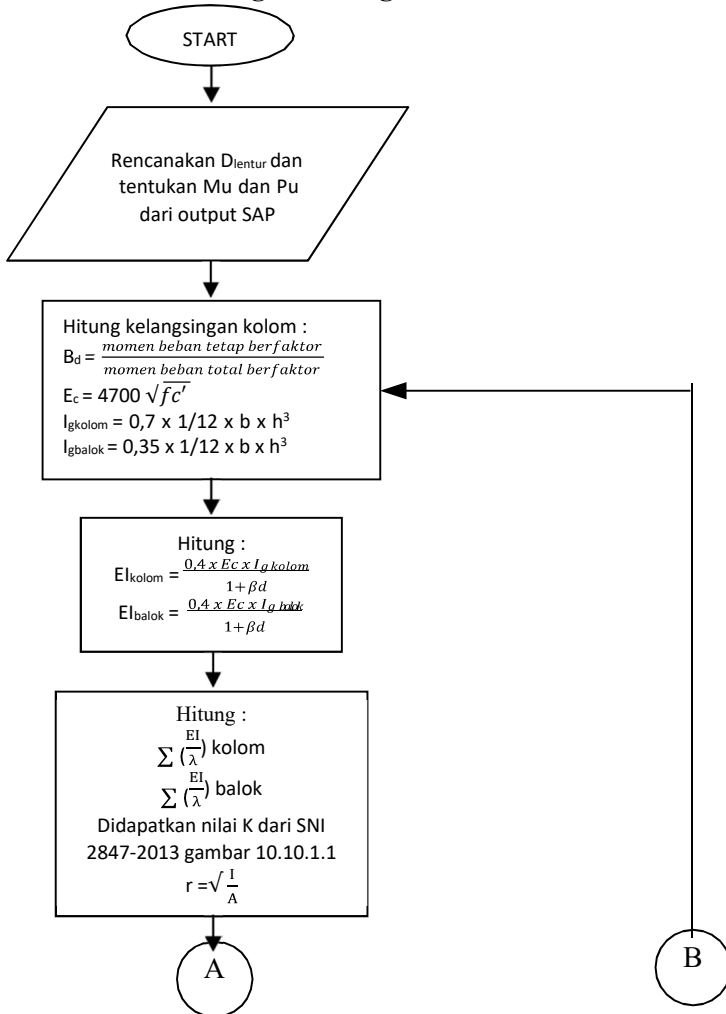


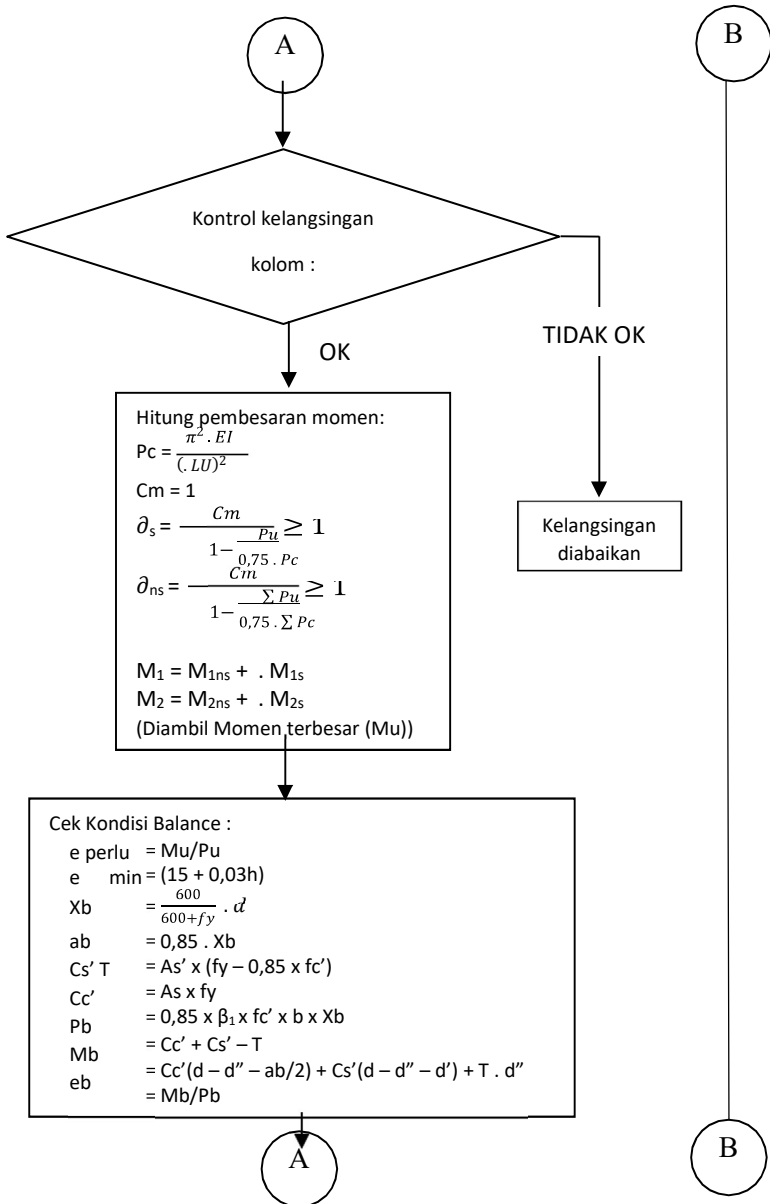


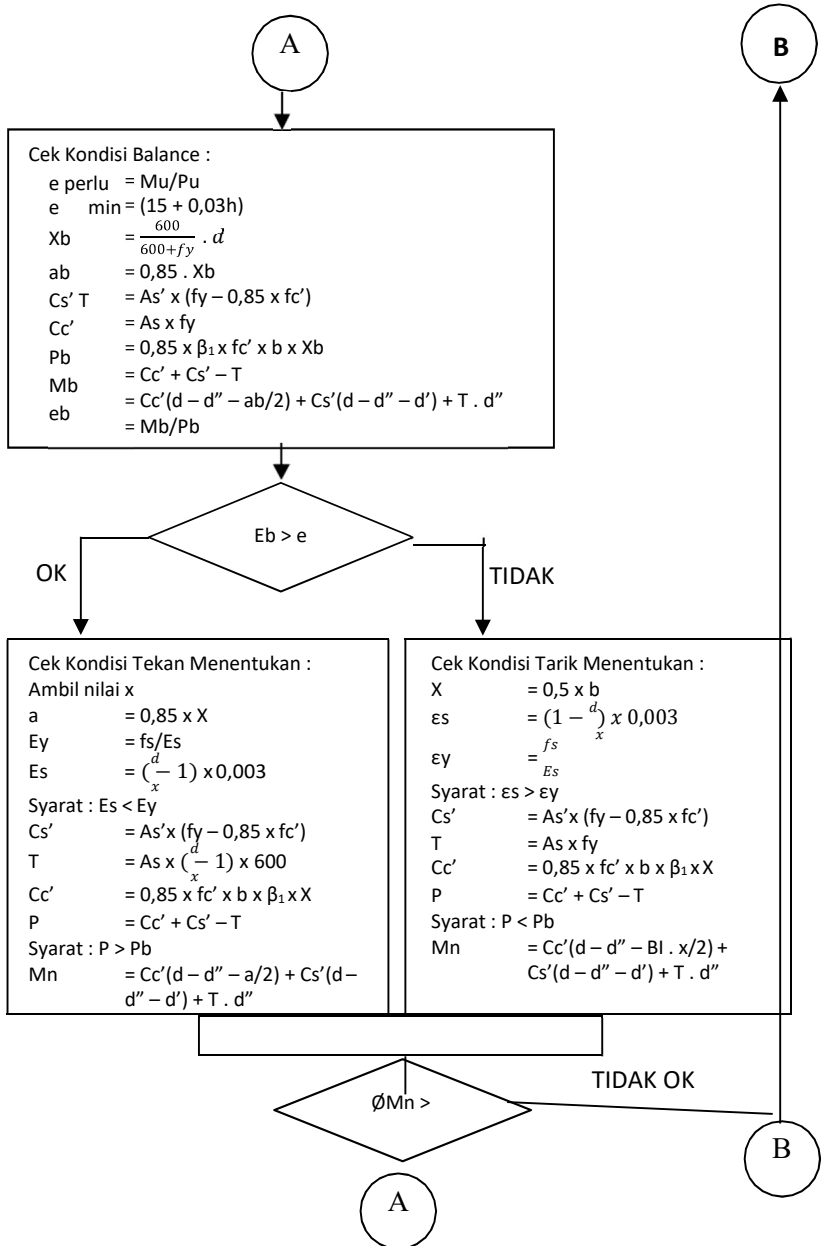
Gambar 3. 9 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok

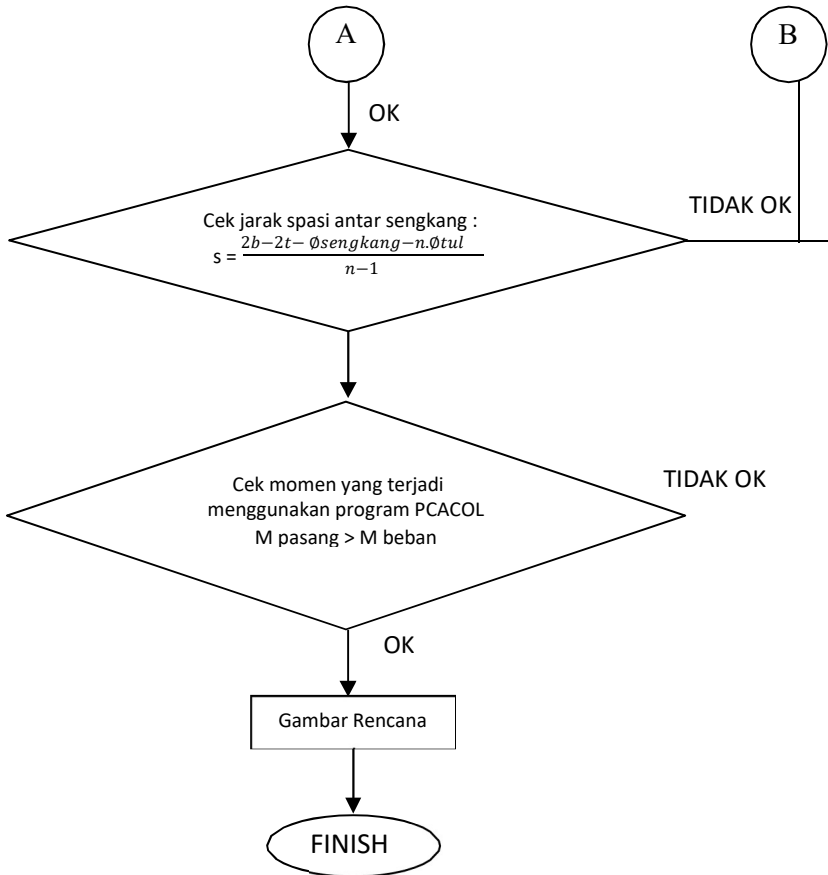
3.11.7 Kolom

3.11.8 Perhitungan Tulangan Lentur



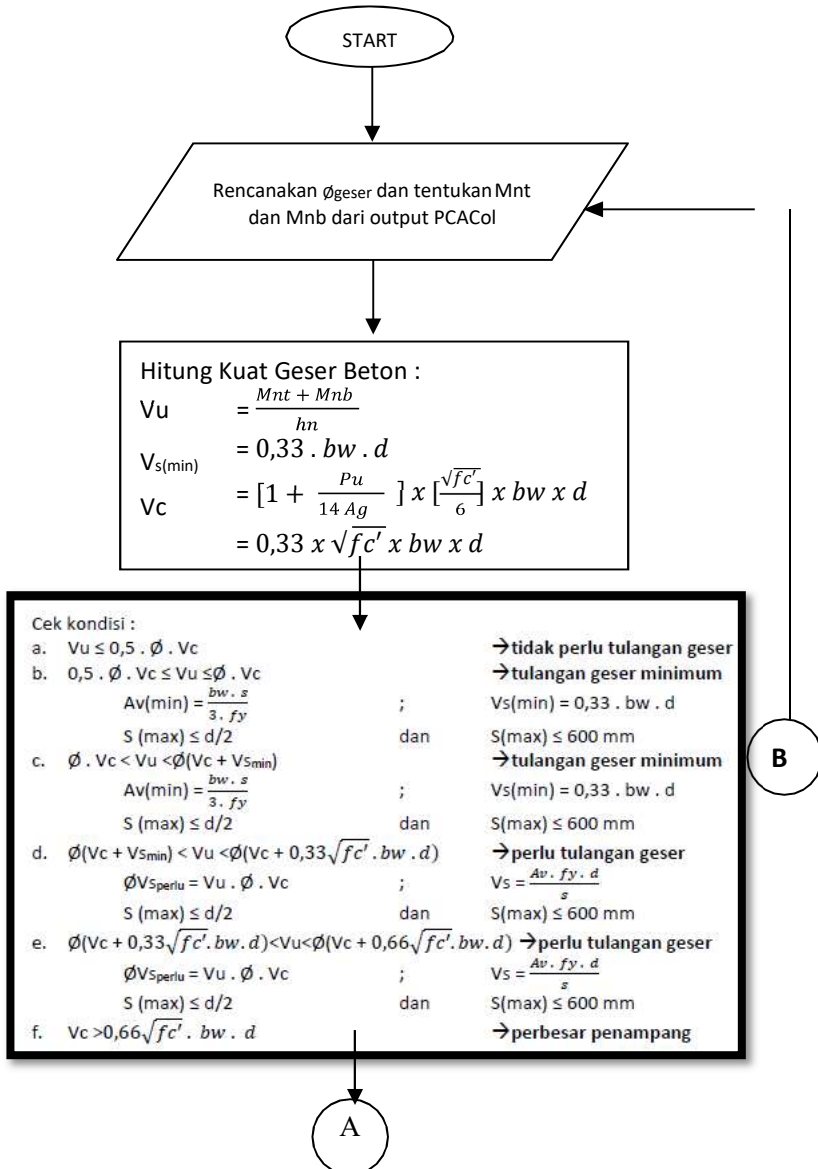


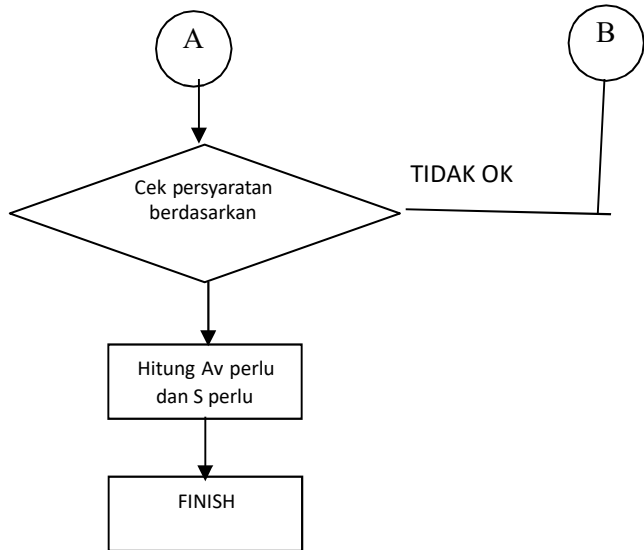




Gambar 3. 10 *Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Kolom*

Perhitungan Tulangan Geser





Gambar 3. 11 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Kolom

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Desain Preliminary

Data untuk struktur gedung beton bertulang ini adalah sebagai berikut :

- Tipe Bangunan : Gedung Apartemen
- Letak Bangunan : Pamekasan
- Lebar Bangunan : 18,8 m
- Panjang Bangunan : 41,8 m
- Tinggi Bangunan : 14,4 m
- Mutu Beton : 30 Mpa
- Mutu Baja : 400 Mpa

4.2 Perencanaan Dimensi Struktur

Langkah awal dalam mendesain struktur gedung adalah menentukan besarnya dimensi dari penampang komponen struktur

4.2.1 Preliminary Balok Induk

Preliminary desain balok bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi balok. Tinggi minimum balok (h_{min}) tanpa memperhitungkan lendutan ditentukan pada Tabel 3.3 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:

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

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

A. Preliminary Balok Induk Memanjang (L=800 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{800cm}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 48,57cm$$

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

2. Lebar Balok (b)

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

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

B. Preliminary Balok Induk Melintang (L=800 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{800cm}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 48,57cm$$

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

2. Lebar Balok (b)

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

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

C. Preliminary Balok Anak (L=800 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{800cm}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 37,00cm$$

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

2. Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 40 = 26.67 \text{ cm}$$

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

4.2.2 Preliminary Sloof (L=800 cm)

A. Preliminary Sloof Memanjang (L=800 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{800 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 48,57 \text{ cm}$$

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

2. Lebar Balok (b)

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

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

B. Preliminary Sloof Melintang (L=800 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{min} = \frac{800 \text{ cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 48,57 \text{ cm}$$

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

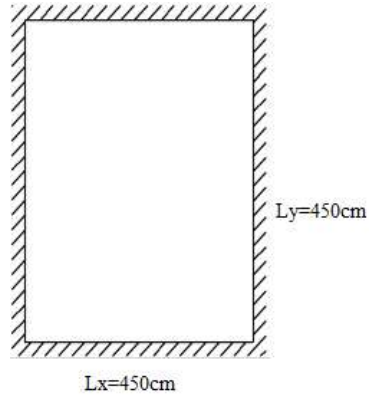
2. Lebar Balok (b)

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

Maka digunakan lebar(b) untu sloof yaitu 40cm.
Sehingga dimensi untuk sloof melintang adalah 40cm x 60cm.

4.2.3 Preliminary Pelat

Penentuan dimensi pelat diambil satu macam pelat
(diambil yang memiliki luas terbesar)



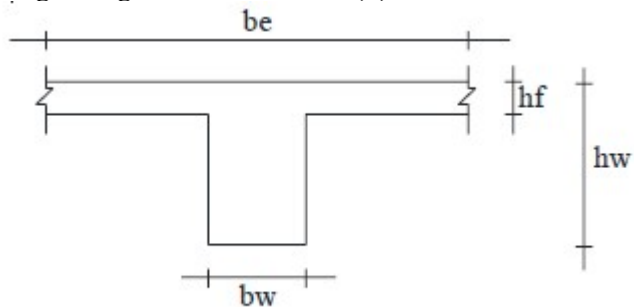
Gambar 4. 1. Tipe Plat P1 450cm x 450cm

$$L_n = 450 - \left(\frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right) = 415 \text{ cm}$$

$$S_n = 450 - \left(\frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 410 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{415}{410} = 1,01 > 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

1. Menghitung Rasio Kekakuan (α) Balok



Gambar 4. 2. Sketsa Penampang Balok

A. As 6 Joint D-C

Lebar balok (bw) = 40 cm

Tinggi balok (hw) = 60 cm

Apabila asumsi tebal pelat (hf) awal adalah 12 cm, maka:

$$be = 40 + \frac{315 + 415}{2} = 405$$

$$be = 40 + 8 \times 12 = 136$$

$$be = \frac{450}{4} = 112,5$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 112,5$ cm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,525$$

Momen inersia Balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,525 \times 40 \text{ cm} \times (60 \text{ cm})^3 \\ &= 1098234 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia Pelat:

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= \frac{bp \times hf^3}{12} = \frac{0,5 \times (450 + 350) \times 12 \text{ cm}^3}{12} \\ &= 57600 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{1098234 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} = 19,067$$

B. As 5a Joint D-C

Lebar balok (bw) = 30 cm

Tinggi balok (hw) = 40 cm

Apabila asumsi tebal pelat (hf) awal adalah 12 cm, maka:

$$be = 30 + \frac{315 + 415}{2} = 395$$

$$be = 30 + 8 \times 12 = 126$$

$$be = \frac{450}{4} = 112,5$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 112,5$ cm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{112,5}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{112,5}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{112,5}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$K = 1,7388$$

Momen inersia Balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,7388 \times 30\text{cm} \times (40\text{cm})^3 \\ &= 278203\text{cm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia Pelat:

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= \frac{bp \times hf^3}{12} = \frac{0,5 \times (350 + 450) \times 12\text{cm}^3}{12} \\ &= 57600\text{cm}^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{1098234\text{cm}^4}{57600\text{cm}^4} = 4,830$$

C. As D Joint 5a-6

Lebar balok (bw) = 40 cm

Tinggi balok (hw) = 60 cm

Apabila asumsi tebal pelat (hf) awal adalah 12 cm, maka:

$$be = 40 + \frac{115 + 410}{2} = 302,5$$

$$be = 40 + 8 \times 12 = 136$$

$$be = \frac{450}{4} = 112,5$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 112,5$ cm

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

K

$$= \frac{1 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,525$$

Momen inersia Balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,525 \times 40 \text{ cm} \times (60 \text{ cm})^3 \\ &= 1098234 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia Pelat:

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= \frac{bp \times hf^3}{12} = \frac{0,5 \times (450 + 350) \times 12 \text{ cm}^3}{12} \\ &= 57600 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{1098234 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} = 19,067$$

D. As C Joint 5a-6

Lebar balok (bw) = 40 cm

Tinggi balok (hw) = 60 cm

Apabila asumsi tebal pelat (hf) awal adalah 12 cm, maka:

$$be = 40 + \frac{115 + 410}{2} = 302,5$$

$$be = 40 + 8 \times 12 = 136$$

$$be = \frac{450}{4} = 112,5$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $be = 112,5$ cm

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

K

$$= \frac{1 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{112,5}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,525$$

Momen inersia Balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,525 \times 40\text{cm} \times (60\text{cm})^3 \\ &= 1098234\text{cm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia Pelat:

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= \frac{bp \times hf^3}{12} = \frac{0,5 \times (450 + 350) \times 12\text{cm}^3}{12} \\ &= 57600\text{cm}^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{1098234\text{cm}^4}{57600\text{cm}^4} = 19,067$$

Menghitung Rata-rata Rasio Kekakuan:

$$\begin{aligned} \alpha m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \\ &= \frac{19,067 + 4,830 + 19,607 + 1,607}{4} = 15,507 \end{aligned}$$

2. Penentuan Tebal Pelat (h min)

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, apabila nilai $\alpha m > 2$, maka ketebalan minimum pelat ditentukan persamaan (9-13), dan tidak boleh kurang dari 90mm.

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} = \frac{415\text{cm}\left(0,8 + \frac{400}{1400}\right)}{36 + 9(1,012)} = 9,98\text{cm}$$

$$> 9\text{cm}$$

Sehingga dipakai tebal pelat (hf) = 12cm

4.2.4 Preliminary Kolom

Agar sifat struktur menjadi “*strong coloumn weak beam*”, maka untuk preliminary dimensi kolom adalah sebagai berikut:

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

Apabila diasumsikan b kolom = h balok, maka:

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

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

$$(b_{kolom})^4 = 3888000$$

$$b_{kolom} = 44,40 \text{ cm}$$

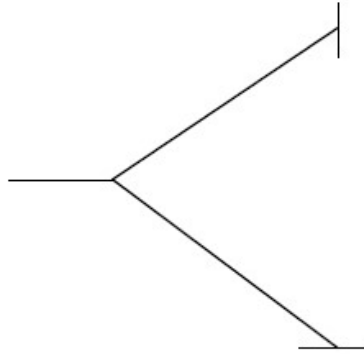
Sehingga dipakai satu tipe kolom dengan dimensi 50cm x 50cm.

4.2.5 Perencanaan Tangga

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

1. Perletakan : Jepit – Bebas - Jepit
2. Pembebanan : Dead Load (DL) dal Live Load (LL)
3. Kombinasi : 1,2DL + 1,6LL

4. Distribusi : (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.



Gambar 4. 3. Sketsa Tangga

Dalam perencanaan ini, terdapat 1 macam tipe tangga. Adapun data-data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut:

1. Data-data perencanaan
 - Lebar injakan (i) = 30 cm
 - Tinggi tanjakan (t) = 17 cm
 - Tinggi tangga = 360 cm
 - Tinggi bordes = 180 cm
 - Panjang datar tangga = 450 cm

2. Perhitungan Perencanaan

- a. Panjang miring tangga

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

$$L = \sqrt{180\text{cm}^2 + 450\text{cm}^2}$$

$$L = 484,66 \text{ cm}$$

- b. Jumlah tanjakan

$$nt = \frac{\text{Tinggi Bordes}}{\text{Tinggi Tanjakan}}$$

$$nt = \frac{180\text{cm}}{17\text{cm}} = 10,58 \text{ buah} = 11\text{buah}$$

- c. Jumlah injakan
 $ni = nt - 1 = 11 - 1 = 10\text{buah}$
- d. Sudut kemiringan
 $\alpha = \text{arc. tan} \left(\frac{t}{i} \right) = \text{arc. tan} \left(\frac{17\text{cm}}{30\text{cm}} \right) = 29,54^\circ$
- e. Syarat sudut kemiringan
 $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
 $25^\circ \leq 29,54^\circ \leq 40^\circ$ (**Memenuhi**)

4.3 Perhitungan Beban Struktur

Beban elemen struktur gedung dikenai beban gravitasi yang mana mengacu pada SNI 1727-2013, ASCE 7-2002, dan brosur material yang ada pada saat ini. Adapun beban gravitasi yang terjadi akan diterapkan pada perhitungan dan program bantu SAP 2000 v.14.

4.3.1 Beban Mati (DL)

Beban mati terdiri atas berat sendiri seluruh elemen struktur, dan perlengkapan permanen pada gedung seperti dinding, lantai atap, plafon dan partisi. Beban mati terdiri dari dua macam, antara lain:

- Berat sendiri elemen struktur (*self weight*, DL):
 Berat beton : 24 kN/m^3
 $= (2400 \text{ kg/m}^3)(0.12 \cdot 2400) = 288 \text{ kg/m}^2$
- Berat tambahan (superimposed dead load, SDL):
 - Berat dinding bata ringan : 250 kg/m^2
 - Beban keramik + spesi : 24 kg/m^2
 - Beban plafon : 11 kg/m^2
 - Beban penggantung plafon : 7 kg/m^2
 - Beban mechanical + electrical : 40 kg/m^2

4.3.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup terdiri dari beban yang diakibatkan oleh pemakaian gedung dan tidak termasuk beban mati, beban konstruksi atau beban akibat fenomena alam. Bergantung fungsi ruang, maka beban hidup dapat dibedakan sesuai dengan SNI 1727-2013 Tabel 4.1 sebagai berikut:

- Beban ruang tidur : $1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$

- Beban hidup pegangan/ reiling tangga : $0,89 \text{ kN/m}^2 = 89 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup bordes dan tangga : $3,41 \text{ kN/m}^2 = 341 \text{ kg/m}^2$
- Beban atap datar : $0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

4.3.3 Beban Air Hujan (R)

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

$$R = 0,0098 (ds + dh)$$

ds = Tinggi statis

dh = Tinggi hidrolik

Apabila direncanakan ds = 10 mm dan dh = 20 mm, maka:

$$R = 0,0098 (10 + 20)$$

$$R = 0,294 \text{ kN/m}^2 = 29,4 \text{ kg/m}^2$$

4.3.4 Beban Angin (W)

Bangunan gedung dan struktur lain termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI1727-2013. 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) = 25 km/jam
= $6,94 \text{ m/s}$
- Faktor arah angin (Kd) = $0,85$
(SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1)
- Kategori eksposur = B
(SNI 1727-2013 Pasal 26.7.3)
- Faktor Topografi (Kzt) = $1,0$
(SNI 1727-2013 Pasal 26.8.1)
- Faktor efek angin (G) = $0,85$
(SNI 1727-2013 Pasal 26.9.1)

- Klasifikasi ketertutupan = Bangunan tertutup

- Koefisien eksposir tekanan velositas, (K_z dan K_h)

$$z = 14,4 \text{ m}$$

$$\alpha = 7,0 \text{ (SNI 1727-2013 Tabel 26.9.1)}$$

$$z_g = 365,76 \text{ (SNI 1727-2013 Tabel 26.9.1)}$$

$$k_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/7,5}$$

$$k_z = 2,01 \left(\frac{14,4}{365,76} \right)^{2/7,5}$$

$$k_z = 0,848$$

$$k_h = 0,816 \text{ (SNI 1727-2013 Tabel 27.3.1)}$$

- Tinggi bangunan, $z = 14,4 \text{ m}$

- Tekanan Velositas, (q_z dan q_h)

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot v^2 \\ &= 0,613 \cdot 0,848 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 6,94^2 \\ &= 21 \text{ N/m}^2 = 2,1 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_h &= 0,613 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot v^2 \\ &= 0,613 \cdot 0,816 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 6,94^2 \\ &= 20 \text{ N/m}^2 = 2,0 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Koefisien tekanan eksternal (untuk dinding pada gedung)

L = dimensi horizontal bangunan gedung diukur tegak lurus terhadap arah angin = 40 m

B = Dimensi horizontal bangunan gedung diukur sejajar terhadap arah angin = 15,5 m

Tabel 4.1. Koefisien Tekanan Dinding

Permukaan	L/B	Cp	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datar	2,5	0,8	q_z
Dinding di sisi angin pergi	2,5	-0,2	q_h
Dinding tepi	2,5	-0,7	q_h

(SNI 1727-2013 Tabel 27.4.1)

- Tekanan Angin
 $P = q G C_p$

Tabel 4.2. Perhitungan Tekanan Angin

Permukaan	C_p	Digunakan dengan	P
Dinding di sisi angin datar	0,8	$q_z = 2,1 \text{ kg/m}^2$	$1,5 \text{ kg/m}^2$
Dinding di sisi angin pergi	-0,2	$q_h = 2,0 \text{ kg/m}^2$	$0,34 \text{ kg/m}^2$
Dinding tepi	-0,7	$q_h = 2,0 \text{ kg/m}^2$	$1,19 \text{ kg/m}^2$

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 di daerah pamekasan.

Gedung Apartemen “Rose” Pamekasan merupakan bangunan bertingkat, dengan jumlah tingkat gedung ialah 4 tingkat. Pada perhitungan beban gempa struktur ada beberapa persyaratan untuk menentukan jenis gedung apakah termasuk beraturan atau tidak beraturan.

Sesuai SNI1726:2012 tablrl 10 dan 11 tentang ketidakberaturan horisontal dan vertikal pada struktur harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sesuai dengan kategori desain seismik, yaitu:

- **Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung**

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 1, bangunan yang didesain untuk apartemen termasuk kedalam kategori risiko II.

- **Menentukan Faktor Keutamaan Gempa**

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 2 dan kategori risiko yang didapat maka dapat ditentukan faktor keutamaan gempa yakni $I_e = 1,00$.

Menentukan Kelas Situs

Hasil tes tanah dengan kedalaman 20 m pada tanah setempat (Pamekasan):

Tabel 4.3. Hasil Tes Tanah Pada Kec. Pamekasan

Lapisan ke-i	Tebal Lapisan	Deskripsi Jenis Tanah	Nilai N-SPT	di/Ni
2.00	2	Lanau Berlempung Berpasir	13	0.15
4.00	2	Lanau Berlempung Berpasir	11	0.18
6.00	2	Pasir Berlanau	15	0.13
8.00	2	Pasir Berlanau	22	0.09
10.00	2	Pasir Berlanau	19	0.11
12.00	2	Lempung Berlanau	11	0.18
14.00	2	Lempung Berlanau	14	0.14
16.00	2	Lempung Berlanau	18	0.11
18.00	2	Lempung Berlanau	21	0.10
20.00	2	Lempung Berlanau	23	0.09
Σ	20		167	1.28

Keterangan :

d = tebal setiap lapisan

N = tahanan penetrasi standar 60% energi (N60)

Maka nilai N-SPT rata-rata tanah :

$$N_{rata-rata} = \frac{\sum di}{\sum \frac{di}{N_i}} = \frac{40}{1,28} = 31,25$$

Menurut SNI 1726-2012 Tabel 3, untuk N 15 sampai 50 maka termasuk kelas situs SD

- **Menentukan Parameter Percepatan Gempa**



Gambar 4. 4. Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik. Nilai $S_1 = 0,2$



Gambar 4. 5. Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek. Nilai $S_s = 0,5$

Maka diambil nilai $S_1 = 0,2$ dan $S_s = 0,5$

- **Menentukan Koefisien Situs**

Tabel 4.4. SNI 1726-2012 Tabel 4

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				

Maka didapatkan nilai $F_a = 1,4$

Tabel 4.5. SNI 1726-2012 Tabel 5

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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				

Maka didapatkan nilai $F_v = 2$

- **Menentukan Parameter Percepatan Desai Spektral**

Berdasarkan SNI1726-2012 Pers. 5 dan Pers. 6, didapatkan :

$$S_{ms} = F_a \times S_s = 1,4 \times 0,5 = 0,7$$

$$S_{m1} = F_v \times S_1 = 2,0 \times 0,2 = 0,4$$

Berdasarkan SNI1726-2012 Pers. 7 dan Pers. 8, didapatkan:

$$S_{ds} = \frac{2}{3} \times S_{ms} = \frac{2}{3} \times 0,7 = 0,46$$

$$S_{d1} = \frac{2}{3} \times S_{m1} = \frac{2}{3} \times 0,4 = 0,26$$

- **Menentukan Kategori Desain Seismik**

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 6 dan Tabel 7, untuk $S_{d1} = 0,26$ dan kategori risiko II didapatkan kategori desain seismik C.

- **Menentukan Parameter Struktur**

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 9, untuk sistem rangka pemikul momen menengah adalah :

Koefisien modifikasi respon (R) : 5

Faktor kuat-lebih sistem (Ω_o) : 3

Faktor pembesaran defleksi (Cd) : 4,5

- **Menentukan Spektrum Respons Desain**

$$T_o = 0,2 \times \left(\frac{S_{d1}}{S_{ds}} \right) = 0,2 \times \left(\frac{0,26}{0,46} \right) = 0,113 \text{ detik}$$

$$T_o = \frac{S_{d1}}{S_{ds}} = \frac{0,26}{0,46} = 0,565 \text{ detik}$$

$$T_a = C_t \times h n^x$$

$$T_a = 0,0466 \times 14,4^{0,9}$$

$$T_a = 0,514 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka ditulis ke dalam persamaan:

$$T_o < T_a < T_s \rightarrow S_a = S_{ds}$$

Sehingga didapatkan nilai $S_a = S_{ds} = 0,46$

- Tinggi Bangunan

H0 = 0 m
 H1 = 3,6 m
 H2 = 7,2 m
 H3 = 10,8 m
 H4 = 14,4 m

- Berat Bangunan

W0 = 27000 kg
 W1 = 454608 kg
 W2 = 454608 kg
 W3 = 454608 kg
 W4 = 427608 kg
 W Total = 1818432 kg

- Menentukan koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

$S_{ds} = 0,46$

$S_{d1} = 0,26$

Tabel 4.6. Koefisien dan Parameter Percepatan Respons

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

- Mencari perioda fundamental pendekatan

$T_a = 0,514$ detik

$T_c = 0,633$

$C_u \cdot T_a = 1,46 \times 0,514 = 0,75$ detik

$T_a < T_c < C_u \cdot T_a$

$0,514 < 0,633 < 0,75$ (OK)

Maka $T = T_a = 0,514$

- Perhitungan koefisien respons seismik

Sesuai SNI 1726-2012 tabel 1 dan 2 fungsi bangunan sebagai gedung dan apartemen, maka termasuk kategori resiko II

$$I_o = 1$$

Sesuai SNI 1726-2012 tabel 9 menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah

$$R = 5$$

$$C_s = \frac{S_d s}{\frac{R}{I_o}}$$

(SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 22)

$$C_s = \frac{0.46}{\frac{5}{1}}$$

$$C_s = 0,092$$

Syarat :

Cs tidak boleh kurang dari

Cs min1 = 0,044.Sds.Io > 0,01 atau

Cs min2 = 0,0251 > 0,01

0,092 > 0,044.Sds.Io

0,092 > 0,020 (Memenuhi)

- Geser dasar seismik

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,092 \times 3745284,96 \text{ kg}$$

$$V = 344566$$

- Geser 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)

Keterangan :

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

$$T = 0,514 \text{ s}$$

Syarat :

- T < 0,5 s, maka k = 1

- $T > 2,5$ s, maka $k = 2$
- $0,5$ s $< T < 2,5$ s, maka k ditentukan dengan interpolasi antara 1 dan 2

$$\frac{2,5 - 0,5}{2 - 1} = \frac{0,514 - 0,5}{x - 1}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{0,014}{x - 1}$$

$$x = 1,07$$

Maka nilai $k = 1,07$

Tabel 4.7. Rekapitulasi Berat Bangunan

Rekapitulasi Berat Wt			Wk . h ^k	Wk . Hk / Σ Wk . Hk	V	Fi (kg)	Ex	Ey
Tinggi	Wt	h ^k						
0	352216.73	0	0	0	344566	0.00	0	0.00
3.6	906199.11	3.741033315	3390121.06	0.10815		37,266.05	6211.008527	9316.51
7.2	906199.11	7.639280756	6922709.42	0.22085		76,098.18	12683.03004	19024.55
10.8	906199.11	11.5991581	10511146.7	0.33533		115,544.23	19257.37191	28886.06
14.4	674470.9	15.59959657	10521473.9	0.33566		115,657.75	19276.29225	28914.44
Total	3745284.96		31345451.2					

Cek gaya geser

$$V = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$344566 \text{ kg} = 344566 \text{ kg (Ok)}$$

4.3.6 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur beton harus mampu memikul semua beban kombinasi dibawah ini berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal4.2:

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 + 1,0W + 1,0L + 0,5R
8. 0,9D + 1,0W
9. 1,2D + 1,0EX + 1,0L

$$10. 1,2D + 1,0EY + 1,0L$$

$$11. 0,9D + 1,0EX$$

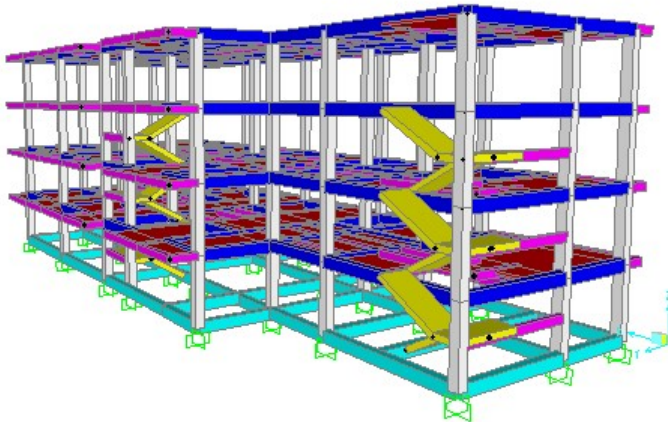
$$12. 0,9D + 1,0EY$$

Keterangan:

- D : Beban Mati
- Lr : Beban Hidup Atap
- L : Beban Hidup
- R : Beban Hujan
- W : Beban Angin
- E : Beban Gempa

4.4 Analisa Permodelan

Model *undeformed shape* struktur bangunan dengan SRPM ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang merupakan permodelan yang dilakukan pada program bantu SAP 2000 v.14.



Gambar 4. 6. Permodelan Bangunan Dengan SAP2000

A. Permodelan Komponen Struktur Tangga

Permodelan struktur tangga dalam proyek ini menggunakan bantuan program analisa SAP 200 dimana komponen struktur tangga ini dimasukkan dalam

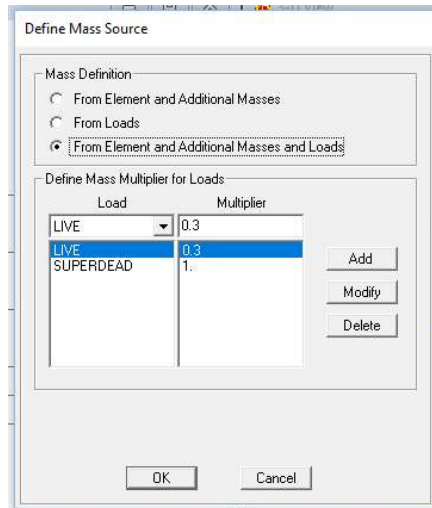
permodelan struktur utama. Adapun data-data permodelan adalah sebagai berikut:

- a. Perletakan : Jepit – Bebas – Jepit
- b. Beban : Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
- c. Kombinasi : $1,2DL + 1,6LL$
- d. Distribusi : (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.

B. Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (mass source) adalah massa struktur pada program bantu SAP 2000 yang digunakan pada perhitungan untuk analisa modal menggunakan pilihan "*mass definition : from element and additional masses dan loads*" yang mana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban beban tambahan ditambahkan dengan pembesaran sesuai jenis bebannya. Massa-massa beban yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

- Beban mati tambahan (keramik + spesi, dinding, plafon, penggantung plafon, lapisan waterproofing, dll) : *Multiplier* 1,0
- Beban hidup : *Multiplier* 0,3



Gambar 4. 7. Input Beban Hidup

C. Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa

Peninjauan gempa horizontal dibagi kedalam dua arah yaitu:

- Gempa arah x dengan komposisi 100% E_x + 30% E_y
- Gempa arah y dengan komposisi 100% E_y + 30% E_x

D. Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Statik Ekuivalen SAP 2000 untuk SRPM

Faktor skala gaya diambil dari persamaan sebagai berikut:

$$\text{Faktor Pembebanan} = \frac{I_e}{R} \cdot g = \frac{1}{5} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 1,962$$

E. Kontrol Periode Fundamental SRPM

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan

perumusan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 15 sebagai batas bawah sebesar:

$$T_a = C_t \times h n^x$$

Dimana:

hn : Ketinggian struktur

Ct : Parameter pendekatan tipe struktur

X : Parameter pendekatan tipe struktur

Tabel 4.8. Nilai Parameter Periode Pendekatan, Ct dan x

Tipe struktur	C _t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 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

Nilai struktur beton SRPMM didapatkan nilai Ct = 0,0466 dan x = 0,9. Sehingga:

$$T_a = 0,0466 \times (14,4m)^{0,9} = 0,513 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 14 sebesar:

Tabel 4.9. Koefisien Untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

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

Karena nilai $S_{d1} = 0,26$, maka didapatkan nilai $C_u = 1,46$ diperoleh hasil dari interpolasi, sehingga :

$$C_u.T_a = 1,46 \times 0,514 = 0,75 \text{ detik}$$

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut :

$$T_a < T_c < C_u.T_a$$

$$0,514 < 0,633 < 0,75 \text{ (OK)}$$

Tinjauan struktur *Uncracked* dan perioda struktur yang dimodelkan belum masuk kisaran perioda struktur yang diizinkan. Sehingga untuk mengecilkan periode struktur yang ada maka harus dilakukan perkuatan struktur.

F. Kontrol Gaya Gempa Dinamis Struktur

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1. Untuk kontrol gaya gempa dasar dinamis koefisien C_s adalah sebagai berikut :

1. Nilai C_s minimum

$$C_{s \text{ min}} = 0,044.S_{ds}.I_o > 0,01 \\ = 0,020$$

2. Nilai C_s

$$C_s = \frac{0,46}{5} \\ \frac{1}{1} \\ C_s = 0,092$$

3. Nilai Cs max

$$Cs_{max} = \frac{0.26}{0,514 \frac{5}{1}}$$

$$Cs_{max} = 0,101$$

Berdasarkan perhitungan nilai Cs di atas maka dapat disimpulkan Cs yang digunakan Cs = 0,092

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = Cs \cdot Wt$$

Keterangan :

Cs : Koefisien respon seismik

Wt : Total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup

- Berat Struktur total : 3745284 kg
- Nilai arah X
 $V_x = 0,045 \times 3745284 \text{ kg} = 168537,78 \text{ kg}$
 $0,85 V_x = 0,85 \times 168537,78 \text{ kg} = 143257,11 \text{ kg}$
- Nilai arah Y
 $V_y = 0,045 \times 3745284 \text{ kg} = 168537,78 \text{ kg}$
 $0,85 V_y = 0,85 \times 168537,78 \text{ kg} = 143257,11 \text{ kg}$

Hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari SAP2000 didapatkan sebesar :

OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf
QUAKE X	LinStatic	229710.8	1.00000006506
QUAKE Y	LinStatic	-0.0000004149	-602990.92

Arah x = 143257,11 kg < 229710,8 kg (OK)

Arah y = 143257,11 kg < 602990,9 kg (OK)

4.5 Perhitungan Struktur Sekunder

4.5.1 Perhitungan Struktur Pelat

Pelat / slab adalah bidang tipis yang menahan bebanbeban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam desain, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (one way slab), dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya lebih dari 2, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung pendukung dikelilinginya, dengan demikian, panel disebut pelat 2 arah (two way slab), dengan tulangan utama dipasang 2 arah yaitu searah sumbu x dan searah sumbu y , sedangkan tulangan susut dan suhu dipasang mengitari pelat tersebut. (Desain Beton Bertulang, oleh C.K.Wang dan C.G.Salmon Bab 16).

Struktur pelat lantai yang dihitung pada bab ini merupakan pelat yang dikelilingi oleh balok. Untuk pelat 1 arah perhitungan penulangan pelat menggunakan SNI 28472013 sedangkan untuk pelat 2 menggunakan PBBI 1971. Dalam bab ini perhitungan pelat ini digunakan pada lantai 2 hingga lantai atap.

Tabel 4.10 Tabel Momen Pelat Berdasarkan Tipe

Tipe Pelat	Momen	l _y / l _x																
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5
I	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
II	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	32	34	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13
III	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	66	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	22	26	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
IVA	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8
IVB	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
VA	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
VB	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	36	37	38	38	37	36	35	33	32	31	30	29	29	29	29	29	25
VIA	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8
VIB	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	35	37	37	37	38	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	$M_x = + 0,001 q_l l_x^2 X$	35	37	37	37	38	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
eterangan		= Terletak bebas																
		= Terjepit penuh																

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBTI 1971) Pasal 13.3 tabel 13.3(1) pelat termasuk dalam tipe II dimana persamaan gaya dalam momen yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$M_{tx} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{lx} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

Dimana :

- M_{tx} = Momen tumpuan arah x
- M_{lx} = Momen lapangan arah x
- M_{ty} = Momen tumpuan arah y
- M_{ly} = Momen lapangan arah y
- X = koefisien (tabel 13.3.1 PBTI 1971)

4.5.1.1 Pembebanan Struktur Pelat Lantai

Beban yang dominan bekerja pada struktur pelat lantai adalah beban mati dan beban hidup. Beban mati yang bekerja diambil dari ASCE 7 Tabel C3-1 sedangkan untuk beban hidup berdasarkan SNI 1727 - 2013 Tabel 4-1 dimana:

1. Beban Mati

- Berat sendiri pelat = tebal pelat x B_j beton
 $= 0,12 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,88 \text{ kN/m}^2$
- Beban keramik + spesi = $1,1 \text{ kN/m}^2$
- Beban ducting mekanikal = $0,19 \text{ kN/m}^2$
- Beban plafon = $0,086 \text{ kN/m}^2$
- Beban penggantung plafon = $0,1 \text{ kN/m}^2$
- Beban dinding = $1,075 \text{ kN/m}^3 \times 3 \text{ m} = 3,225 \text{ kN/m}^2$
- $q_{DL} = (2,8 + 1,1 + 0,19 + 0,086 + 0,1 + 3,225) \text{ kN/m}^2 = 7,581 \text{ kN/m}^2$

2. Beban Hidup

- Beban hidup kamar (Lantai 2-4):
 $q_{LL} = 1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup atap (Lantai atap):
 $q_{LL} = 0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

3. Beban Ultimate

Perhitungan pelat menggunakan beban hidup yang terbesar, yakni beban hidup ruang tidur = 192 kg/m^2 , sehingga:

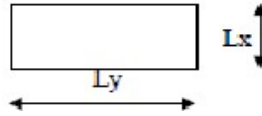
- $q_U = 1,4 q_{DL}$
 $= 1,4 \cdot 7,581 \text{ kN/m}^2 = 10,6134 \text{ kN/m}^2$
- $q_U = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL}$
 $= 1,2 \cdot 7,581 \text{ kN/m}^2 + 1,6 \cdot 1,92 \text{ kN/m}^2$
 $= 12,1692 \text{ kN/m}^2$

Sehingga dipakai yang paling besar, yakni: $q_U = 12,17 \text{ kN/m}^2$

4.5.1.2 Analisa struktur Pelat Lantai

Analisa struktur pelat lantai menggunakan tabel

koefisien momen, momen-momen yang terjadi mengikuti ketentuan sebagai berikut:



Gambar 4.8 Ketentuan Pada Analisa Pelat Lantai1

Dimana:

- L_x = bentang pelat pendek
- L_y = bentang pelat panjang

Beban yang bekerja pada pelat lantai adalah beban mati dan beban hidup. Besarnya beban-beban yang bekerja adalah sebagai berikut:

- Beban Mati Berat sendiri pelat = $0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 288 \text{ kg/m}^2$
 Beban keramik + spesi = 110 kg/m^2
 Beban ducting mechanical = 19 kg/m^2
 Beban plafon = $8,6 \text{ kg/m}^2$
 Beban penggantung langit-langit = 10 kg/m^2
 Beban dinding = $322,5 \text{ kg/m}^2$
 $q_{DL} = (283,2 + 110 + 19 + 5 + 10 + 322,5) \text{ kg/m}^2 = 758,1 \text{ kg/m}^2$
- Beban Hidup
 Ruang kamar (lantai 2-4) , $q_L = 192 \text{ kg/m}^2$
 Lantai atap , $q_L = 96 \text{ kg/m}^2$
- Beban Kombinasi
 $1,4 D = 1,4 (758,1 \text{ kg/m}^2) = 1061,34 \text{ kg/m}^2$
 Ruang kamar (lantai 2-6):
 • $1,2 D + 1,6 L = 1,2 (758,1 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (192 \text{ kg/m}^2) = 1216,92 \text{ kg/m}^2$
 Lantai atap:

- $1,2 D + 1,6 L = 1,2 (758,1 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (96 \text{ kg/m}^2) = 1063,32 \text{ kg/m}^2$

Pelat dua arah perhitungan momen yang terjadi dihitung menggunakan koefisien momen PBB1 1971 dengan rumus $M = 0,001 \cdot q \cdot L \cdot L_x^2 \cdot X$ dan sedangkan untuk pelat satu arah perhitungan momen yang terjadi dihitung menggunakan acuan SNI 2847-2013 pasal 8 adalah sebagai berikut:

1. Pelat P1 Ukuran 4,5m x 4,5m

$$L_n = 4,5 \text{ m}$$

$$S_n = 4,5 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{L_n}{S_n} = 1 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

Maka momen yang terjadi :

- Pelat lantai (2-4):

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 21 = 517,495 \text{ kg.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 21 = 517,495 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 52 = 1281,417 \text{ kg.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 52 = 1281,417 \text{ kg.m}$$

- Pelat lantai atap:

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 21 = 231,472 \text{ kg.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 21 = 231,472 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 52 = 573,169 \text{ kg.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,5 \text{ m})^2 \cdot 52 = 573,169 \text{ kg.m}$$

2. Pelat P2 Ukuran 4,5m x 3,5m

$$L_n = 4,5 \text{ m}$$

$$S_n = 3,5 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{L_n}{S_n} = 1,3 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

Maka momen yang terjadi :

- Pelat lantai (2-4):

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 31 = 462,125 \text{ kg.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 19 = 283,238 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 69 = 1028,602 \text{ kg.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 57 = 849,714 \text{ kg.m}$$

- Pelat lantai atap:

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 31 = 206,706 \text{ kg.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 19 = 126,690 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 69 = 460,086 \text{ kg.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,5\text{m})^2 \cdot 57 = 380,071 \text{ kg.m}$$

3. Pelat P3 Ukuran 4,5m x 1,5m

$$L_n = 4,5 \text{ m}$$

$$S_n = 1,5 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{L_n}{S_n} = 0,33 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

Maka momen yang terjadi :

- Pelat lantai (2-4):

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot$$

$$\begin{aligned} & (1,5\text{m})^2 \cdot 21 = 57,499 \text{ kg.m} \\ \text{Mly} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 21 = 57,499 \text{ kg.m} \\ \text{Mtx} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 52 = 142,379 \text{ kg.m} \\ \text{Mty} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 52 = 142,379 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Pelat lantai atap:

$$\begin{aligned} \text{Mlx} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 21 = 25,719 \text{ kg.m} \\ \text{Mly} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 21 = 25,719 \text{ kg.m} \\ \text{Mtx} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 52 = 63,685 \text{ kg.m} \\ \text{Mty} &= 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot \\ & (1,5\text{m})^2 \cdot 52 = 63,685 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

4.5.1.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat

A. Pelat Tipe P1 (4,5m x 4,5m)

$$L_y = 4500 \text{ mm}$$

$$L_x = 4500 \text{ mm}$$

$$L_n = 4500\text{mm} - \frac{400\text{mm}}{2} - \frac{300\text{mm}}{2} = 4150\text{mm}$$

$$S_n = 4500\text{mm} - \frac{400\text{mm}}{2} - \frac{300\text{mm}}{2} = 4150\text{mm}$$

$$\beta_1 = \frac{L_n}{S_n} = \frac{4150\text{mm}}{4150\text{mm}} = 1 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

1. Perhitungan tulangan arah L_x (Bentang Pendek)

$$\text{Mlx} = 517,495 \text{ kg.m} = 5,17 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mtx} = 1281,417 \text{ kg.m} = 12,81 \text{ kN.m}$$

- a. Perhitungan kebutuhan pada lapangan

- Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$dx = t_{\text{plat}} - t_{\text{selimut}} - D/2$$

$$dx = 120\text{mm} - 20\text{mm} - \frac{13\text{mm}}{2} = 93,5\text{mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400\text{Mpa}}{0,85 \cdot 30\text{Mpa}} = 15,69$$

$$p_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400\text{Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\text{max}} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$p_{\text{max}} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30\text{Mpa}}{400\text{Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0244$$

$$M_x = 5,17 \text{ kN.m} = 5174950 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{5174950 \text{ N.mm}}{0,9} = 5749944,4 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{5749944,4 \text{ N.mm}}{1000\text{mm} \cdot 93,5^2} = 0,65 \text{ N.mm}$$

$$p = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 0,65 \text{ N.mm}}{400\text{Mpa}}} \right)$$

$$= 0,00164$$

Karena $p < p_{\text{min}}$, maka dipakai $p = 0,0035$ sehingga:

$$A_s \text{ perlu} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000\text{mm} \cdot 93,5\text{mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 327,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D13-200} \rightarrow A_s \text{ pakai} = 663,93 \text{ mm}^2$$

- Kontrol jarak tulangan
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal pelat, sehingga:
 $120\text{mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}} \rightarrow 120\text{mm} < 2 \cdot 120\text{mm}$
 $120\text{mm} < 240\text{mm}$ (OK!)

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak
Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4. Syarat:

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot C_c \text{ dan tidak melebihi}$$

$$s \text{ max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 400\text{Mpa} = 266,67\text{Mpa}$$

Dengan C_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, sehingga $C_c = 20 \text{ mm}$

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5 \cdot 20 = 265\text{mm}$$

$$s \text{ max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{266,67} \right) = 315\text{mm}$$

Jarak antar tulangan dipakai = $200 < 265\text{mm}$ (OK!)

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah:

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{12,17\text{kN/m}^2 \cdot 4,150\text{m}}{2} =$$

25,25 kN

Nilai V_c ditentukan berdasarkan

SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d$$

Dimana: $\lambda = 1$ untuk beton normal berdasarkan

SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1.

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30\text{Mpa}} \cdot 1000\text{mm} \cdot 93,5\text{mm} \\ &= 87526,06 \text{ N} \\ &= 87,53\text{kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset \cdot V_c = 0,75 \cdot 87,53\text{kN} = 65,64\text{kN}$$

$$25,10\text{kN} < 65,64\text{kN}$$

$$V_u < \emptyset \cdot V_c \text{ (OK!)}$$

b. Perhitungan kebutuhan pada tumpuan

- Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk $f'c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$dx = t \text{ plat} - t \text{ selimut} - D/2$$

$$dx = 120\text{mm} - 20\text{mm} - \frac{13\text{mm}}{2} = 93,5\text{mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c'} = \frac{400\text{Mpa}}{0,85 \cdot 30\text{Mpa}} = 15,69$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400\text{Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} p_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30\text{Mpa}}{400\text{Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$M_{tx} = 12,81 \text{ kN.m} = 12814170 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{12814170 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,9} = 14237966,67 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{14237966,67 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1000 \text{ mm} \cdot 93,5^2} = 1,62 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$p = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 1,62 \text{ N} \cdot \text{mm}}{400 \text{ Mpa}}} \right) = 0,0042$$

Karena $p < p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0042$ sehingga:

$$A_{s \text{ perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0042 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 93,5 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 392,70 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D13-200} \rightarrow A_{s \text{ pakai}} = 663,93 \text{ mm}^2$$

- Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal pelat, sehingga:

$$120 \text{ mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}} \rightarrow 120 \text{ mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (OK!)}$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4. Syarat:

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot C_c \text{ dan tidak melebihi}$$

$$s_{\max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 400 \text{ Mpa} = 266,67 \text{ Mpa}$$

Dengan C_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, sehingga $C_c = 20 \text{ mm}$

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5 \cdot 20 = 265 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 300 \cdot (266,67) = 315 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan dipakai = $200 < 265 \text{ mm}$ (OK!)

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah:

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{12,17 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,150 \text{ m}}{2} = 25,25 \text{ kN}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana: $\lambda = 1$ untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1.

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 93,5 \text{ mm} \\ = 87526,06 \text{ N} = 87,53 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 87,53 \text{ kN} = 65,64 \text{ kN}$$

$$25,10 \text{ kN} < 65,64 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi \cdot V_c \text{ (OK!)}$$

2. Perhitungan tulangan arah L_y (Bentang Panjang)

$$M_{ly} = 517,495 \text{ kg.m} = 5,17 \text{ kN.m}$$

$$M_{ty} = 1281,417 \text{ kg.m} = 12,81 \text{ kN.m}$$

- a. Perhitungan kebutuhan pada lapangan

- Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d_x = t_{\text{plat}} - t_{\text{selimut}} - D/2$$

$$dx = 120\text{mm} - 20\text{mm} - \frac{13\text{mm}}{2} = 93,5\text{mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{400\text{Mpa}}{0,85 \cdot 30\text{Mpa}} = 15,69$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400\text{Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30\text{Mpa}}{400\text{Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0244$$

$$M_{ly} = 5,17 \text{ kN.m} = 5174950 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{5174950 \text{ N.mm}}{0,9} = 5749944,4 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{5749944,4 \text{ N.mm}}{1000\text{mm} \cdot 93,5^2} = 0,65 \text{ N.mm}$$

$$p = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 0,65 \text{ N.mm}}{400\text{Mpa}}} \right) = 0,00164$$

Karena $p < p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0035$ sehingga:

$$A_{s \text{ perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000\text{mm} \cdot 93,5\text{mm}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 327,25 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D13-200 $\rightarrow A_{s \text{ pakai}} = 663,93 \text{ mm}^2$

- Kontrol jarak tulangan
 Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal pelat, sehingga:
 $120\text{mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}} \rightarrow 120\text{mm} < 2 \cdot 120\text{mm}$
 $120\text{mm} < 240\text{mm}$ (OK!)
- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak
 Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4. Syarat:
 $s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5 \cdot C_c$ dan tidak melebihi
 $s_{\text{max}} = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s}\right)$
 $f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 400\text{Mpa} = 266,67\text{Mpa}$
 Dengan C_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, sehingga $C_c = 20\text{ mm}$
 $s = 300 \cdot \left(\frac{280}{266,67}\right) - 2,5 \cdot 20 = 265\text{mm}$
 $s_{\text{max}} = 300 \cdot (266,67) = 315\text{mm}$
 Jarak antar tulangan dipakai = $200 < 265\text{mm}$ (OK!)
- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser
 Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah:
 $V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{12,17\text{kN/m}^2 \cdot 4,150\text{m}}{2} = 25,25\text{ kN}$
 Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.
 $V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$
 Dimana: $\lambda = 1$ untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1.

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 93,5 \text{ mm} \\ = 87526,06 \text{ N} = 87,53 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 87,53 \text{ kN} = 65,64 \text{ kN}$$

$$25,10 \text{ kN} < 65,64 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi \cdot V_c \text{ (OK!)}$$

b. Perhitungan kebutuhan pada tumpuan

- Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d_x = t \text{ plat} - t \text{ selimut} - D/2$$

$$d_x = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} = 93,5 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ = 0,0244$$

$$M_{ty} = 12,81 \text{ kN.m} = 12814170 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{12814170 \text{ N.mm}}{0,9} = 14237966,67 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{14237966,67 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot 93,5^2} = 1,62 \text{ N.mm}$$

$$p = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,69.1,62N \cdot mm}{400Mpa}} \right)$$

$$= 0,0042$$

Karena $p < p_{min}$, maka dipakai $p = 0,0042$ sehingga:

$$A_{s \text{ perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0042 \cdot 1000mm \cdot 93,5mm$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 392,70 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D13-200} \rightarrow A_{s \text{ pakai}} = 663,93 \text{ mm}^2$$

- Kontrol jarak tulangan
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal pelat, sehingga:
 $120mm < 2 \cdot t_{plat} \rightarrow 120mm < 2 \cdot 120mm$
 $120mm < 240mm$ (OK!)
- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak
Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4. Syarat:
 $s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot C_c$ dan tidak melebihi
 $s_{max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right)$
 $f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 400Mpa = 266,67Mpa$
Dengan C_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, sehingga $C_c = 20 \text{ mm}$
 $s = 300 \cdot \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5 \cdot 20 = 265mm$
 $s_{max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{266,67} \right) = 315mm$
Jarak antar tulangan dipakai = $200 < 265mm$ (OK!)

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah:

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{12,17 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,150 \text{ m}}{2} = 25,25 \text{ kN}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana: $\lambda = 1$ untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1.

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 93,5 \text{ mm} \\ = 87526,06 \text{ N} = 87,53 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 87,53 \text{ kN} = 65,64 \text{ kN}$$

$$25,10 \text{ kN} < 65,64 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi \cdot V_c \text{ (OK!)}$$

c. Perhitungan Tulangan Susut

Pada pelat struktur dimana tulangan lenturnya terpasang dalam satu arah saja harus disediakan tulangan susut dan suhu yang arahnya tegak lurus terhadap tulangan lentur tersebut, dengan rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sbagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014 :

1. Pelat dengan batang tulangan ulir $f_y = 280$ atau 350 Mps - 0,002
2. Pelat dengan tulangan ulir atau jaring kawat las $f_y = 420$ Mpa -0,0018
3. Pelat dengan mutu tulangan $f_y > 420$ Mpa - 0,0018 x $420/f_y$

(SNI 2847-2013 Pasal 7.12)

Luas Tulangan Susut :

$$\text{As Perlu} = 0,002 \times 1000 \text{ mm} \times 93,5 \text{ mm} \\ = 187 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan Pakai} = \text{Ø}10 - 200$$

$$\text{As pasang} = 392,7 \text{ mm}^2$$

Cek :

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$392,7 \text{ mm}^2 > 187 \text{ mm}^2$$

Type Plat	Momen yg Terjadi		fc'	fy	$\beta 1$	d	m	ρ min	Rn	ρ	ρ pakai	As perlu		Tulangan dipakai			Cek
	kg.m	Mpa										Mpa	mm ²	D	s	As pakai	
P1 450x450	Mlx	517.50	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.59	0.0015	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	517.50							0.59	0.0015	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	1281.42							1.47	0.0038	0.0038	353.08	13	200	663.93	OK!	
P2 450x350	Mlx	1281.42	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	1.47	0.0038	0.0038	353.08	13	200	663.93	OK!	
	Mly	462.13							0.53	0.0013	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	283.24							0.32	0.0008	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P3 450x150	Mlx	1028.60	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	1.18	0.0030	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	849.71							0.97	0.0025	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	115.00							0.13	0.0003	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P4 450x200	Mlx	21.90	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.03	0.0001	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	227.26							0.26	0.0007	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	156.07							0.18	0.0004	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P5 350x150	Mlx	204.44	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.23	0.0006	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	53.54							0.06	0.0002	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	404.02							0.46	0.0012	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P6 350x200	Mlx	277.46	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.32	0.0008	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	115.00							0.13	0.0003	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	30.12							0.03	0.0001	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P7 350x350	Mlx	227.26	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.26	0.0007	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	156.07							0.18	0.0004	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	194.71							0.22	0.0006	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P8 150x150	Mlx	63.28	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.07	0.0002	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	399.15							0.46	0.0012	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	277.46							0.32	0.0008	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P8 150x150	Mlx	417.40	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.48	0.0012	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	417.40							0.48	0.0012	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	1013.69							1.16	0.0030	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P8 150x150	Mlx	1013.69	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	1.16	0.0030	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	98.57							0.11	0.0003	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	46.55							0.05	0.0001	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
P8 150x150	Mlx	208.09	30	400	0.85	93.50	15.69	0.0035	0.24	0.0006	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mly	156.07							0.18	0.0004	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	
	Mtx	156.07							0.18	0.0004	0.0035	327.25	13	200	663.93	OK!	

4.5.2 Perhitungan 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 dasar dengan lantai 2. Denah untuk penempatan tangga yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:

4.5.2.1 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 D16.
- Tebal pelat tangga = 150 mm
- Tebal pelat bordes = 150 mm
- Tebal efektif pelat tangga :

$$\begin{aligned} \text{Luas}\Delta 1 &= 0,5 \times i \times t = 0,5 \times 170\text{mm} \times 300\text{mm} \\ &= 25500\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas}\Delta 2 &= 0,5 \times (i^2 \times t^2)^{0,5} \times d = 0,5 \times (170^2 \times \\ &300^2)^{0,5} \times d = 172,41\text{mm} \cdot d \end{aligned}$$

$$\text{Persamaan Luas } \Delta 1 = \text{Luas } \Delta 2$$

$$25500\text{mm}^2 = 172,41\text{mm} \cdot d$$

$$d = 147,9\text{mm} \cdot 0,5d = 74\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif pelat tangga} &= 150 \text{ mm} + 74 \text{ mm} = 224 \\ \text{mm R230mm} &= 23 \text{ cm} = 0,23 \text{ m} \end{aligned}$$

4.5.2.2 Pembebanan Pada Tangga dan Bordes

Pelat tangga dan pelat bordes menerima kombinasi beban ultimate dari beban mati dan beban hidup.

1. Beban mati (DL)

Beban mati untuk tangga:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri} &= \\
 0,23 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 552 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban keramik + spesi} &= 45 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban railing} &= 9,8 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{qDL} &= 607 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban mati untuk bordes:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri} &= \\
 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 360 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban keramik + spesi} &= 45 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban railing} &= 9,8 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{qDL} &= 415 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Beban hidup (LL)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup tangga / bordes} &= 341 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{qLL} &= 341 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Beban ultimate

Beban ultimate untuk tangga:

$$\begin{aligned}
 \text{qU tangga} &= 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} \\
 &= 1,2 \cdot 607 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \cdot 341 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 1274 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban ultimate untuk bordes:

$$\begin{aligned}
 \text{qU bordes} &= 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} \\
 &= 1,2 \cdot 415 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \cdot 341 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 1043,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban merata yang terjadi:

Pada pelat tangga (datar)

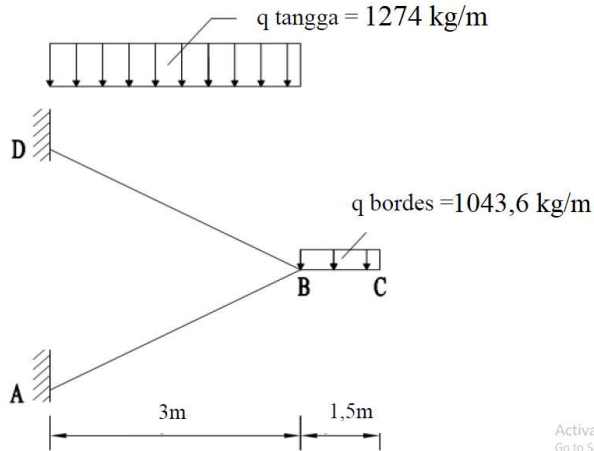
$$\begin{aligned}
 &= q \text{ tangga} \times \text{lebar tangga} \\
 &= 1274 \text{ kg/m}^2 \times 1,75 \text{ m} \\
 &= 2229,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Pada pelat bordes = q bordes x lebar bordes

$$\begin{aligned}
 &= 1043,6 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\
 &= 1565,4 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

4.5.2.3 Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Menghitung gaya-gaya yang terjadi pada pelat tangga dan bordes, menggunakan penyelesaian dengan cara cross / distribusi momen:



Gambar 4.9 Cross Momen Tangga

Penyelesaian untuk cross/distribusi momen:

$$\begin{aligned}\mu_{BA} : \mu_{BC} : \mu_{BD} &= \frac{4EI}{L} : \frac{0EI}{L} : \frac{4EI}{L} \\ &= \frac{4EI}{3,0m} : \frac{0EI}{1,5m} : \frac{4EI}{3,0m} \\ &= 1,33EI : 0 : 1,33EI \\ &= 0,5 : 0 : 0,5\end{aligned}$$

$$\text{Kontrol} = 0,5 + 0 + 0,5 = 1 \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}MF_{BA} &= \frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 2229,5 \frac{kg}{m} \cdot (3,0m)^2 \\ &= 1672,13kg \cdot m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MF_{AB} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 \\ &= -\frac{1}{12} \cdot 2229,5 \frac{kg}{m} \cdot (3,0m)^2 \\ &= -1672,13kg \cdot m\end{aligned}$$

$$MF_{BC} = \frac{1}{2} \cdot q_{bordes} \cdot L^2 = \frac{1}{2} \cdot -1565,4 \frac{kg}{m} \cdot (1,5m)^2$$

$$= -1761,08kg \cdot m$$

$$MF_{DB} = -\frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2$$

$$= -\frac{1}{12} \cdot 2229,5 \frac{kg}{m} \cdot (3,0m)^2$$

$$= -1672,13kg \cdot m$$

$$MF_{BD} = \frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 2229,5 \frac{kg}{m} \cdot (3,0m)^2 =$$

$$1672,13kg \cdot m$$

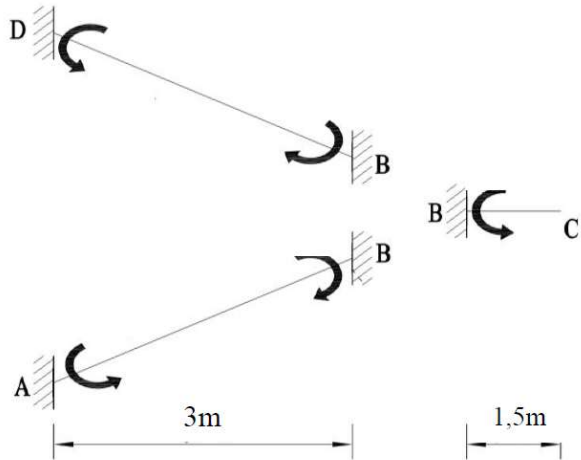
Tabel 4.11. Perhitungan Cross Tangga

Titik	A	B			D
Batang	AB	BA	BC	BD	DB
FD	0	-0.5	0	-0.5	0
MF	-1672.13	1672.13	-1761.08	1672.13	-1672.13
MD	0	-791.59	0	-791.59	0
MI	-395.795	0	0	0	-395.795
MD	0	0	0	0	0
Makhir	-2067.93	880.54	-1761.08	880.54	-2067.93

Kontrol, $\Sigma MB = 0$

$$M_{BA} + M_{BC} + M_{BD} = 0$$

$$880,54Kg \cdot m - 1761,08 kg \cdot m + 880,54 kg \cdot m = 0 \text{ (OK!)}$$



Gambar 4.10 Cross Momen Tangga

$$\Sigma M_A = 0$$

$$0 = M_{BA} - V_B \cdot l_{AB} + \frac{1}{2} q_{AB} \cdot l_{AB}^2 - M_{AB}$$

$$V_B = 3071,92 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

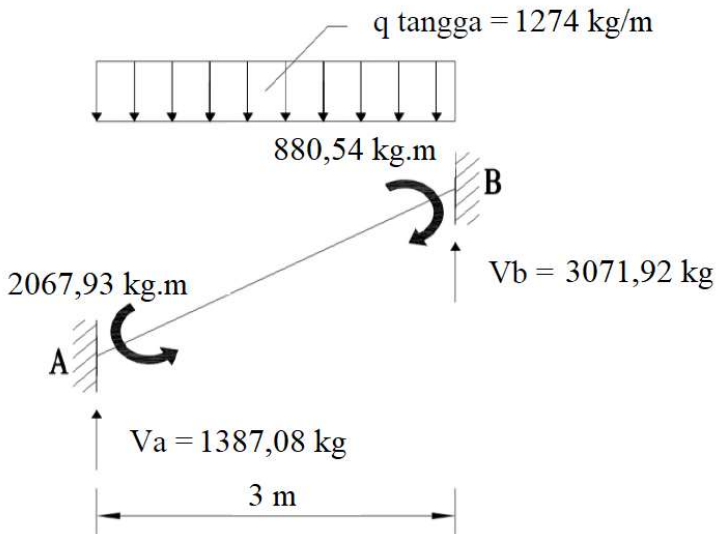
$$0 = M_{AB} - V_A \cdot l_{AB} + \frac{1}{2} q_{AB} \cdot l_{AB}^2 - M_{BA}$$

$$V_A = 1387,08 \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$= V_A - q_{AB} \cdot l_{AB} + V_B$$

$$= 0 \text{ (OK)}$$



Gambar 4.11 Cross Momen Tangga

$$Dx = 0$$

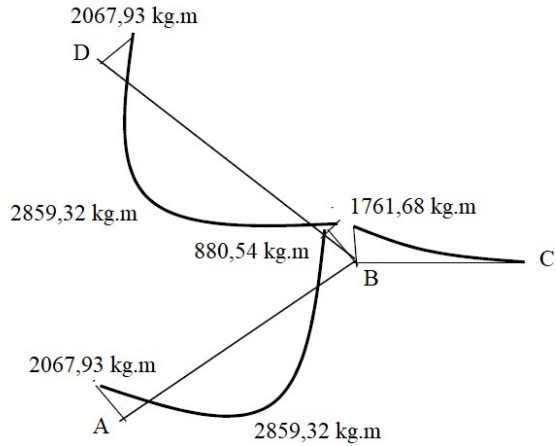
$$1387,08 - 1274(0,86)x = 0$$

$$x = 1,26 \text{ m}^2$$

$$M_{\text{max}} = Vbx - \frac{1}{2}qx^2$$

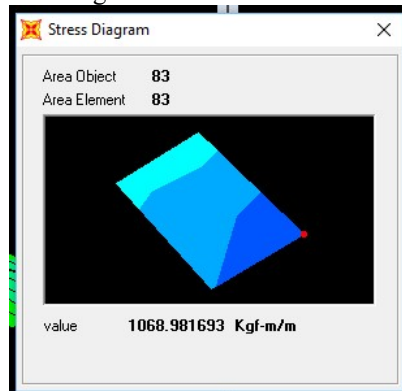
$$= 3071,92 \cdot 1,26 - \frac{1}{2} \cdot 1274 \cdot 1,26^2$$

$$= 2859,32 \text{ K}$$



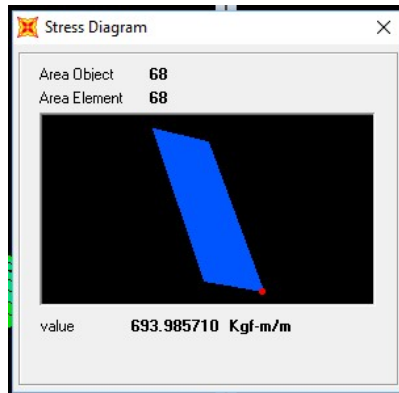
Gambar 4.12 Cross Momen Tangga

Momen yang ditinjau menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan nilai sebagai berikut :



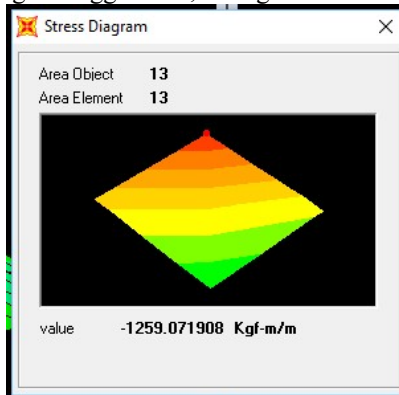
Gambar 4.13 Momen Tumpuan Tangga

Momen tumpuan tangga : 1068,981 Kg.m



Gambar 4.14 Momen Lapangan Tangga

Momen lapangan tangga : 693,985 kg.m



Gambar 4.15 Momen Tumpuan Bordes

Momen tumpuan bordes : 1259,07 Kg.m

Momen yang ditinjau untuk penulangan adalah diambil momen yang terbesar antara perhitungan manual dan perhitungan menggunakan program bantu SAP 2000 v.14, sehingga didapatkan :

Momen pelat tangga : 2859,32 Kg.m
Momen bordes : 1761,68 Kg.m

4.5.2.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

$$L_y = L_n = 3000 \text{ mm}$$

$$L_x = S_n = 1750 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3000\text{mm}}{1750\text{mm}} = 1,71 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

$$d = 150\text{mm} - 20\text{mm} - \left(\frac{12\text{mm}}{2}\right) = 124\text{mm}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada pelat tipe P1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.12. Kebutuhan Tulangan Pelat Tangga

	Pelat Tangga
Tebal Plat (mm)	150
Mu (kN.m)	20.6793
d (mm)	124
ρ min	0.0035
ρ	0.0110
ρ Pakai	0.0110
As min (mm ²)	1364
As pakai (mm ²)	2260,8
Tulangan dipakai	D12-50
Cek Syarat tul. (<300 mm)	OK!
Cek retak (<265 mm)	OK!
Vu (kN)	19.11
ϕ Vc (kN)	86.59

Cek Geser	OK!
-----------	-----

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

$$20\% \times \text{Tulangan utama (As pakai)} = 0,2 \times 565,2 \text{ mm}^2 \\ = 113,04 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai D12-300 dengan $A_s = 376,99 \text{ mm}^2$

4.5.2.5 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

$$L_y = L_n = 3500 \text{ mm}$$

$$L_x = S_n = 1500 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3500 \text{ mm}}{1500 \text{ mm}} = 2,3 < 2 \text{ (Pelat satu arah)}$$

$$d = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{12 \text{ mm}}{2} \right) = 124 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada pelat tipe P1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.13. Kebutuhan Tulangan Pelat Bordes

	Pelat Tangga
Tebal Plat (mm)	150
Mu (kN.m)	17.61
d (mm)	124
ρ min	0.0035
ρ	0.0032
ρ Pakai	0.0035
As min (mm ²)	434
As pakai (mm ²)	565.2
Tulangan dipakai	D12-200

Cek Syarat tul. (<300 mm)	OK!
Cek retak (<265 mm)	OK!
V_u (kN)	18.27
ϕV_c (kN)	86.59
Cek Geser	OK!

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:
 $20\% \times \text{Tulangan utama (As pakai)} = 0,2 \times 565,2 \text{ mm}^2$
 $= 113,04 \text{ mm}^2$

Sehingga dipakai D12-300 dengan $A_s = 376,99 \text{ mm}^2$

4.5.2.6 Perhitungan Tulangan Balok Bordes

- A. Perhitungan Tulangan Torsi
 Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4.16 Momen Torsi Pada Balok Bordes

Kombinasi 1,2DL + 1,6LL

Momen Torsi : - 170968,93 Nmm

Perhitungan penulangan balok bordes sama dengan perhitungan balok induk dan balok anak. Berikut adalah tabel kebutuhan tulangan torsi pada bordes yang dihitung menggunakan program bantu Microsoft Excel

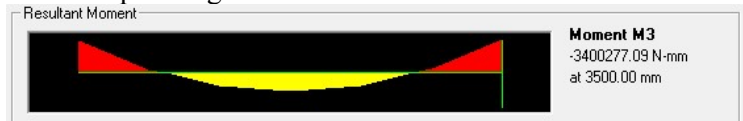
Tabel 4.13. Kebutuhan Tulangan Torsi Balok Bordes

	Balok Bordes
b	300
h	400
T_u (Nmm)	170968.93
d (mm)	342

Tu min	3506989.29
Tu max	1394345.1392
Cek Pengaruh	Tidak Perlu
Tulangan Pakai	2D12

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut balok bordes tidak memerlukan tulangan torsi sehingga digunakan tulangan torsi minimum yaitu 2 D12

B. Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Hasil Output Diagram Momen



**Gambar 4.17 Momen Tumpuan Pada Balok Bordes
Kombinasi 1,2DL + 1,6LL**

Momen Tumpuan : - 3400277,09 Nmm

Perhitungan penulangan balok bordes sama dengan perhitungan balok induk dan balok anak. Berikut adalah tabel kebutuhan tulangan lentur tumpuan pada bordes yang dihitung menggunakan program bantu Microsoft Excel

Tabel 4.14. Kebutuhan Tulangan Lentur Tumpuan Balok Bordes

	Balok Bordes
b	300
h	400
Mu (Nmm)	3400277.09
d (mm)	342
p min	0.0035
p	0.0003
p Pakai	0.0035

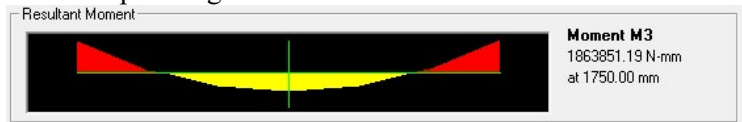
As perlu (mm ²)	359.1
As pakai (mm ²)	401.92
Tulangan dipakai	2D16
As' perlu (mm ²)	107.73
As' pakai (mm ²)	401.92
Tulangan dipakai	2D16

Berdasarkan hasil perhitungan maka tulangan lentur tumpuan pakai untuk balok bordes adalah sebagai berikut:

- Tulangan Tarik (Sisi Atas) : 2D16
- Tulangan Tekan (Sisi Bawah) : 2D16

C. Perhitungan Tulangan Lapangan

Hasil Output Diagram Momen



Gambar 4.18 Momen Lapangan Pada Balok Bordes Kombinasi 1,2DL + 1,6LL

Momen Lapangan : 1863851,19 Nmm

Perhitungan penulangan balok bordes sama dengan perhitungan balok induk dan balok anak. Berikut adalah tabel kebutuhan tulangan lentur tumpuan pada bordes yang dihitung menggunakan program bantu Microsoft Excel

Tabel 4.14. Kebutuhan Tulangan Lentur Lapangan Balok Bordes

	Balok Bordes
b	300

h	400
Mu (Nmm)	1863851.19
d (mm)	342
p min	0.0035
p	0.0001
p Pakai	0.0035
As perlu (mm ²)	359.1
As pakai (mm ²)	401.92
Tulangan dipakai	2D16
As' perlu (mm ²)	107.73
As' pakai (mm ²)	401.92
Tulangan dipakai	2D16

Berdasarkan hasil perhitungan maka tulangan lentur tumpuan pakai untuk balok bordes adalah sebagai berikut:

- Tulangan Tarik (Sisi Atas) : 2D16
- Tulangan Tekan (Sisi Bawah) : 2D16

D. Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan penulangan balok bordes sama dengan perhitungan balok induk dan balok anak. Berikut adalah tabel kebutuhan tulangan geser pada bordes yang dihitung menggunakan program bantu Microsoft Excel

Tabel 4.15. Kebutuhan Tulangan Geser Balok Bordes

	Balok Bordes
Vu (N)	36426.94405
Cek Kondisi Geser	
Kondisi 1	Tidak Memenuhi

Kondisi 2	Memenuhi
Kondisi 3	Tidak Memenuhi
Kondisi 4	Tidak Memenuhi
Kondisi 5	Tidak Memenuhi
Penulangan Balok	
Vs perlu (N)	33858.00
Av (mm ²)	157
S perlu (mm)	381
S pakai (mm)	100

Berdasarkan hasil perhitungan maka tulangan geser yang dipakai adalah Ø10 – 100.

4.7 Perhitungan Struktur Primer

Perhitungan struktur primer, portal pada bangunan yang akan ditinjau adalah sebanyak dua portal. Portal tersebut dibagi menjadi satu portal arah memanjang dan satu portal arah melintang. Nantinya dari masing-masing portal akan dihitung kebutuhan tulangan balok, kolom serta hubungan balok-kolom dari masing-masing portal tersebut. Portal yang akan ditinjau adalah sebagai berikut:

4.7.1 Desain Struktur Balok Induk

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.

A. Data Perencanaan

Tipe Balok	: B1
As Balok	: 6 (C-B)
Bentang Balok (L balok)	: 6500 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 (f_c')	: 30 Mpa
Kuat Leleh Tul.Lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat Leleh Tul.Geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Kuat Leleh Tul.Puntir (f_{yt})	: 240 Mpa
Diameter Tul.Lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter Tul.Geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter Tul.Puntir (\emptyset puntir)	: 12 mm
Jarak Spasi Tul.Sejajar (S sejajar)	: 25 mm
Jarak Spasi Tul.Antar Lapis (s)	: 25 mm
Tebal Selimut Beton (t decking)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (Φ)	: 0,9

Faktor Reduksi Kekuatan Geser (Φ) : 0,75
 Faktor Reduksi Kekuatan Putir (Φ) : 0,75

Maka tinggi efektif balok:

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur}$$

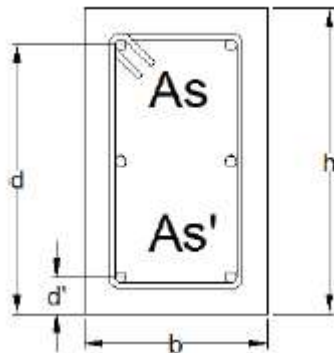
$$= 600 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$$

$$= 542 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset \text{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur}$$

$$= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$$

$$= 58 \text{ mm}$$



Gambar 4.16 Sketsa Balok Induk

B. Gaya yang Terjadi Pada Balok

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan.

Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

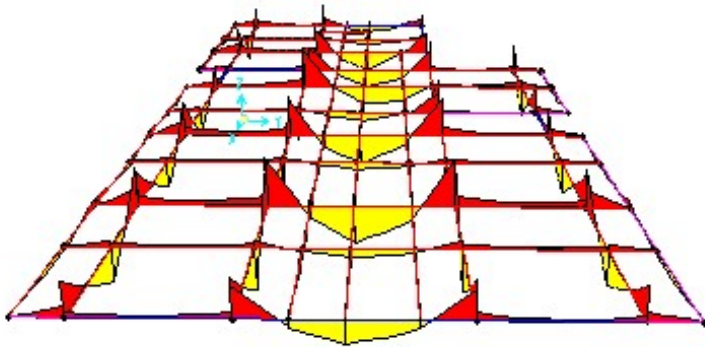
Kombinasi pembebanan non-gempa:

1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1,6L + 0,8W$
4. $U = 0,9D + 1,0W$

Kombinasi pembebanan gempa:

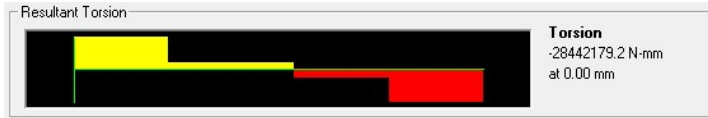
1. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0E_x + 0,3E_y$
2. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0E_y + 0,3E_x$
3. $U = 0,9D + 1,0E$

Perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0L + 1,0E_x + 0,3E_y$ adalah kombinasi kritis dalam permodelan.



Gambar 4.17 Momen Pada Balok Induk

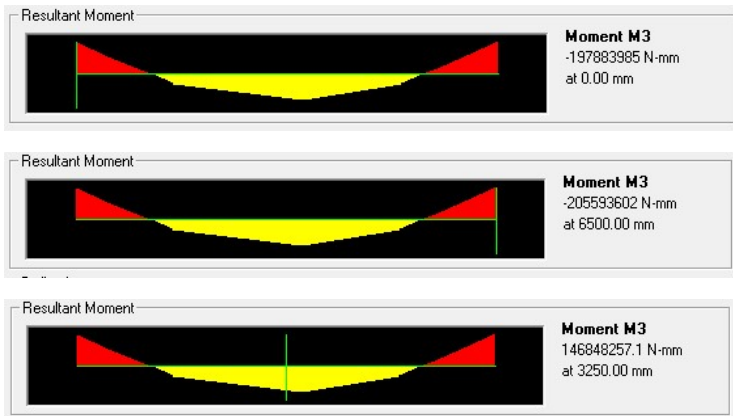
Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4.18 Momen Torsi Pada Balok Induk
Kombinasi 1,2DL + 1,0 LL + 1,0Ey + 0,3 Ex

Momen Torsi = - 26448747,7 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4.19 Momen Lentur Pada Balok Induk
Kombinasi 1,2DL + 1,6LL

Momen tumpuan kiri = - 197883985 Nmm

Momen tumpuan kanan = - 205593602 Nmm

Momen Lapangan = 146848257,1 Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser





Gambar 4.20 Gaya Geser Pada Balok Induk

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2, V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom. Gaya geser terfaktor $V_u = 177536,98$ N.

Hasil Output Diagram Gaya Axial



Gambar 4.21 Gaya Axial Pada Balok Induk

Kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1Ey + 0,3Ex

Gaya axial = 91818,75 N

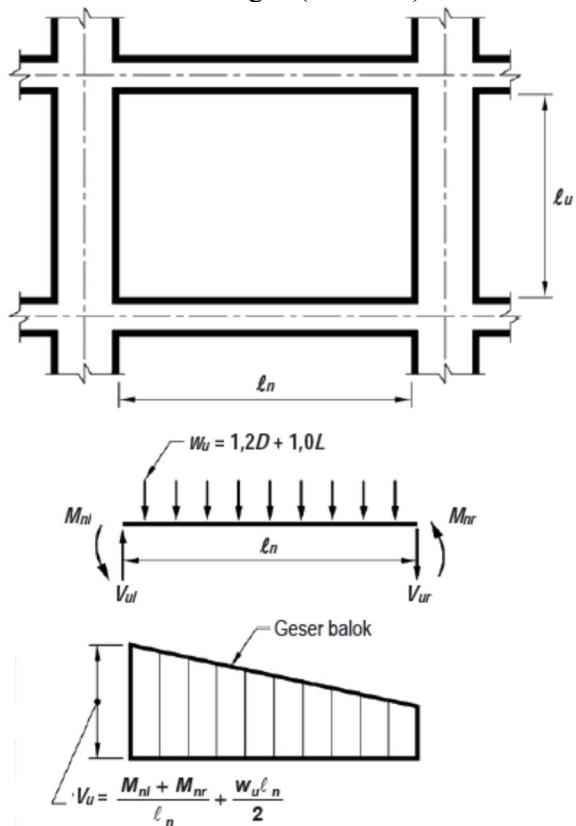
C. Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi koomponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan—ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \times 600 \times 30}{10} = 720000N$$

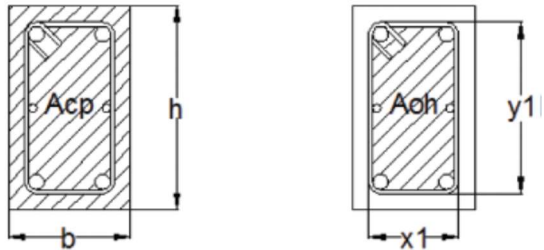
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinsai 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex pada komponen struktur sebesar 91818,75 N < 720000 N.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Periksa Kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser, lentur, dan putir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



Gambar 4.22 Sketsa Penampang Balok Induk 40/60

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400\text{mm} \times 600\text{mm} \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Parameter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400\text{mm} + 600\text{mm}) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times \\ &\quad (h_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm}) \times \\ &\quad (600\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm}) \\ &= 158100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser}) + \\ &\quad (h_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(400\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm}) + \\ &\quad (600\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm})] \\ &= 1640\text{mm} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output daigram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

- Momen Puntir Ultimate
Akibat Kombinasi 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex
 $T_u = 26448747,7 \text{ Nmm}$

- Momen Puntir Nominal
 $T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{26448747,7}{0,75} = 35264996 \text{ N}$

- Geser Ultimate
 $V_u = 177536,98 \text{ N}$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\ &= 9819570 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\ &= 39041664 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u \text{ min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_u \text{ min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_u \text{ min} < T_u$

$$9819570 \text{ Nmm} < 26448747,7 \text{ Nmm}$$

(memerlukan tulangan puntir)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{Bw.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7.Aoh^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{Bw.d} + 0,66\sqrt{fc'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{177537}{400 \times 542}\right)^2 + \left(\frac{26448747 \times 1640}{1,7 \times 158100^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{0,16 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542}{400 \times 542} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

$$1,0312 \leq 3,3685 \text{ (Memenuhi)}$$

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 :

$$Al = \frac{At}{s} Ph \left(\frac{Fyt}{Fy}\right) Cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan dibawah :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times Fyt}{s} Cot \phi$$

Untuk beton non prategang $\phi = 45^\circ$.

$$\begin{aligned} Ao &= 0,85 \times Aoh \\ &= 0,85 \times 158100 \\ &= 134385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fyt \times Cot \phi} \\ &= \frac{35264996}{2 \times 134385 \times 240 \times Cot 45} = 0,547 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$Al = 0,547 \times 1640 \times \left(\frac{240}{400}\right) Cot^2 45$$

$$= 538,248 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} Al \text{ min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times Acp}{fy} - \left(\frac{At}{s}\right) Ph \frac{Fyt}{Fy} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 240000}{400} - 0,547 \times 1640 \times \frac{240}{400} \\ &= 842,012 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan $\frac{At}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{Bw}{fyt}$

$$0,175 \frac{400}{240} = 0,292$$

Maka nilai $\frac{At}{s} > 0,292$ (Memenuhi)

Kontrol :

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$ maka gunakan $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$ maka gunakan $Al \text{ perlu}$

$$538,248 \text{ mm}^2 \leq 842,012 \text{ mm}^2$$

(Maka gunakan $Al \text{ min}$)

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar $842,012 \text{ mm}^2$.

- Luasan Tulangan Puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{842,012}{4} = 210,503 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

- Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambaahn luasan tulangan puntir sebesar $421,006 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri dipasang tulangan puntir

sebesar :

$$2 \times \frac{Al}{4} = 2 \times \frac{842,012}{4} = 421,006 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (Sisi tengah)

$$n = \frac{As}{(\text{Luasan Dpuntir})}$$

$$n = \frac{421,006}{0,25 \times \pi \times 12^2}$$

$$n = 3,724 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D12

- Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (Sisi tengah)

$$\begin{aligned} As &= n \times \text{Luasan Dpuntir} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 12^2 \\ &= 452,160 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang \geq As Perlu

$$452,160 \text{ mm}^2 \geq 421,006 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 4D12.

E. Perhitungan Penulangan Lentur

- Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2DL + 1,6 LL$$

- Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 542$$

$$= 325,2 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$Xmax = 0,75 \times Xb$$

$$= 0,75 \times 325,2$$

$$= 243,9 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum
 $X_{min} = d' = 58 \text{ mm}$
- Garis netral rencana (Asumsi)
 $X_{rencana} = 100 \text{ mm}$
- Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85f_c'b\beta_1X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100$$

$$= 867000 \text{ N}$$

- Luas tulangan tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y}$$

$$= \frac{867000}{400}$$

$$= 2167,5 \text{ mm}^2$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2}\right)$$

$$= 2167,5 \times 400 \times \left(542 - \frac{0,85 \times 100}{2}\right)$$

$$= 433066500 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 197883985 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{197883985}{0,75}$$

$$Mn = 263845313,33 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap
Syarat :

$$Mns > 0 \rightarrow \text{Maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns \leq 0$$

$$\rightarrow \text{Maka tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 263845313,33Nmm - 433066500Nmm$$

$$= -169654253 Nmm < 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{fy}{0,85fc} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85fc\beta}{fy} \times \frac{600}{600+f} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,0244$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{197883985}{0,75} = 263845313,33 Nmm$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{263845313,33}{400 \times 542^2} = 2,245 N/mm^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (2,245)}{400}} \right] = 0,0057$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0057 < 0,0244 \text{ (Ok)}$$

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0057 \times 400 \times 542$$

$$= 1235,76mm^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$At = 210,503mm^2$$

$$As \text{ perlu} = 1235,76 + 210,503$$

$$= 1446,263mm^2$$

- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$= \frac{1446,263}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 7,2 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)
 $As_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan Dlentur}$
 $= 8 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$
 $= 1608,50 \text{ mm}^2$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$1608,50 \text{ mm}^2 > 1446,263 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan
 Menurut Sni 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,3As$$

$$= 0,3 \times 1446,263$$

$$= 433,879 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$= \frac{433,879}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 2,2 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Bawah)

$$As'_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan Dlentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 824,248 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$804,248 \text{ mm}^2 > 433,879 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$Smaks \geq Ssejajar = 25\text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$Smaks \leq Ssejajar = 25\text{mm} \rightarrow \text{susun}$$

$$> 1 \text{ lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan 2 lapis 8D16 dan tulangan 1 lapis 4 D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (8 \times 16)}{8 - 1}$$

$$= 24 \text{ mm}$$

Smaks ≤ *Ssyarat*

24 mm ≤ 25 mm (**Memenuhi**)

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (8 \times 16)}{8 - 1}$$

$$= 77,3 \text{ mm}$$

Smaks ≥ *Ssyarat*

77,3 mm ≥ 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 irisan penampang 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.

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luas} \text{ Dlentur} \\ &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1608,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luas} \text{ Dlentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 824,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan } (-)$$

$$824,248 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$824,248 \text{ mm}^2 \geq 536,167 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

• **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$\text{As pakai tulangan tarik 8D16} = 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 4D16} = 824,248 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{As_{pakai\ tul.\ tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1680,50 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 65,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{pasang} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1680,50 \times 400 \times \left(542 - \frac{65,9}{2} \right) \\ &= 342183410 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$Mn_{pasang} > Mn_{perlu}$$

$$342183410 \text{ Nmm} > 263845313,33 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60)

As 6 (B-C) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 2 Lapis

$$\text{Lapis 1} = 4\text{D16}$$

$$\text{Lapis 2} = 4\text{D16}$$

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

$$\text{Lapis 1} = 4\text{D16}$$

- **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi
:

1,2DL + 1,6 LL

- Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 542 \\ &= 325,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 325,2 \\ &= 243,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$X_{min} = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\ &= 867000 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{867000}{400} \\ &= 2167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 2167,5 \times 400 \times \left(542 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 433066500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu \text{ tumpuan} = 205593602 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{205593602}{0,75}$$

$$Mn = 274124802,7 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap
Syarat:

$$Mns > 0$$

Maka perlu tulangan lentur tekan

$$Mns \leq 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 274124802,7 \text{ Nmm} -$$

$$433066500 \text{ Nmm}$$

$$= -158941697 \text{ Nmm} > 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{fy}{0,85fc} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85fc\beta}{fy} \times \frac{600}{600+f} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,0244$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{205593602}{0,75}$$

$$= 274124802,7 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{274124802,7}{400 \times 542^2} = 2,333 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (2,333)}{400}} \right]$$

$$= 0,0061$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0061 < 0,0244 \text{ (Ok)}$$

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0061 \times 400 \times 542$$

$$= 1332,48 \text{ mm}^2$$
- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$At = 210,503 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ perlu} = 1332,48 + 210,503$$

$$= 1532,983 \text{ mm}^2$$
- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$= \frac{1532,983}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 7,6 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$$
- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times luasan \text{ Dlentur}$$

$$= 8 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1608,50 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As \text{ Pasang} > As \text{ perlu}$$

$$1608,50 \text{ mm}^2 > 1532,983 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan
Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,3As$$

$$= 0,3 \times 1532,983$$

$$= 459,895 \text{ mm}^2$$
- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$= \frac{459,895}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 2,2 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 824,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$804,248 \text{ mm}^2 > 459,895 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$Smaks \geq Ssejajar = 25\text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$\begin{aligned} Smaks \leq Ssejajar &= 25\text{mm} \rightarrow \text{susun} \\ &> 1 \text{ lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan dipakai tulangan 2 lapis 8D16 dan tulangan 1 lapis 4 D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$\begin{aligned} &= \frac{b - (2 \times tdelimut) - (2 \times Dgeser) - (n \times Dlentur)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (8 \times 16)}{8 - 1} \\ &= 24\text{mm} \end{aligned}$$

Smaks ≤ Ssyarat

$$24 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm (Memenuhi)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$\begin{aligned} &= \frac{b - (2 \times tdelimut) - (2 \times Dgeser) - (n \times Dlentur)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (8 \times 16)}{8 - 1} \\ &= 77,3\text{mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$77,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

- **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 irisan penampang 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.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D} \text{ lentur} \\ &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1608,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D} \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 824,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$824,248 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$824,248 \text{ mm}^2 \geq 536,167 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik 8D16} = 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan 4D16} = 824,248 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1680,50 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 65,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &= As \times fy \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1680,50 \times 400 \times (542 - \frac{65,9}{2}) \\
 &= 342183410 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka :

$Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$$342183410 \text{ Nmm} > 274124802,7 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60)

As 6 (B-C) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 2 Lapis
 - Lapis 1 = 4D16
 - Lapis 2 = 4D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
 - Lapis 1 = 4D16

- Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2DL + 1,6 LL$$

- Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{60} \right) \times 542 \\
 &= 325,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 Xmax &= 0,75 \times Xb \\
 &= 0,75 \times 325,2 \\
 &= 243,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$Xmin = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)

$$Xrencana = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85fc' b\beta 1 Xrencana$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100$$

$$= 867000 \text{ N}$$

- Luas tulangan tarik

$$Asc = \frac{cc'}{fy}$$

$$= \frac{867000}{400}$$

$$= 2167,5 \text{ mm}^2$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2}\right)$$

$$= 2167,5 \times 400 \times \left(542 - \frac{0,85 \times 100}{2}\right)$$

$$= 433066500 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 146848257 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{146848257}{0,75}$$

$$Mn = 195797676 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ Maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ Tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 195797676 \text{ Nmm} - 433066500 \text{ Nmm}$$

$$= -237268824 \text{ Nmm} > 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{fy}{0,85fc} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho b = \frac{0,85f_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho b = 0,0244$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{146848257}{0,75} = 195797676 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{195797676}{400 \times 542^2} = 1,666 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,666)}{400}} \right] \\ &= 0,0043 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0043 < 0,0244 \text{ (Ok)}$$

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0043 \times 400 \times 542$$

$$= 934,578 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$At = 210,503 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ perlu} = 934,578 + 210,503$$

$$= 1145,081 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$= \frac{1145,081}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 5,7 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur} \\
 &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$1206,372 > 1145,081 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$\begin{aligned}
 \text{As}' &= 0,3\text{As} \\
 &= 0,3 \times 1206,372 \\
 &= 361,911 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\
 &= \frac{361,911}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 1,8 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 \text{As}' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$402,124 \text{ mm}^2 > 361,911 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25\text{mm} \rightarrow$ susun 1 lapis
 $S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25\text{mm} \rightarrow$ susun > 1 lapis
 Direncanakan dipakai tulangan 1 lapis 6D16 dan tulangan 1 lapis 2D16.

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (6 \times 16)}{6 - 1} \\
 &= 40 \text{ mm} \\
 S_{maks} &\geq S_{syarat} \\
 40 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\
 &= 264 \text{ mm} \\
 S_{maks} &\geq S_{syarat} \\
 264 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

- **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 irisan penampang sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 A_{s, \text{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{lentur} \\
 &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s, \text{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan } (-)$$

$$402,124 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1206,372 \text{ mm}^2$$

$$402,124 \text{ mm}^2 \geq 402,124 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

• **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$\text{As pakai tulangan tarik 8D16} = 1206,372 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 4D16} = 402,124 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1260,372 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 47,3 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1206,372 \times 400 \times \left(542 - \frac{47,3}{2} \right)$$

$$= 250129170,5 \text{ mm}$$

Maka :

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$250129170,5 \text{ Nmm} > 195797676 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) As 6 (B-C) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis

Lapis 1 = 6D16

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D16

F. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B1 (40/60)

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 Tul.geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada Balok B1 (40/60) As 6 (B-C), didapat :	

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 8D16 = 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 4D16 = 824,428 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1680,50 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 65,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1680,50 \times 400 \times \left(542 - \frac{65,9}{2} \right) \\ &= 342183410 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 8D16 = 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 4D16 = 824,428 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1680,50 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 65,9 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

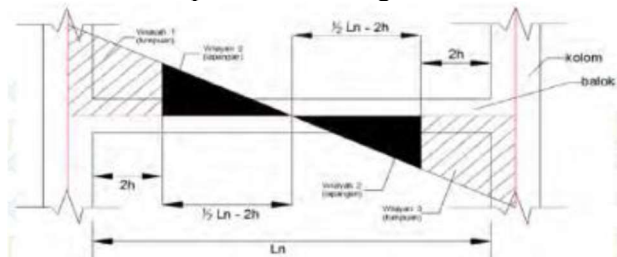
$$\begin{aligned}
 &= 1680,50 \times 400 \times \left(542 - \frac{65,9}{2}\right) \\
 &= 342183410 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1,6LL, dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 177536,98 \text{ N}$.

- Pembagian Wilayah Geser Balok

- Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) 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 4.23 Wilayah Geser 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)**

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542$$

$$= 201868,625 \text{ N}$$

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 400 \times 542 \\ &= 71544 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542 \\ &= 391862,627 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542 \\ &= 783725,253 \text{ N} \end{aligned}$$

- Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnr + Mnl}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnr + Mnl}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3)

Dimana :

$Vu1$ = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

Ln = Panjang bersih balok

Maka :

$$Vu1 = \frac{342183410 + 342183410}{6500} + 177536,98$$

$$Vu1 = 282824,183 \text{ N}$$

- Pengecekan Kondisi Geser Balok

- Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

(Tidak Perlu Tulangan Geser)

$$282824,183 \text{ N} > 75700,734 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

- Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

(Tulangan Geser Minimum)

$$75700,734 \text{ N} \leq 282824,183 \text{ N} > 151401,469 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

- Kondisi 3

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmin)$$

(Tulangan Geser Minimum)

$$151401,469 \text{ N} \leq 282824,183 \text{ N} > 205059,469 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

- Kondisi 4

$$\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmax)$$

(Tulangan Geser)

$$205059,469 \text{ N} \leq 282824,183 \text{ N} \leq 445298,439 \text{ N}$$

(Memenuhi)

- Kondisi 5

$$\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vsmax)$$

(Tulangan Geser)

$$445298,439 \text{ N} > 282824,183 \text{ N} \leq 739195,409 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$\begin{aligned} Vs \text{ perlu} &= \frac{Vu - \emptyset Vc}{\emptyset} \\ &= \frac{282824,183 - 0,75 \times 201868,625}{0,75} \\ &= 175230,286 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \times n \text{ kaki} \\ &= \left(\frac{1}{4} \pi 10^2\right) \times 2 \\ &= 157,080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} Sperlu &= \frac{Av \times fyv \times d}{Vs\ perlur} \\ &= \frac{157,080 \times 240 \times 542}{175230,286} \\ &= 116,606 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser.

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$$Smax < d/2$$

$$100 \text{ mm} < 542/2$$

$$100 \text{ mm} < 271 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

$$Smax < 600$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 100 mm

- **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Gese 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 :

- d/4
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter tulangan sengkang dan
- 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

- $Spakai < d/4$
 $100 \text{ mm} < 542/4$
 $100 \text{ mm} < 135,5 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$
- $Spakai < 8D_{lentu}$
 $100 \text{ mm} < 8(16\text{mm})$
 $100 \text{ mm} < 128 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$
- $Spakai < 24D_{sengkang}$

$$100 \text{ mm} < 24(10\text{mm})$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

$$d) \text{ Spakai} < 300 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (40/60) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ dengan seengkan 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times \left(\frac{1}{2}ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{282824,183 \times \left(\frac{1}{2} \times 6500 - 2 \times 600\right)}{\frac{1}{2}6500}$$

$$Vu2 = 178396,792 \text{ N}$$

• Pengecekan Kondisi Geser Balok

- Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow \textit{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

$$178396,792 \text{ N} > 75700,734 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

- Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

\rightarrow *Tulangan Geser Minimum*

$$75700,734 \text{ N} \leq 178396,792 \text{ N} > 151401,469 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

- Kondisi 3

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmin)$$

→ Tulangan Geser Minimum

$$151401,469 N \leq 178396,792 N \leq 205059,469 N$$

(Memenuhi)

- Kondisi 4

$$\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmax)$$

→ Tulangan Geser

$$205059,469 N > 178396,792 \leq 445298,439 N$$

(Tidak Memenuhi)

- Kondisi 5

$$\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vsmax)$$

→ Tulangan Geser

$$445298,439 N > 178396,792 N \leq 739195,409 N$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan

Kondisi 3.

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min} = 71544 N$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= \left(\frac{1}{4}\pi d^2\right) \times n \text{ kaki} \\ &= \left(\frac{1}{4}\pi 12^2\right) \times 2 \\ &= 157,080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} Sperlu &= \frac{Av \times fyv \times d}{Vs \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,080 \times 240 \times 542}{71544} \\ &= 285,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser.

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$$Smax < d/2$$

$$200 \text{ mm} < 542/2$$

$$200 \text{ mm} < 271 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

$$S_{max} < 600$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

- **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. Sengkang harus dipastikan tidak melebihi dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan).

[SNI 03-2947-2013 Pasal 21.3.4.(3)]

$$S_{pakai} < d/2$$

$$200 \text{ mm} < 542 \text{ mm}/2$$

$$200 \text{ mm} < 271 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (40/60) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$ dengan seengkang 2 kaki.

G. 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 :

$d_b = 16 \text{ mm}$	$\psi_s = 0.8$
$\psi_t = 1.3$	$\lambda = 1.0$
$\psi_e = 1.0$	

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang kkomponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui

penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan

SNI 03-2847-2013 pasal 12.

- 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.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2 sebagai berikut :

Tabel 4.14. Untuk Panjang Penyaluran

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,12 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	

Dimana,

λd = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

D_b = Diameter tulangan lentur yang dipakai

ψ_t = Faktor lokasi penulangan

ψ_e = Faktor pelapis

Tabel 4.15. Faktor Lokasi Penulangan dan Faktor Pelapis

ψ_g faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
ψ_e faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3a_b$, atau spasi bersih kurang dari $6a_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (Beton Normal)

Perhitungan

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\lambda d &= \left[\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] db \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 556,42 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \\ &\text{(Memenuhi)}\end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \lambda d \\ &= \frac{1532,98}{1608,50} \times 556,42 \\ &= 530,30 \approx 600 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 600 mm

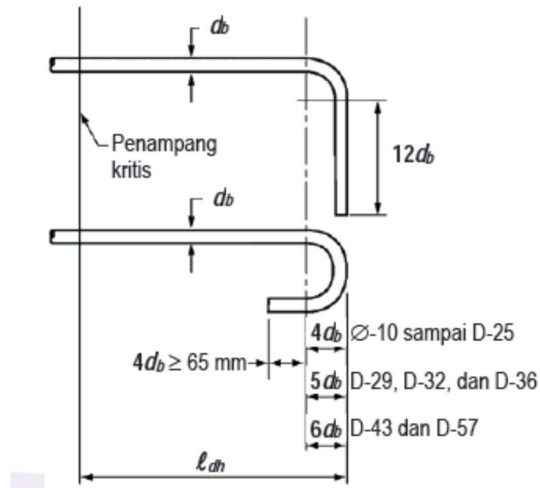
- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam

kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\psi e f_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψe diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψe dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4.24 Sketsa Panjang Penyaluran

Perhitungan

Syarat : $\lambda d_h > 150 \text{ mm}$

$$\lambda d = \left[\frac{0,24 \psi e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$= \left[\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right] 16$$

$= 280,433 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda dh \\ &= \frac{1532,98}{1608,50} \times 280,433 \\ &= 267,27 \approx 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait :

$$12db = 12 (16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait 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 :

$$\begin{aligned}\lambda dc &= \frac{0,24fy}{\lambda \sqrt{fc'}} db & \lambda dc &= (0,043fy)db \\ \lambda dc &= \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 16 & \lambda dc &= (0,043 \times 400) \times 16 \\ \lambda dc & & \lambda dc &= 275.2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda dc = 280,43 \text{ mm}$$

Diambil 280,43 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As' \text{ pasang}} \lambda dc$$

$$= \frac{459,895}{824,248} \times 280,43$$

$$= 156,47 \approx 200 \text{ mm}$$

Panjang kait :

$$4db + 4db = 4 (16) + 4 (16) = 128 \text{ mm}$$

4.6.2 Desain Struktur Balok Anak

Pada perhitungan penulangan balok anak, balok anak yang dihitung secara manual adalah balok anak 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.

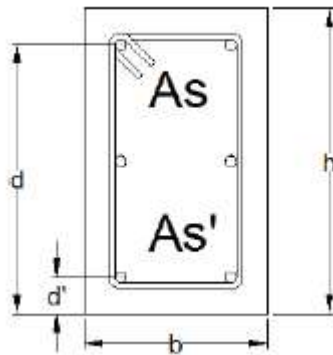
Data Perencanaan

Tipe Balok	: B2
As Balok	: B' (4-5)
Bentang Balok (L balok)	: 8000 mm
Dimensi Balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi Balok (h balok)	: 400 mm
Bentang Kolom (L kolom)	: 3600 mm
Dimensi Kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi Kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat Leleh Tul.Lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat Leleh Tul.Geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Kuat Leleh Tul.Puntir (f_{yt})	: 240 Mpa
Diameter Tul.Lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter Tul.Geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter Tul.Puntir (\emptyset puntir)	: 12 mm
Jarak Spasi Tul.Sejajar (S sejajar)	: 25 mm
Jarak Spasi Tul.Antar Lapis (s)	: 25 mm
Tebal Selimut Beton (t decking)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (Φ)	: 0,9
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (Φ)	: 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Putir (Φ)	: 0,75

Maka tinggi efektif balok:

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur}$$

$$\begin{aligned}
 &= 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right) \\
 &= 342 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \text{\textcircled{O}}\text{sengkang} + \frac{1}{2} \text{\textcircled{O}}\text{tul lentur} \\
 &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \times 16\right) \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.25 Sketsa Balok Anak

Gaya yang Terjadi Pada Balok

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa:

1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1,6L + 0,8W$
4. $U = 0,9D + 1,0W$

Kombinasi pembebanan gempa:

1. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey$
2. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex$
3. $U = 0,9D + 1,0E$

Perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey$ adalah kombinasi kritis dalam permodelan.



Gambar 4.26 Momen Pada Balok Anak

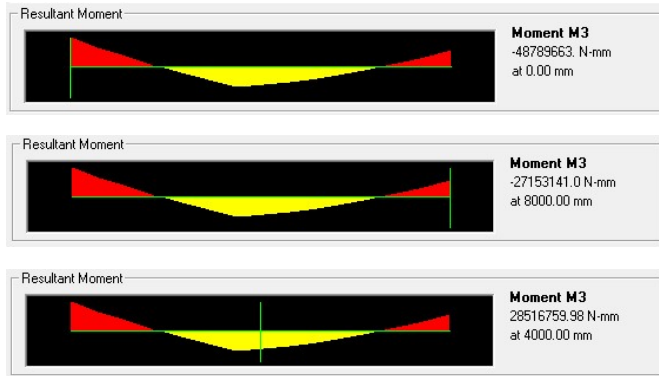
Hasil Output Diagram Torsi



**Gambar 4.27 Momen Torsi Pada Balok Anak
Kombinasi $1,2DL + 1,0 LL + 1,0Ex + 0,3 Ey$**

Momen Torsi = 1571876,85 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



***Gambar 4.28 Momen Lentur Pada Balok Anak
Kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0Ey + 0,3Ex***

Momen tumpuan kiri = - 48789663 Nmm

Momen tumpuan kanan = - 27153141 Nmm

Momen Lapangan = 28516760Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4.29 Gaya Geser Pada Balok Anak

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2, V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom. Gaya geser terfaktor $V_u = - 28720,81$ N.

Hasil Output Diagram Gaya Axial



Gambar 4.30 Gaya Axial Pada Balok Anak Kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0Ey + 0,3Ex

Gaya axial = 12700 N

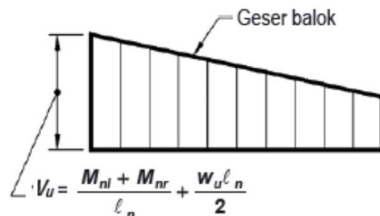
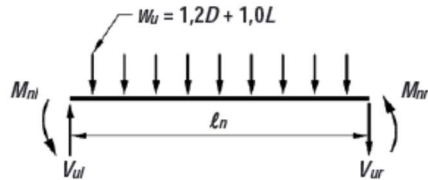
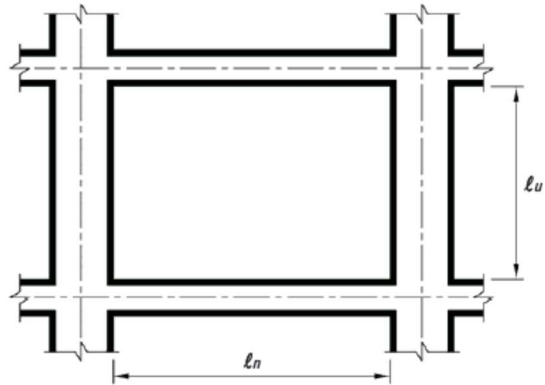
Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

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

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \times 400 \times 30}{10} = 360000N$$

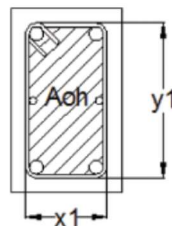
Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex pada komponen struktur sebesar 12700 N < 360000 N.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Periksa Kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser, lentur, dan putir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



Gambar 4.31 Sketsa Balok Anak

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300\text{mm} \times 400\text{mm} \\ &= 120000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Parameter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300\text{mm} + 400\text{mm}) \\ &= 1400 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &\quad \times (h_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (300\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm}) \\ &\quad \times (400\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm}) \\ &= 65100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(300\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm}) \\ &\quad + (400\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 10\text{mm})] \\ &= 1040\text{mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output daigram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

- Momen Puntir Ultimate
Akibat Kombinasi 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex
 $T_u = 1571876,85 \text{ Nmm}$

- Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{1571876,85}{0,75} \\ &= 2095835,5 \text{ N} \end{aligned}$$

- Geser Ultimate

$$V_u = 28720,81 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \\ &\quad \times \left(\frac{120000^2}{1400} \right) \\ &= 3506989,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \\ &\quad \times \left(\frac{120000^2}{1400} \right) \\ &= 1394345,14 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u \text{ min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_u \text{ min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_u \text{ min} > T_u$

$3506989,3 \text{ Nmm} > 1571876,85 \text{ Nmm} \rightarrow$

(Tidak memerlukan tulangan puntir)

Sesuai SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4

penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang. Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 2D12.

Perhitungan Penulangan Lentur

- **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2DL + 1,0 LL + 1,0Ey + 0,3Ex$$

- 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

$$X_{min} = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{650250}{400} \\ &= 1625,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1625,63 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 194750474 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal (M_n)

$$M_u \text{ tumpuan} = 4879663 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{48789663}{0,75} \\
 M_n &= 65052884 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$M_{ns} > 0$$

→ Maka perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 65052884 \text{ Nmm} - 194750474 \text{ Nmm}$$

$$= -129648470 \text{ Nmm} \leq$$

0 (Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,0244$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{4879663}{0,75} = 65052884 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{65052884}{400 \times 342^2} = 1,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,58)}{400}} \right] = 0,0041$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0041 < 0,0244 \text{ (Ok)}$$

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0041 \times 300 \times 342 \\ &= 420,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{Luasan Dlentur} \\ &= \frac{420,66}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 2,10 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \\ &\quad \times \text{luasan Dlentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$804,25 \text{ mm}^2 > 609,84 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan Menurut Sni 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$\begin{aligned} As' &= 0,3As \\ &= 0,3 \times 420,66 \\ &= 126,198 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur} \\ &= \frac{126,198}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 0,63 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \\ &\quad \times \text{luasan Dlentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$402,12 \text{ mm}^2 > 241,27 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} Smaks &\geq Ssejajar = 25\text{mm} \\ &\rightarrow \text{susun 1 lapis} \end{aligned}$$

$$Smaks \leq Ssejajar = 25\text{mm}$$

→ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan 2 lapis 8D16

dan tulangan 1 lapis 4 D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{\frac{n-1}{4-1}}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1}$$

$$= 45mm$$

Smaks ≥ *Ssyarat*

$$45 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2-1}$$

$$= 168mm$$

Smaks ≥ *Ssyarat*

$$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

- **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 irisan penampang 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 lentur tumpuan (-) . [SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini

dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \\ &\quad \times \text{luas} \text{ Dlentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \\ &\quad \times \text{luas} \text{ Dlentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan } (-)$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 804,25 \text{ mm}^2$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 268,08 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

• **Kontrol Kemampuan Penampang**

As pakai tulangan tarik 4D16= 804,25 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16= 402,12 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 42,05 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 804,25 \times 400$$

$$\times \left(342 - \frac{42,05}{2} \right)$$

$$= 103257657 \text{ Nmm}$$

Maka :

Mn pasang > Mn perlu

103257657 Nmm

> 65052884 Nmm (**Memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok B2 (30/40) As B' (4-5) untuk daerah tumpuan

kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis
Lapis 1 = 4D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2D16

Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2DL + 1,0 LL + 1,0Ey + 0,3Ex$$

- 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

$$\begin{aligned} Xmax &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 205,2 \\ &= 153,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$Xmin = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)

$$Xrencana = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85fc' b \beta_1 Xrencana \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{650250}{400} \\ &= 1625,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right)$$

$$= 1625,63 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 194750474 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 27153141 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{27153141}{0,75}$$

$$Mn = 36204188 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$Mns > 0 \rightarrow \text{Maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns \leq 0 \rightarrow$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 36204188 \text{ Nmm} - 194750474 \text{ Nmm}$$

$$= -158546286 \text{ Nmm} >$$

0 (Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{fy}{0,85fc} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85fc, \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,0244$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{27153141}{0,75} = 36204188 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{36204188}{400 \times 342^2} = 0.77 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right] = \frac{1}{15,69} \left[1 - \right.$$

$$\left. \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,93)}{400}} \right] = 0,0023$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,0023$$

< 0,0244 (**Tidak Memenuhi**)

- 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)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$= \frac{359,1}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 1,78 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times luasan Dlentur$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$603,19 \text{ mm}^2 > 359,1 \text{ mm}^2 \text{ (**Memenuhi**)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1

luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,3As$$

$$= 0,3 \times 359,1$$

$$= 107,73 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$= \frac{107,73}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 0,53 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Bawah)

$$\text{As' pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$402,12 \text{ mm}^2 > 107,73 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$$

→ susun 1 lapis

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$$

→ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan 2 lapis 8D16 dan tulangan 1 lapis 4 D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 76\text{mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$76\text{ mm} \geq 25\text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 168\text{mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$168\text{ mm} \geq 25\text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

- **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 irisan penampang sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur\ tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan} (-) \quad . \quad [\text{SNI } 03-2847-2013, \text{Pasal } 21.3.4.(1)]$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan } (-)$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 603,19 \text{ mm}^2$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 201,06 \text{ (Memenuhi)}$$

• **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$\text{As pakai tulangan tarik 3D16} = 603,19 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D16} = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{603,19 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603,19 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,54}{2} \right) \\ &= 78711469,48 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$78711469,48 \text{ Nmm}$

$> 36204188 \text{ Nmm}$ (**Memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok B2 (30/40) As B' (4-5) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis
Lapis 1 = 3D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2D16

Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2DL + 1,0 LL + 1,0Ey + 0,3Ex$$

- 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

$$\begin{aligned} Xmax &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 205,2 \\ &= 153,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$Xmin = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)

$$Xrencana = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85fc' b\beta 1 Xrencana \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650250 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{fy} \\ &= \frac{650250}{400} \\ &= 1625,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times fy \times \left(d - \frac{\beta 1 \times Xr}{2} \right) \\ &= 1625,63 \times 400 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 194750474 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur nominal (M_n)
 M_u tumpuan = 28516760 Nmm

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{28516760}{0,75}$$

$$M_n = 38022346,67 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$M_{ns} > 0$$

→ Maka perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$$

Maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 38022346,67 \text{ Nmm} - 194750474 \text{ Nmm}$$

$$= -156728127,3 \text{ Nmm} >$$

0 (Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{28516760}{0,75}$$

$$= 38022346,67 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{38022346,67}{400 \times 342^2} = 0,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{fy}} \right] = \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69).(0,97)}{400}} \right] = 0,0024$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0024$$

$< 0,0244$ (**Tidak Memenuhi**)

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho . b . d$$

$$= 0,0035 \times 300 \times 342$$

$$= 359,1 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$= \frac{359,1}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 1,78 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times luasan Dlentur$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As Pasang $>$ As perlu

$$603,19 > 359,1 \text{ mm}^2 \text{ (**Memenuhi**)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan Menurut Sni 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$As' = 0,3As$$

$$= 0,3 \times 359,1$$

$$= 107,73 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\frac{\text{Luasan Dlentur}}{107,73}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2}{107,73}$$

$$= 0,53 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Atas)

$$\text{As' pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$402,124 \text{ mm}^2 > 107,73 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25\text{mm}$$

→ susun 1 lapis

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25\text{mm}$$

→ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan 1 lapis 6D16 dan tulangan 1 lapis 2D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 76\text{mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$76 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Memenuhi)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 168 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Memenuhi)}$$

- **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 irisan penampang sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur tumpuan (-)} \quad \text{[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]}$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_s \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603,19 \text{ mm}^2$$

$$A_s' \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

$$M_{lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur tumpuan (-)}$$

$$402,12\text{mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 603,19\text{mm}^2$$

$$402,12\text{mm}^2 \geq 201,06 \text{ (Memenuhi)}$$

• **Kontrol Kemampuan Penampang**

As pakai tulangan tarik 3D16= 603,19 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16= 402,12 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{603,19 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603,19 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,54}{2} \right) \\ &= 78711469,50 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

Mn pasang > Mn perlu

78711469,50 Nmm

> 36204188Nmm (**Memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok B2 (30/40) As B' (4-5) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis
Lapis 1 = 3D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2D16

Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	: B2 (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 Tul.geser (Ø geser)	: 12 mm

$$\beta_1 : 0,85$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } (\phi) : 0,75$$

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada Balok B2 (30/40) As B' (4-5), didapat :

- **Momen Nominal Kiri**

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 4D16 = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 42,05 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 804,25 \times 400 \times \left(342 - \frac{42,05}{2} \right)$$

$$= 103257657,5 \text{ Nmm}$$

- **Momen Nominal Kanan**

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D16 = 603,19 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{603,19 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 31,54 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 603,19 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,54}{2} \right)$$

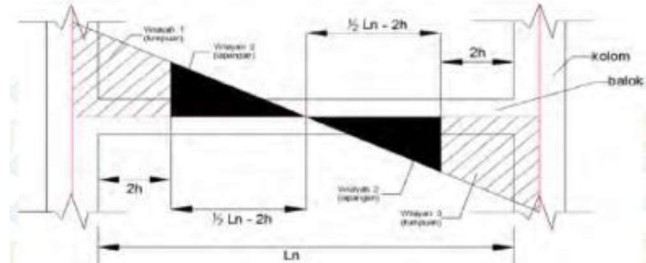
$$= 787111469,48 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi $1,2D + 1,0LL + 1,0Ey + 0,3 Ex$, dari analisa SAP 2000 didapatkan :
Gaya geser terfaktor $V_u = 32782,95 \text{ N}$.

- **Pembagian Wilayah Geser Balok**

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), 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 4.32 Pembagian Wilayah Balok

- **Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')**

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3 \text{ Mpa}$. (**SNI 03-2847-2013**).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 \\ &= 95533,77 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 300 \times 342 \\ &= 33858 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 \\ &= 185447,90 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 \\ &= 370895,81 \text{ N} \end{aligned}$$

- Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{Mnr + Mnl}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{Mnr + Mnl}{ln} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3)

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

Ln = Panjang bersih balok

Maka :

$$Vu1 = \frac{787111469,48 + 103257657,5}{8000 + 28720,81}$$

$$Vu1 = 140016,14 N$$

- Pengecekan Kondisi Geser Balok
 - Kondisi 1
 - $Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$
 - *Tidak Perlu Tulangan Geser*
 - 140016,14 N
 - > 35825,116 N (**Tidak Memenuhi**)
 - Kondisi 2
 - $0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$
 - *Tulangan Geser Minimum*
 - 35825,116 N ≤ 140016,14 N
 - ≤ 71650,32 N (**Tidak Memenuhi**)
 - Kondisi 3
 - $\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmin)$
 - *Tulangan Geser Minimum*
 - 71650,32 < 140016,14 N
 - > 97043,82 N (**Tidak Memenuhi**)
 - Kondisi 4
 - $\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu$
 - ≤ $\emptyset(Vc + Vsmax)$
 - *Tulangan Geser*
 - 97043,82 N < 140016,14 N
 - < 210758,75 N (**Memenuhi**)
 - Kondisi 5
 - $\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu$
 - ≤ $\emptyset(Vc + 2Vsmax)$
 - *Tulangan Geser*
 - 210758,75 N > 140016,14 N
 - < 349822,19 N (**Tidak Memenuhi**)
- Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$= 91154,23 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \times n \text{ kaki}$$

$$= \left(\frac{1}{4} \pi 10^2\right) \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \times 240 \times 342}{91154,23}$$

$$= 141,44 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser.

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 200 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 tulangan sengkang dan
- d. 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

- a) $Spakai < d/4$
 $100 \text{ mm} < 342/4$
 100 mm
 $< 85,5 \text{ mm}$ (**Tidak Memenuhi**)
- b) $Spakai < 8D_{lentur}$
 $100 \text{ mm} < 8(16\text{mm})$
 $100 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- c) $Spakai < 24D_{sengkang}$
 $100 \text{ mm} < 24(10\text{mm})$
 $100 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- d) $Spakai < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B2 (40/60) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang $\emptyset 10 - 50 \text{ mm}$ dengan seengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)
 Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times \left(\frac{1}{2}ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{140016,14 \times \left(\frac{1}{2} \times 8000 - 2 \times 400\right)}{\frac{1}{2} 8000}$$

$$Vu2 = 112012,91 \text{ N}$$

- Pengecekan Kondisi Geser Balok
 - Kondisi 1
 - $Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$
 - *Tidak Perlu Tulangan Geser*
 - 112012,91 N
 - > 35825,116 N (**Tidak Memenuhi**)
 - Kondisi 2
 - $0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$
 - *Tulangan Geser Minimum*
 - 35825,116 N ≤ 112012,91 N
 - > 71650,32 N (**Tidak Memenuhi**)
 - Kondisi 3
 - $\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmin)$
 - *Tulangan Geser Minimum*
 - 71650,32 < 112012,91 N
 - > 97043,82 N (**Tidak Memenuhi**)
 - Kondisi 4
 - $\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmax)$
 - *Tulangan Geser*
 - 97043,82 N < 112012,91 N
 - < 210758,75 N (**Memenuhi**)
 - Kondisi 5
 - $\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vsmax)$
 - *Tulangan Geser*
 - 210758,75 N > 112012,91 N
 - < 349822,19 N (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu - \emptyset Vc}{\emptyset}$$

$$= 40362,58 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\varnothing 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \times n \text{ kaki} \\ &= \left(\frac{1}{4} \pi 10^2\right) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \times 240 \times 342}{40362,58} \\ &= 319,43 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser.

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$$S_{max} < 600$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\varnothing 10 - 200$ mm

- **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Gese 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. Sengkang harus dipastikan tidak melebihi dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan).

[SNI 03-2947-2013 Pasal 21.3.4.(3)]

- a) $S_{pakai} < d/2$

$$200 \text{ mm} < 342 \text{ mm}/2$$

$$200 \text{ mm}$$

$$< 171 \text{ mm} \text{ (*Tidak Memenuhi*)}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B2 (30/40) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ dengan seenggang 2 kaki.

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 :

$$d_b = 16 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1,3$$

$$\psi_e = 1,0$$

$$\psi_s = 0,8$$

$$\lambda = 1,0$$

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang kkomponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdaarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

- 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.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2 sebagai berikut :

Tabel 4.16. SNI 03-2847-2013 Penyaluran Batang Ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	

Dimana,

λd = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = Diameter tulangan lentur yang dipakai

ψ_t = Faktor lokasi penulangan

ψ_e = Faktor pelapis

Tabel 4.17. Faktor Pelapis dan Faktor Lokasi Penulangan

ψ_t faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
ψ_e faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (Beton Normal)

Perhitungan

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 556,42 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)} \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{reduksi} &= \frac{As\ perlu}{As\ pasang} \lambda d \\ &= \frac{609,84}{804,25} \times 556,42 \\ &= 421,91 \approx 500\ mm \end{aligned}$$

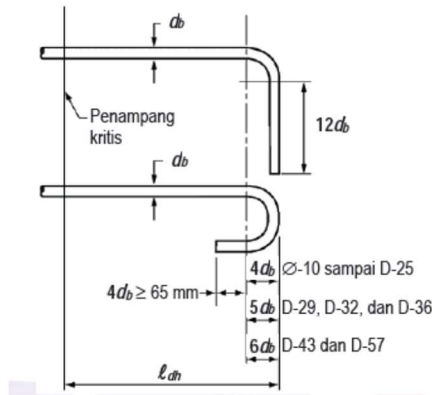
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 600 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4.33 Sketsa Panjang Penyaluran
Perhitungan

Syarat : $\lambda dh > 150mm$

$$\begin{aligned}\lambda dh &= \left[\frac{0,24\psi e f_y}{\lambda \sqrt{f'c'}} \right] db \\ &= \left[\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 280,433 \text{ mm} > 150mm \text{ (**Memenuhi**)}\end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} \lambda dh \\ &= \frac{609,84}{804,25} \times 280,433 \\ &= 212,64 \approx 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait :

$$12db = 12 (16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait 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 :

$$\begin{aligned}\lambda dc &= \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'c'}} db \\ \lambda dc &= \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 16 \\ \lambda dc &= 280,43 \text{ mm} \\ \lambda dc &= (0,043 f_y) db\end{aligned}$$

$$\lambda dc = (0,043 \times 400) \times 16$$

$$\lambda dc = 275.2 \text{ mm}$$

Diambil 280,43 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{reduksi} &= \frac{As' \text{ perlu}}{As' \text{ pasang}} \lambda dc \\ &= \frac{241,47}{420,12} \times 280,43 \\ &= 161,18 \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang kait :

$$4db + 4db = 4(16) + 4(16) = 128 \text{ mm}$$

4.6.3 Desain Struktur Sloof

Pada perhitungan penulangan sloof, sloof yang dihitung secara manual adalah sloof yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Perhitungan penulangan sloof yang lain akan digunakan tabel pada program bantu Microsoft Excel.

A. Data Perencanaan

Tipe Sloof	: S1
As Sloof	: C (3-4')
Bentang Sloof (L sloof)	: 8000 mm
Dimensi Sloof (b sloof)	: 400 mm
Dimensi Sloof (h sloof)	: 600 mm
Bentang Kolom (L kolom)	: 3600 mm
Dimensi Kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi Kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat Leleh Tul.Lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat Leleh Tul.Geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Kuat Leleh Tul.Puntir (f_{yt})	: 240 Mpa
Diameter Tul.Lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter Tul.Geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter Tul.Puntir (\emptyset puntir)	: 12 mm

Jarak Spasi Tul.Sejajar (S sejajar)	: 25 mm
Jarak Spasi Tul.Antar Lapis (s)	: 25 mm
Tebal Selimut Beton (t decking)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (Φ)	: 0,9
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (Φ)	: 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Putir (Φ)	: 0,75

Maka tinggi efektif balok:

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{senggang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur}$$

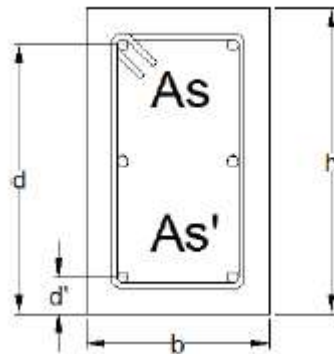
$$= 600 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$$

$$= 542 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset \text{senggang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur}$$

$$= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$$

$$= 58 \text{ mm}$$



Gambar 4.34 Sketsa Sloof

B. Gaya yang Terjadi Pada Balok

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses

perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

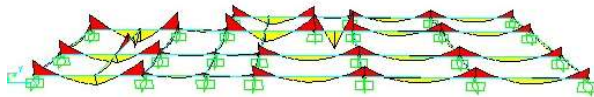
Kombinasi pembebanan non-gempa:

1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1,6L + 0,8W$
4. $U = 0,9D + 1,0W$

Kombinasi pembebanan gempa:

1. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey$
2. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex$
3. $U = 0,9D + 1,0E$

Perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey$ adalah kombinasi kritis dalam permodelan.



Gambar 4.35 Momen Pada Sloof

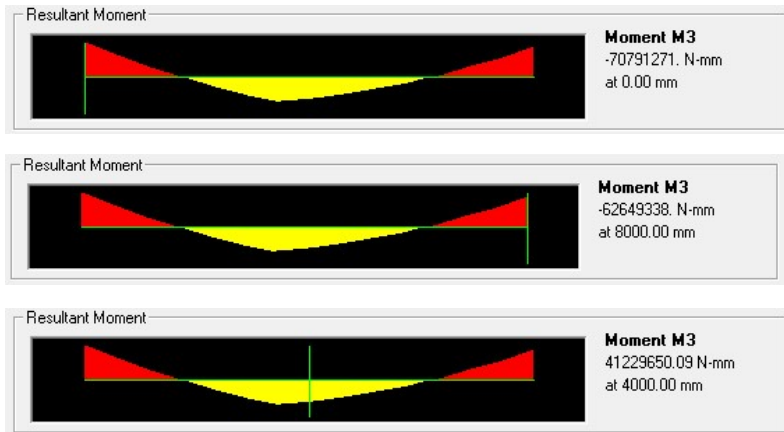
Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4.36 Momen Torsi Pada Sloof
Kombinasi $1,2DL + 1,0 LL + 1,0Ey + 0,3 Ex$

Momen Torsi = -530608,74 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4.37 Momen Lentur Pada Sloof

Kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1.0 Ex + 0.3 Ey

Momen tumpuan kiri= -70791271 Nmm

Momen tumpuan kanan= - 62649338 Nmm

Momen Lapangan = 41229650,1 Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4.38 Gaya Geser Pada Balok Induk

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2, V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom. Gaya geser terfaktor $V_u = -45473,53$ N

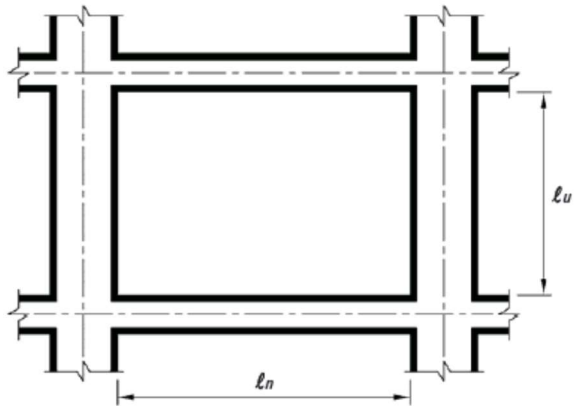
C. Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

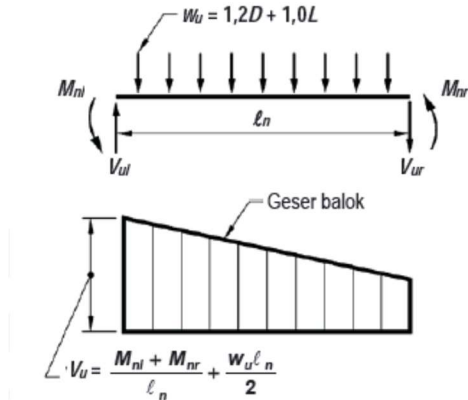
Balok harus memenuhi definisi koomponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan—ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{Ag \times fc'}{10} = \frac{400 \times 600 \times 30}{10} = 720000N$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinsai $1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex$ pada komponen struktur sebesar $91818,75 N < 720000 N$.

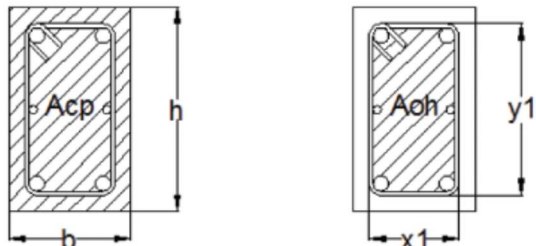
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).





Periksa Kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser, lentur, dan putir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



Gambar 4.39 Sketsa Penampang Balok Induk 40/60

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400\text{mm} \times 600\text{mm} \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Parameter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400\text{mm} + 600\text{mm}) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 Aoh &= (bbalok - 2tdecking - \emptyset geser) \times (hbalok - 2tdecking - \emptyset geser) \\
 &= (400mm - 2 \times 40mm - 10mm) \times (600mm - 2 \times 40mm - 10mm) \\
 &= 158100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 Ph &= 2 \times [(bbalok - 2tdecking - \emptyset geser) + (hbalok - 2tdecking - \emptyset geser)] \\
 &= 2 \times [(400mm - 2 \times 40mm - 10mm) + (600mm - 2 \times 40mm - 10mm)] \\
 &= 1640mm
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output daigram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar:

- Momen Puntir Ultimate
Akibat Kombinasi 1,2D + 1,0L + 1,0Ey + 0,3Ex
 $T_u = 530608,74 \text{ Nmm}$
- Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{530608,74}{0,75} \\
 &= 707478,32 \text{ N}
 \end{aligned}$$
- Geser Ultimate
 $V_u = 177536,98 \text{ N}$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\
 &= 9819570 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar:

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{240000^2}{2000}\right)$$

$$= 39041664 \text{ Nmm}$$

- Cek Pengaruh Momen Puntir
 $Tu_{min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir
 $Tu_{min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir
 $Tu_{min} < Tu$
 $9819570 \text{ Nmm} > 530608,74 \text{ Nmm}$
 \rightarrow **(tidak memerlukan tulangan puntir)**
 Jadi, penampang sloof tidak memerlukan penulangan puntir

E. Perhitungan Penulangan Lentur

- Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
 $1,2DL + 1,6 LL$

- Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+f_y}\right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400}\right) \times 542$$

$$= 325,2 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times Xb$$

$$= 0,75 \times 325,2$$

$$= 243,9 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum

$$X_{min} = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100$$

$$= 867000 \text{ N}$$

- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{fy} \\ &= \frac{867000}{400} \\ &= 2167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\ &= 2167,5 \times 400 \times \left(542 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 433066500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 70791271 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\ Mn &= \frac{70791271}{0,75} \end{aligned}$$

$$Mn = 94388361,3 \text{ Nmm}$$

- 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

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 94388361,3 \text{ Nmm} - 433066500 \text{ Nmm} \\ &= -338678139 \text{ Nmm} < 0 \end{aligned}$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{fy}{0,85fc} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85fc\beta}{fy} \times \frac{600}{600+fy} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,0244$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{70791271}{0,75} = 94388361,3 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{94388361,3}{400 \times 542^2} = 0,803 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,803)}{400}} \right]$$

$$= 0,0020$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0020 < 0,0244 \text{ (*Tidak Ok*)}$$

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 400 \times 542$$

$$= 758,8 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$At = 210,503 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ perlu} = 758,8 + 210,503$$

$$= 969,303 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$$

$$= \frac{969,303}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 4,83 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1004,8 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As \text{ Pasang} > As \text{ perlu}$$

$$1004,8 \text{ mm}^2 > 969,303 \text{ mm}^2 \text{ (**Memenuhi**)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut Sni 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan

tarik.

$$\begin{aligned} As' &= 0,3As \\ &= 0,3 \times 969,303\text{mm}^2 \\ &= 193,861\text{mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur} \\ &= \frac{193,861}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 0.96 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times luasan Dlentur \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 401,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$401,928 \text{ mm}^2 > 193,861 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$Smaks \geq Ssejajar = 25\text{mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25\text{mm} \rightarrow$ susun > 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan 1 lapis 6D16 dan tulangan 1 lapis 2 D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$= \frac{b - (2 \times tdelimit) - (2 \times Dgeser) - (n \times Dlentur)}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (6 \times 16)}{6 - 1}$$

$$= 40\text{mm}$$

$Smaks \geq Ssyarat$

$$40 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{2 - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\
 &= 264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Smaks ≥ *Ssyarat*

$$264 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

- **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 irisan penampang 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.

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luas} D_{lentur} \\
 &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s, pasang} &= n_{pasang} \times \text{luas} D_{lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 401,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur tumpuan (-)}$$

$$401,92 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1206,372 \text{ mm}^2$$

$$401,92 \text{ mm}^2 \geq 401,92 \text{ (**Memenuhi**)}$$

- **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$A_{s \text{ pakai tulangan tarik } 6D16} = 1206,372 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D16} = 401,92 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1206,372 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 47,3 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1206,372 \times 400 \times \left(542 - \frac{47,3}{2} \right)$$

$$= 250129170,5 \text{ Nmm}$$

Maka :

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$250129170,5 \text{ Nmm} > 195797676 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) As 6

(B-C) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis
Lapis 1 = 6D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2D16

- Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2DL + 1,6 LL

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 542$$

$$= 325,2 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 325,2$$

$$= 243,9 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum

$$X_{min} = d' = 58 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (Asumsi)
 $X_{rencana} = 100 \text{ mm}$
- Komponen beton tertekan
 $Cc' = 0,85fc' b\beta_1 X_{rencana}$
 $= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100$
 $= 867000 \text{ N}$
- Luas tulangan tarik
 $Asc = \frac{Cc'}{fy}$
 $= \frac{867000}{400}$
 $= 2167,5 \text{ mm}^2$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal
 $Mnc = Asc \times fy \times (d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2})$
 $= 2167,5 \times 400 \times (542 - \frac{0,85 \times 100}{2})$
 $= 433066500 \text{ Nmm}$
- Momen lentur nominal (Mn)
 $Mu \text{ tumpuan} = 62649338 \text{ Nmm}$
 $Mn = \frac{Mux}{\phi}$
 $= \frac{62649338}{0,75}$
 $Mn = 83532,450,7 \text{ Nmm}$
- 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
 $Mns = Mn - Mnc$
 $= 83532,450,7 \text{ Nmm} - 433066500 \text{ Nmm}$
 $= -349534049 \text{ Nmm}$
 < 0 (Tidak perlu tulangan lentur tekan)
 Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.
- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= \frac{0,85f_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{600+f} = 0,0325 \\
 \rho_{max} &= 0,75\rho_b = 0,0244 \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{62649338}{0,75} = 83532,450,7 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{83532,450,7}{400 \times 542^2} = 0,803 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right] = \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,803)}{400}} \right] \\
 &= 0,0020
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0020 < 0,0244 \text{ (*Tidak Ok*)}$$

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik
 $As = \rho \cdot b \cdot d$
 $= 0,0035 \times 400 \times 542$
 $= 758,8 \text{ mm}^2$
- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir
 $At = 210,503 \text{ mm}^2$
 $As \text{ perlu} = 758,8 + 210,503$
 $= 969,303 \text{ mm}^2$
- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)
 $n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur}$
 $= \frac{969,303}{0,25 \times \pi \times 16^2}$
 $= 4,83 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$
- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)
 $As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan Dlentur}$
 $= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$

$$= 1004,8 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$1004,8 \text{ mm}^2 > 969,303 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan Menurut Sni 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$\begin{aligned} As' &= 0,3As \\ &= 0,3 \times 969,303 \text{ mm}^2 \\ &= 193,861 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan Dlentur} \\ &= \frac{193,861}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 0,96 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times luasan Dlentur \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 401,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

$$401,928 \text{ mm}^2 > 193,861 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow susun \text{ 1 lapis}$

$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow susun > 1 \text{ lapis}$

Direncanakan dipakai tulangan 1 lapis 6D16 dan tulangan 1 lapis 2 D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$\begin{aligned} &= \frac{b - (2 \times tdelimit) - (2 \times Dgeser) - (n \times Dlentur)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (6 \times 16)}{6 - 1} \end{aligned}$$

$$= 40\text{mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$40\text{ mm} \geq 25\text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 264\text{mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$264\text{ mm} \geq 25\text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

- **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 irisan penampang 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.

$$A_{s\text{ pasang}} = n_{pasang} \times \text{luas} D_{lentur}$$

$$= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1206,372\text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ pasang}} = n_{pasang} \times \text{luas} D_{lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 401,92\text{ mm}^2$$

$$M_{lentur tumpuan} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur tumpuan} (-)$$

$$401,92\text{mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1206,372\text{mm}^2$$

$$401,92\text{mm}^2 \geq 401,92 \text{ (Memenuhi)}$$

- **Kontrol Kemampuan Penampang**

As pakai tulangan tarik 6D16 = 1206,372 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16 = 401,92 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1206,372 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 47,3 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1206,372 \times 400 \times \left(542 - \frac{47,3}{2} \right)$$

$$= 250129170,5 \text{ Nmm}$$

Maka :

Mn pasang > Mn perlu

$$250129170,5 \text{ Nmm} > 195797676 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) As 6 (B-C) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis
Lapis 1 = 6D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2D16

- **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2DL + 1,6 LL

- Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600+} \right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 542$$

$$= 325,2 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 325,2 \\ &= 243,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$X_{min} = d' = 58 \text{ mm}$$
- Garis netral rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$
- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85fc'b\beta_1X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\ &= 867000 \text{ N} \end{aligned}$$
- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{fy} \\ &= \frac{867000}{400} \\ &= 2167,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2}\right) \\ &= 2167,5 \times 400 \times \left(542 - \frac{0,85 \times 100}{2}\right) \\ &= 433066500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$
- Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} \text{Mu tumpuan} &= 41229650,1 \text{ Nmm} \\ Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\ Mn &= \frac{41229650,1}{0,75} \\ Mn &= 54972866,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$
- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$\begin{aligned} Mns > 0 &\rightarrow \text{Maka perlu tulangan lentur tekan} \\ Mns \leq 0 &\rightarrow \text{Tidak perlu tulangan lentur tekan} \\ Mns &= Mn - Mnc \\ &= 54972866,8 \text{ Nmm} - 433066500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$= -378093633 \text{ Nmm} > 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85f_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,0244$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{41229650,1}{0,75} = 54972866,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{54972866,8}{400 \times 542^2} = 0,468 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,468)}{400}} \right] = 0,002$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,002 < 0,0244$ (**Tidak Ok**)

- Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 400 \times 542$$

$$= 758,8 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$A_t = 210,503 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} = 758,8 + 210,503$$

$$= 969,303 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}} \\
 &= \frac{969,303}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 4,8 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times luasan \text{ Dlentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1003,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

1003,45 > 969,303 mm² (**Memenuhi**)

- Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan
Menurut Sni 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tekan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik.

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,3As \\
 &= 0,3 \times 969,303 \\
 &= 290,79 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}} \\
 &= \frac{290,79}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\
 &= 1,4 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasan (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times luasan \text{ Dlentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As Pasang > As perlu

402,124 mm² > 361,911 mm² (**Memenuhi**)

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun > 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan 1 lapis 6D16 dan tulangan 1 lapis 2D16.

Kontrol Tulangan Tarik

Starik

$$\begin{aligned} &= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (6 \times 16)}{6 - 1} \\ &= 40mm \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

$40 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

Kontrol Tulangan Tekan

Stekan

$$\begin{aligned} &= \frac{b - (2 \times t_{delimit}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\ &= 264mm \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$

$264 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (**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 irisan penampang sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D_{lentur} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1206,372 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D_{lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

$$402,124 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1206,372 \text{ mm}^2$$

$$402,124 \text{ mm}^2 \geq 402,124 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 6D16 = 1206,372 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai tulangan tekan } 2D16 = 402,124 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1260,372 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 47,3 \text{ mm}$$

$$Mn_{pasang} = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1206,372 \times 400 \times \left(542 - \frac{47,3}{2} \right)$$

$$= 250129170,5 \text{ mm}$$

Maka :

$$Mn_{pasang} > Mn_{perlu}$$

$$250129170,5 \text{ Nmm}$$

$$> 195797676 \text{ Nmm (Memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) As 6 (B-C) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 Lapis

Lapis 1 = 6D16

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D16

F. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe sloof	: B1 (40/60)
Dimensi sloof (b sloof)	: 400 mm
Dimensi sloof (h sloof)	: 600 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Diameter Tul.geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada Sloof S1 (40/60) As C (3-4'), didapat :

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 6D16 = 1206,372 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16 = 402,124 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1206,372 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 47,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1680,50 \times 400 \times \left(542 - \frac{47,3}{2} \right) \\ &= 250129170,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 6D16 = 1206,372 mm²

As pakai tulangan tekan 2D16 = 402,124 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1206,372 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 47,3 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1680,50 \times 400 \times \left(542 - \frac{47,3}{2} \right)$$

$$= 250129170,5 \text{ mm}$$

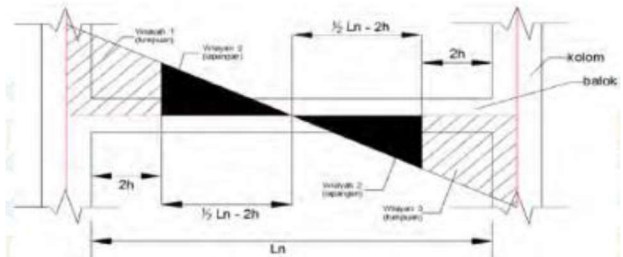
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1,0LL + 1.0 Ey + 0.3 Ex, dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 45473,53 \text{ N}$.

- Pembagian Wilayah Geser Sloof

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada sloof, wilayah sloof dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi sloof 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 sloof.



- Syarat Kuat Tekan Beton (fc')

Nilai $\sqrt{fc'}$ 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)**

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542 \\ &= 201868,625 \text{ N} \end{aligned}$$

- **Kuat Geser Tulangan Geser**

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 400 \times 542 \\ &= 71544 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542 \\ &= 391862,627 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542 \\ &= 783725,253 \text{ N} \end{aligned}$$

- **Penulangan Geser Balok**

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnr + Mnl}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnr + Mnl}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3)

Dimana :

$Vu1$ = 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 :

$$Vu1 = \frac{342183410 + 342183410}{6500} + 177536,98$$

$$Vu1 = 282824,183 \text{ N}$$

- Pengecekan Kondisi Geser Balok
 - Kondisi 1
 - $Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$
 - (Tidak Perlu Tulangan Geser)
 - $282824,183 \text{ N} > 75700,734 \text{ N}$
 - (Tidak Memenuhi)**
 - Kondisi 2
 - $0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$
 - (Tulangan Geser Minimum)
 - $75700,734 \text{ N} \leq 282824,183 \text{ N} >$
 - $151401,469 \text{ N}$
 - (Tidak Memenuhi)**
 - Kondisi 3
 - $\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmin)$
 - (Tulangan Geser Minimum)
 - $151401,469 \text{ N} \leq 282824,183 \text{ N}$
 - $> 205059,469 \text{ N}$
 - (Tidak Memenuhi)**
 - Kondisi 4
 - $\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + Vsmax)$
 - (Tulangan Geser)
 - $205059,469 \text{ N} \leq 282824,183 \text{ N}$
 - $\leq 445298,439 \text{ N}$
 - (Memenuhi)**
 - Kondisi 5
 - $\emptyset(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \emptyset(Vc + 2Vsmax)$
 - (Tulangan Geser)

$$445298,439 N > 282824,183 N \\ \leq 739195.409 N$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4.**

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} \\ = \frac{282824,183 - 0,75 \times 201868,625}{0,75} \\ = 175230,286 N$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) \times n \text{ kaki} \\ = \left(\frac{1}{4} \pi 10^2 \right) \times 2 \\ = 157,080 \text{ mm}^2$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$Sperlu = \frac{Av \times fyv \times d}{Vs \text{ perlu}} \\ = \frac{157,080 \times 240 \times 542}{175230,286} \\ = 116,606 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser.

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$$Smax < d/2$$

$$100 \text{ mm} < 542/2$$

$$100 \text{ mm} < 271 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

$$Smax < 600$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 100$ mm

- **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Gese 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 :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter tulangan sengkang dan
- 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

a) $Spakai < d/4$

$$100 \text{ mm} < 542/4$$

$$100 \text{ mm} < 135,5 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

b) $Spakai < 8D_{lentur}$

$$100 \text{ mm} < 8(16\text{mm})$$

$$100 \text{ mm} < 128 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

c) $Spakai < 24D_{sengkang}$

$$100 \text{ mm} < 24(10\text{mm})$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

d) $Spakai < 300 \text{ mm}$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (40/60) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang $\emptyset 10$ – 100 mm dengan seengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{vu1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times \left(\frac{1}{2}ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu2 = \frac{282824,183 \times \left(\frac{1}{2} \times 6500 - 2 \times 600\right)}{\frac{1}{2} 6500}$$

$$Vu2 = 178396,792 \text{ N}$$

- Pengecekan Kondisi Geser Balok
 - Kondisi 1
 - $Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$
 - *Tidak Perlu Tulangan Geser*
 - $178396,792 \text{ N} > 75700,734 \text{ N}$
 - (Tidak Memenuhi)**
 - Kondisi 2
 - $0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$
 - *Tulangan Geser Minimum*
 - $75700,734 \text{ N} \leq 178396,792 \text{ N}$
 - $> 151401,469 \text{ N}$
 - (Tidak Memenuhi)**
 - Kondisi 3
 - $\phi \times Vc \leq Vu \leq \phi(Vc + Vsmin)$
 - *Tulangan Geser Minimum*
 - $151401,469 \text{ N} \leq 178396,792 \text{ N}$
 - $\leq 205059,469 \text{ N}$
 - (Memenuhi)**
 - Kondisi 4
 - $\phi(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \phi(Vc + Vsmax)$
 - *Tulangan Geser*
 - $205059,469 \text{ N} > 178396,792 \text{ N}$
 - $\leq 445298,439 \text{ N}$
 - (Tidak Memenuhi)**
 - Kondisi 5
 - $\phi(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \phi(Vc + 2Vsmax)$
 - *Tulangan Geser*
 - $445298,439 \text{ N} > 178396,792 \text{ N}$
 - $\leq 739195,409 \text{ N}$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan

Kondisi 3.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 71544 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= \left(\frac{1}{4}\pi d^2\right) \times n \text{ kaki} \\ &= \left(\frac{1}{4}\pi 12^2\right) \times 2 \\ &= 157,080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,080 \times 240 \times 542}{71544} \\ &= 285,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser.

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$$S_{\text{max}} < d/2$$

$$200 \text{ mm} < 542/2$$

$$200 \text{ mm} < 271 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 200 mm

- **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Gese 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. Sengkang harus dipastikan tidak melebihi dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan).

[SNI 03-2947-2013 Pasal 21.3.4.(3)]a) $Spakai < d/2$

$$200 \text{ mm} < 542 \text{ mm}/2$$

$$200 \text{ mm} < 271 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (40/60) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 200$ mm dengan seengkang 2 kaki.

G. 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 :

$db = 16\text{mm}$	$\psi_s = 0.8$
$\psi_t = 1.3$	$\lambda = 1.0$
$\psi_e = 1.0$	

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang kkomponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan

SNI 03-2847-2013 pasal 12.

- 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.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013

tabel pada pasal 12.2 sebagai berikut :

Tabel 4.18. Untuk Panjang Penyaluran

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang L_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	

Dimana,

λd = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

D_b = Diameter tulangan lentur yang dipakai

ψ_t = Faktor lokasi penulangan

ψ_e = Faktor pelapis

Tabel 4.19. Faktor Lokasi Penulangan dan Faktor Pelapis

Ψ_t = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
Ψ_e = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

λ = faktor beton agregat ringan

= 1 (Beton Normal)

Perhitungan

Syarat : $\lambda d > 300mm$

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 556,42 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \lambda d \\ &= \frac{1532,98}{1608,50} \times 556,42 \\ &= 530,30 \approx 600 \text{ mm}\end{aligned}$$

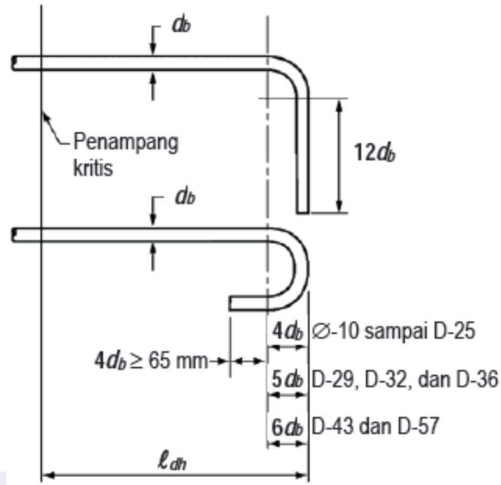
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 600 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dala 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]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4.40 Sketsa Panjang Penyaluran

Perhitungan

Syarat : $\lambda dh > 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{0,24 \psi e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right] db \\ &= \left[\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 280,433 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)} \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda dh \\ &= \frac{1532,98}{1608,50} \times 280,433 \\ &= 267,27 \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan berkaitan dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait :

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait 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 :

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} db \qquad \lambda_{dc} = (0,043f_y)db$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 16 \qquad \lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 16$$

$$\lambda_{dc} = 275.2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{dc} = 280,43 \text{ mm}$$

Diambil 280,43 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \lambda_{dc}$$

$$= \frac{459,895}{824,248} \times 280,43$$

$$= 156,47 \approx 200 \text{ mm}$$

Panjang kait :

$$4db + 4db = 4(16) + 4(16) = 128 \text{ mm}$$

4.6.4 Desain Struktur Kolom

A. Data Perencanaan

Tipe Kolom	: K1
As Kolom	: 5 - B
Frame	: 43
Tinggi kolom atas	: 3600 mm
Tinggi kolom bawah	: 3600 mm
b kolom	: 500 mm
h kolom	: 500 mm

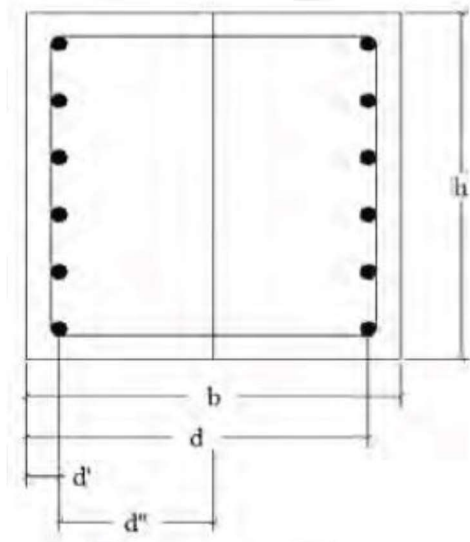
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 Mpa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: $4700\sqrt{f_c'}$
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,65
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75

Maka tinggi efektif kolom:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur} \\
 &= 500 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 19\right) \\
 &= 440,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur} \\
 &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \times 16\right) \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tul lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 500 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 19\right) - \left(\frac{1}{2} \times 500\right) \\
 &= 190,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Sketsa Kolom

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 23 didapatkan:

- Gaya Aksial Kolom



Gambar 4.42 Gaya Axial Terhadap Beban (Dead)

$$\begin{aligned}
 P_{DL} \text{ (Dead)} &= -1102684,63 \text{ N} \\
 P_u \text{ (1,4 DL)} &= 1,4 \times -1102684,63 \text{ N} \\
 &= -1543758,48 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.43 Gaya Axial Terhadap Beban (Live)

$$\begin{aligned}
 P_{LL} \text{ (Live)} &= -216954,26 \text{ N} \\
 P_u \text{ (1,6 LL)} &= 1,6 \times -216954,26 \text{ N} \\
 &= -347126,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.44 Gaya Axial Terhadap Kombinasi (1.2DL + 1.6LL)
 $P_u (1,2DL + 1,6 LL) = -1670348,38 \text{ N}$



Gambar 4.45 Gaya Axial Terhadap Kombinasi (1.2DL + 1.0LL + 1.0Ex + 0.3Ey)
 $P_u (1,2DL + 1,0 LL + Ex + 0,3Ey) = -2299661,41 \text{ N}$

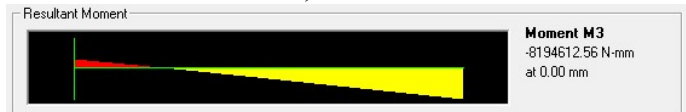


Gambar 4.46 Gaya Axial Terhadap Kombinasi (1.2DL + 1.0LL + 1.0Ey + 0.3Ex)
 $P_u (1,2DL + 1,0 LL + 0,3Ex + Ey) = -2810553,84 \text{ N}$

- Momen akibat pengaruh beban gravitasi
 Momen arah sumbu X



Gambar 4.47 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kanan
 $M_{2ns} = 27654884,15 \text{ Nmm}$

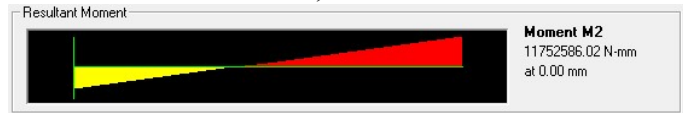


Gambar 4.48 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri
 $M_{1ns} = -8194612,56 \text{ Nmm}$
 Momen arah sumbu Y



Gambar 4.49 Momen Arah Sumbu Y Tumpuan Kanan

$$M2_{ns} = -16803088,7 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.50 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri

$$M1_{ns} = 11752586 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M1_{ns}$ = 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)

$M2_{ns}$ = 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)

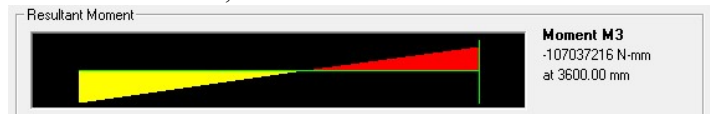
- Momen akibat pengaruh gempa

Momen arah sumbu X



Gambar 4.51 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kanan

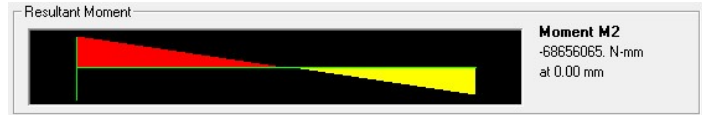
$$M2_s = 137380001,9 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.52 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri

$$M1_s = -107037216 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



Gambar 4.53 Momen Arah Sumbu Y Tumpuan Kanan

$$M2s = -68656065 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.54 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri

$$M1s = 58161730,84 \text{ Nmm}$$

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)

B. 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 $A_g \cdot f_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (Ketentuan kolom untuk SRPMM).

$$P_u \max \leq \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$2299661,41 \text{ N} \leq \frac{500 \times 500 \times 30}{10}$$

$$2299661,41 \text{ N}$$

$$> 750000 \text{ N (Tidak Memenuhi)}$$

- Kontrol kelangsingan kolom

$$\begin{aligned}\beta d &= \frac{1,2 PDL}{1,2DL + 1,6LL} \\ &= \frac{1615666,428 N}{2024103,18 N} \\ &= 0,798\end{aligned}$$

βd = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

Panjang tekuk kolom :

$$\psi = \frac{\Sigma \left(\frac{EI}{L} \right) \text{ kolom}}{\Sigma \left(\frac{EI}{L} \right) \text{ balok}}$$

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7]

- Struktur kolom (50/50)

$$EI k = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}Ig &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 500 \times 500^3 \\ &= 3645833333 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ec &= 4700 \sqrt{fc'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ Nmm} \\ EI k &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3645833333}{1 + 0,798} \\ &= 20879764551298,26 \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

- Struktur balok memanjang (40/60)

$$EI b = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}Ig &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \times 600^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2520000000 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\
 &= 4700\sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm} \\
 EI_b &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,798} \\
 &= 14432093259176.86 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

- Struktur balok melintang (40/60)

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d}$$

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \times 600^3 \\
 &= 2520000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\
 &= 4700\sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_b &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,798} \\
 &= 14432093259176.86 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

- Struktur sloop memanjang (40/60)

$$EI_s = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d}$$

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \times 600^3 \\
 &= 2520000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\
 &= 4700\sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_s &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,798}
 \end{aligned}$$

$$= 14432093259176.86 \text{ Nmm}^2$$

- Struktur sloop melintang (40/60)

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

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$Ig = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,35 \times 1/12 \times 400 \times 600^3$$

$$= 2520000000 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c'}$$

$$= 4700 \sqrt{30}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$EI_s = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,798}$$

$$= 14432093259176.86 \text{ Nmm}^2$$

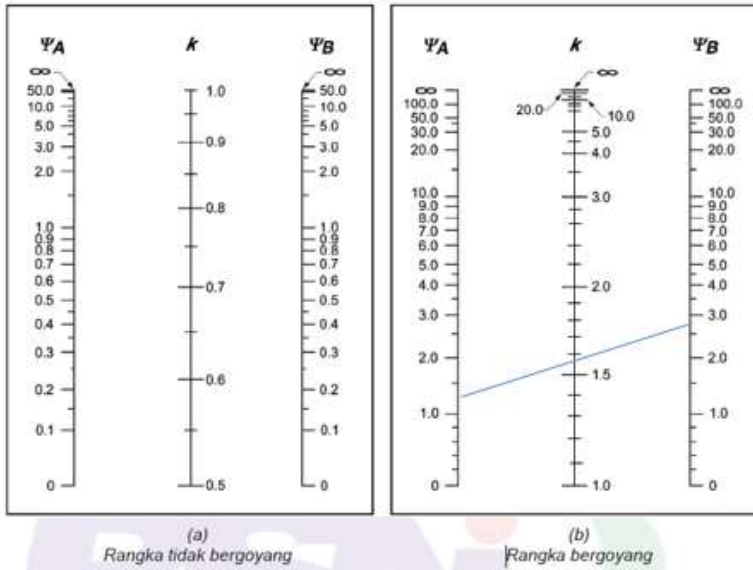
Menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k)

Kekakuan Kolom Atas

$$\psi_a = \frac{\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{kolom atas}}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{b1} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{b2} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{b3} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{b4}} = 1,28$$

Kekakuan Kolom Bawah

$$\psi_b = \frac{\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{kolom bawah}}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{s1} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{s2} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{s3} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{s4}} = 2,96$$



Gambar 4.55 Diagram Faktor Panjang Tekuk

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7.
Berdasarkan grafik alignment didapatkan $K = 1,58$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 \times h$$

$$r = 0,3 \times 500$$

$$r = 150 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan :

Nilai $\frac{K \times Lu}{r} \leq 22$: Pengaruh kelangsingan diabaikan
(termasuk kolom pendek)

Nilai $\frac{K \times Lu}{r} \geq 22$: Pengaruh kelangsingan diabaikan
(termasuk kolom langsing)

$$\frac{1,58 \times 3600}{150} \geq 22$$

$$37,92 \geq 22$$

→ Maka kolom termasuk kolom langsing
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10)

C. Cek Syarat “*Strong Coloumn Weak Beam*”

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.2.2, kekuatan kolom harus memenuhi nilai $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \cdot \Sigma M_{nb}$, dimana perhitungannya sebagai berikut :

a. Menentukan nilai ΣM_{nb} :

- Menentukan lebar efektif balok

$$\text{Lebar balok (bw)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (hf)} = 120 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= \text{bw} + 8\text{hf} = 400 \text{ mm} + 8 (120 \text{ mm}) \\ &= 1360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= \text{bw} + 2 \text{ hw} = 400 \text{ mm} + 2 (600 \text{ mm}) \\ &= 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil, maka $\text{be} = 1360 \text{ mm}$

- Menghitung tinggi efektif

$$\text{As tul.lentur atas balok} = 8\text{D}16 = 1608,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tul.lentur bawah balok} = 4\text{D}16 = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tul. atas (As tarik)} &= \text{As tarik balok} + \text{As pelat} \\ &= 1608,50 \text{ mm}^2 + (2 \times 4 \times 1/4\pi(13\text{mm})^2) \\ &= 2670,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$y =$$

$$\frac{1608(40+10+16+\frac{16}{2}) + (4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2) \cdot (16 - \frac{10}{2}) + (4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2) \cdot (120 - 16 - \frac{10}{2})}{2670,34}$$

- Menentukan M_{nb-} dan M_{nb+}

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{(1680,5 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa})}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} \\ &= 65,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mnb^- &= 1,25 \cdot As \cdot fy \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) \\
 Mnb^- &= 1,25 \cdot 1680,5 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \left(427,33 \text{ mm} \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{65,9 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 Mnb^- &= 331545845 \text{ Nmm} = 331,545 \text{ kNm} \\
 a &= \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{(804,25 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa})}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} \\
 &= 31,53 \text{ mm} \\
 Mnb^+ &= 1,25 \cdot As \cdot fy \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) \\
 Mnb^+ &= 1,25 \cdot 804,25 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \left(427,33 \text{ mm} \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{31,53 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 Mnb^+ &= 165500,575 \text{ Nmm} = 165,500 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

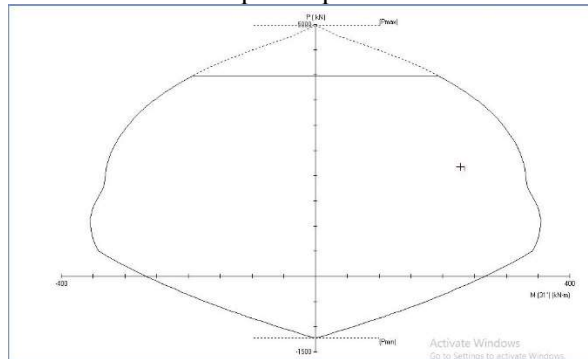
Maka :

$$\begin{aligned}
 \Sigma Mnb &= Mnb^- + Mnb^+ \\
 &= 331,545 \text{ kNm} + 165,500 \text{ kNm} \\
 \Sigma Mnb &= 497,045 \text{ kNm} \\
 1,2 \times \Sigma Mnb &= 1,2 \times 497,045 \text{ kNm} \\
 &= 596,454 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan nilai ΣMnc :

Menentukan nilai Mnc , didapatkan dari diagram interaksi P-M antara kolom atas dengan kolom bawah (yang ditinjau) dengan program bantu PcaColoumn. Gaya-gaya kolom atas yang terjadi adalah sebagai berikut :

$P_{maks} = 2299661,41 \text{ N} = 2299,66 \text{ kN}$
 $M_{maks} = 137380001,9 \text{ Nmm} = 137,38 \text{ kNm}$
 Diagram interaksi kolom bawah ditampilkan pada **Gambar** sedangkan untuk diagram interaksi kolom atas ditampilkan pada **Gambar**



Gambar 4.56 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri

```

General Information:
=====
File Name: E:\Tugas Akhir\TA fin\Foa Col Pakai Asli\untitled.col
Project: TA Gedung
Column: Kolom 12
Code: RCI 318-02
Run Option: Design
Run Axis: Biaxial
Engineer: Rendy
Units: Metric
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural

Material Properties:
=====
f'c = 30 MPa
Ec = 23743 MPa
Ultimate strain = 0.009 mm/mm
Beta1 = 0.89246
fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa

Section:
=====
Rectangular: Width = 500 mm      Depth = 500 mm
Gross section area, Ag = 250000 mm^2
Ix = 5.20893e+009 mm^4          Iy = 5.20893e+009 mm^4
Xo = 0 mm                      Yo = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A618
Size Diam (mm) Area (mm^2)      Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 3      10      71      # 4      19      129      # 5      16      200
# 6      19      204      # 7      22      387      # 8      25      510
# 9      25      445      # 10     32      816      # 11     36      1006
# 14     49      1452     # 18     57      2591

Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.
phi(s) = 0.8, phi(b) = 0.8, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular
Caption: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
Total steel area, As = 3406 mm^2 at 1.36%
12 #6      Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No.      Pu      MuX      MuY      P/MuX      P/MuY      P/Mu
-----
1      2178.0    196.4    116.7    282.5      167.8      1.439

*** Program completed as requested! ***

```

Gambar Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri

Berdasarkan gambar diatas, didapatkan nilai M_{nc} kolom bawah dan M_{nc} kolom atas yakni :

M_{nc} kolom bawah = 2178 kNm

M_{nc} kolom atas = 2810 kNm

$$\Sigma M_{nc} = M_{nc} \text{ bawah} + M_{nc} \text{ atas}$$

$$\Sigma M_{nc} = 2178 \text{ kNm} + 2810 \text{ kNm} = 4988 \text{ kNm}$$

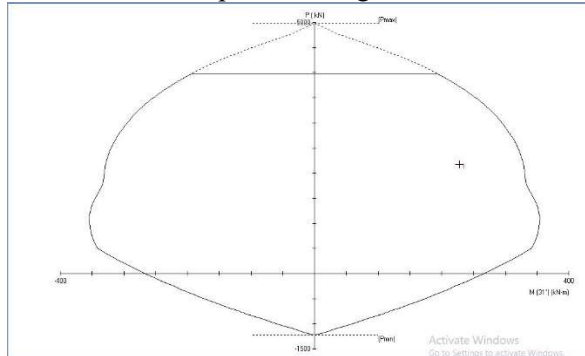
Maka dilakukan cek syarat $\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$

$$4988 \text{ kNm} > 596,45 \text{ kNm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka syarat “*strong coloumn weak beam*” telah terpenuhi.

D. Tentukan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal dibatasi yakni tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$. Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan memanjang, digunakan program bantu PcaColoumn dan didapatkan sebagai berikut :



Gambar 4.57 Momen Arah Sumbu X Tumpuan Kiri

Didapatkan konfigurasi penulangan 12D19 untuk menahan gaya-gaya yang ada pada kolom dengan $\rho = 1,36\%$ atau $0,0136$ sehingga nilai $0,01 < \rho < 0,08$ telah terpenuhi.

- **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

Berdasarkan output program SAP 2000, maka

diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi beban gempa :

$$M1s = 144921027,7 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 196351398 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi :

$$M1ns = 3982951,60 \text{ Nmm}$$

$$M2ns = 13192707,43 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai P_c (P Kritis) pada kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(K \cdot lu)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 20879764551298,26}{(1,58 \cdot 3600)^2}$$

$$= 6351025 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$= 26 \times 6351025 \text{ N}$$

$$= 165126667 \text{ N}$$

$$P_u = 2810553 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$= 26 \times 2810553 \text{ N}$$

$$= 73074378 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c} \right)} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{73074378}{0,75 \times 165126667} \right)} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,84 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,84$ dalam perhitungan pembesaran momen.

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7.4)

Pembesaran Momen :

$$M1 = M1ns + \delta_s M1s$$

$$\begin{aligned}
&= 8194612,56 \text{ Nmm} \\
&\quad + 1,84 (107037216 \text{ Nmm}) \\
&= 205143090 \text{ Nmm} \\
M2 &= M2ns + \delta sM2s \\
&= 27654884,15 \text{ Nmm} \\
&\quad + 1,84 (137380001,09 \text{ Nmm}) \\
&= 280434086 \text{ Nmm} \\
\text{Diambil momen terbesar yaitu :} \\
M2 &= 280434086 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Menentukan ρ perlu dari diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ perlu untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992.

Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned}
\mu h &= h_{kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{geser}) - \emptyset_{lentur} \\
&= 500\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - 19\text{mm} \\
&= 381 \text{ mm}
\end{aligned}$$

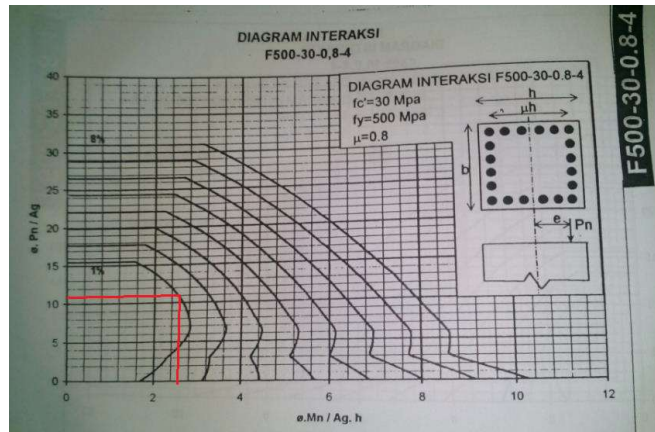
$$\mu = \frac{\mu h}{h_{kolom}} = \frac{381}{500} = 0,762$$

Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}
\frac{\phi Pn}{Ag} &= \frac{Pu}{b \cdot h} \\
&= \frac{2810553,84 \text{ N}}{500 \times 500} = 11,24 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}
\frac{\phi Mn}{Ag} &= \frac{Mu}{b \cdot h^2} \\
&= \frac{280434086 \text{ Nmm}}{500 \times 500^2} = 2,24 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$



Gambar 4.58 Diagram Interaksi

Maka didapatkan ρ perlu = 1% = 0,01

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \text{ perlu} \times b \times h \\ &= 0,01 \times 500\text{mm} \times 500\text{mm} \\ &= 2500\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D19} &= 1/4\pi d^2 \\ &= 1/4\pi(19\text{mm})^2 \\ &= 283,528\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan D19}} \\ &= \frac{2500}{283,528} \\ n &= 8,82 \approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times 1/4\pi d^2 \\
 &= 12 \times 1/4\pi(19\text{mm})^2 \\
 &= 3402,34\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjau momen arah X menggunakan tulangan sebesar 12D19.

$$\begin{aligned}
 \%Tulangan \text{ terpasang} &= \frac{A_s \text{ pasang}}{\frac{b \times h}{3402,34}} \times 100\% \\
 &= \frac{3402,34}{500 \times 500} \times 100\% \\
 &= 1,36\% < 8\% \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

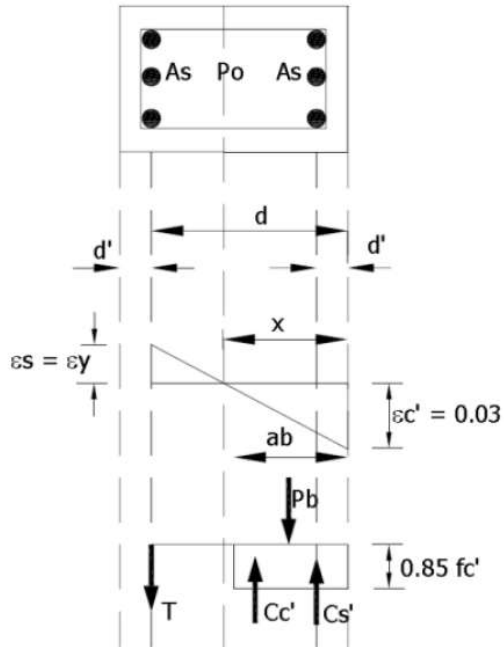
$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{280434086 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 431437055,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pn &= \frac{Pu}{\phi} \\
 &= \frac{2810553,84 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 4323928,99 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{Mn}{Pn} = \frac{431437055,4 \text{ Nmm}}{4323928,99 \text{ N}} = 99,77 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 e \text{ min} &= (15,24 + 0,03h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 500\text{mm}) \\
 &= 30,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

kondisi balance :



$$\text{Syarat : } \varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}19 = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2}19 = 59,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}19 - \frac{1}{2}500 = 190,5 \text{ mm}$$

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} 440,5 \text{ mm}$$

$$= 264,3 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85 \times Xb$$

$$= 0,85 \times 264,3 \text{ mm}$$

$$= 224,66 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 3402,34\text{mm}^2 (400\text{Mpa} - 0,85(30\text{Mpa}))$$

$$= 1274176 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 3402,62\text{mm}^2 \times 400\text{N/mm}^2$$

$$= 1361048 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85\beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_b$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 264,3$$

$$= 2864351 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2864351 \text{ N} + 1274176 \text{ N} - 1361048 \text{ N}$$

$$= 2777479 \text{ N}$$

$$M_b = C_c'(d - d - ab/2) + C_s'(d - d - d') + T \cdot d''$$

$$= 2864351\text{N}(440,5 - 190,5$$

$$- 224,66/2) + 1274176\text{N}(440,5 - 190,5$$

$$- 59,5) + 1361048\text{N} (190,5)$$

$$= 896345374 \text{ Nmm}$$

$$e_b = M_b/P_b$$

$$= 896345374\text{Nmm}/2777479 \text{ N}$$

$$= 323 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

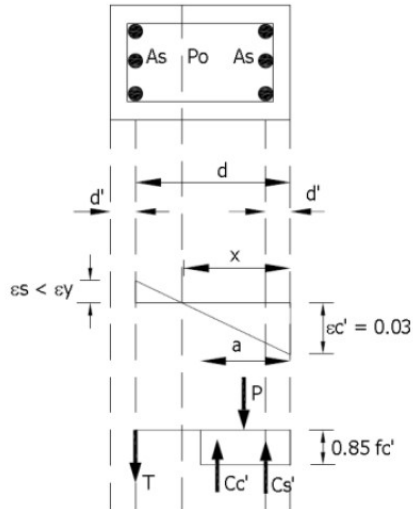
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$

$30,24 \text{ mm} < 99,77 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk kondisi tekan menentukan.

Kontrol Kondisi Tekan Menentukan :



Syarat : $e < e_b$

$99,77 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$ (Ok)

Mencari Nilai X

$$a = 0,54d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 440,5 \text{ mm}$$

$$x = 279,85 \text{ mm}$$

(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG
CHARLES G>SALMON hal. 423)

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 279,85 \text{ mm}$$

$$= 237,87 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 0,003$$

$$= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1 \right) 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 600$$

$$= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1 \right) 600$$

$$= 344,44 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \text{ (Ok)}$$

$$f_s < f_y$$

$$334,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa (Ok)}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 3402,34 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85(30 \text{ Mpa}))$$

$$= 1274176 \text{ N}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 3402,62 \text{ mm}^2 \left(\frac{440,5}{279,85} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 1171980 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 279,85$$

$$= 3032874 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 3032874 \text{ N} + 1274176 \text{ N} - 1171980 \text{ N}$$

$$= 3135070 \text{ N}$$

Syarat :

$$P > P_b$$

$$3135070 \text{ N} > 2777479 \text{ N (Ok)}$$

$$M_n = C_c' (d - d - ab/2) + C_s' (d - d - d') + T \cdot d''$$

$$= 3032874 \text{ N} (440,5 - 190,5$$

$$- 224,66/2) + 1274176 \text{ N} (440,5 - 190,5$$

$$- 59,5) + 1171980 \text{ N} (190,5)$$

$$= 883528482 \text{ Nmm}$$

Cek Syarat :

$$Mn \text{ pasang} > Mn$$

$$883528482 \text{ Nmm} > 431437055,4 \text{ Nmm (Ok)}$$

- **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah Y pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi beban gempa :

$$M1s = 58161730,84 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 68656065 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi :

$$M1ns = 11752586 \text{ Nmm}$$

$$M2ns = 16803088,7 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai Pc (P Kritis) pada kolom

$$Pc = \frac{\pi^2 EI}{(K \cdot lu)^2}$$

$$Pc = \frac{\pi^2 20879764551298,26}{(1,58 \cdot 3600)^2}$$

$$= 6351025 \text{ N}$$

$$\Sigma Pc = n \times Pc$$

$$= 26 \times 6351025 \text{ N}$$

$$= 165126667 \text{ N}$$

$$Pu = 2810553,84 \text{ N}$$

$$\Sigma Pu = n \times Pu$$

$$= 26 \times 2810553,84 \text{ N}$$

$$= 73074399,84 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Sigma Pu}{0,75 \Sigma Pc} \right)} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{73074399,84}{0,75 \times 165126667} \right)} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,84 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,84$ dalam perhitungan

pembesaran momen.

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7.4)

Pembesaran Momen :

$$\begin{aligned} M1 &= M1ns + \delta s M1s \\ &= 11752586 \text{ Nmm} \\ &\quad + 1,84 (58161730,84 \text{ Nmm}) \\ &= 118770170,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= M2ns + \delta s M2s \\ &= 16803088,7 \text{ Nmm} + 1,84 (68656065 \text{ Nmm}) \\ &= 143130248,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M2 = 143130248,3 \text{ Nmm}$$

Menentukan ρ perlu dari diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ perlu untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992.

Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned} \mu h &= h_{kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{geser}) \\ &\quad - \emptyset_{lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) \\ &\quad - 19 \text{ mm} \\ &= 381 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h_{kolom}} = \frac{381}{500} = 0,762$$

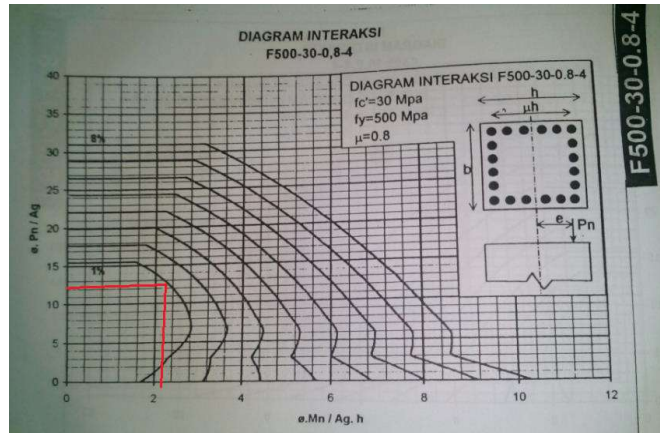
Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned} \frac{\phi P n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{2810553,84 \text{ N}}{500 \times 500} = 11,24 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\varphi Mn}{Ag} = \frac{Mu}{b \cdot h^2}$$

$$= \frac{143130248,3 \text{ Nmm}}{500 \times 500^2} = 2,04 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4.59 Diagram Interaksi

Maka didapatkan ρ perlu = 1% = 0,01

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$As \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \times b \times h$$

$$= 0,01 \times 500\text{mm} \times 500\text{mm}$$

$$= 2500\text{mm}^2$$

Luas tulangan lentur

$$\text{Luas tulangan D19} = 1/4 \pi d^2$$

$$= 1/4 \pi (19\text{mm})^2$$

$$= 283,528\text{mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan D19}}$$

$$n = \frac{2500}{283,528}$$

$$n = 8,82 \approx 12 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times 1/4\pi d^2 \\ &= 12 \times 1/4\pi(19\text{mm})^2 \\ &= 3402,34\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjau momen arah X menggunakan tulangan sebesar 12D19.

%Tulangan terpasang

$$\begin{aligned} &= \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{3402,34}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% (Ok) \end{aligned}$$

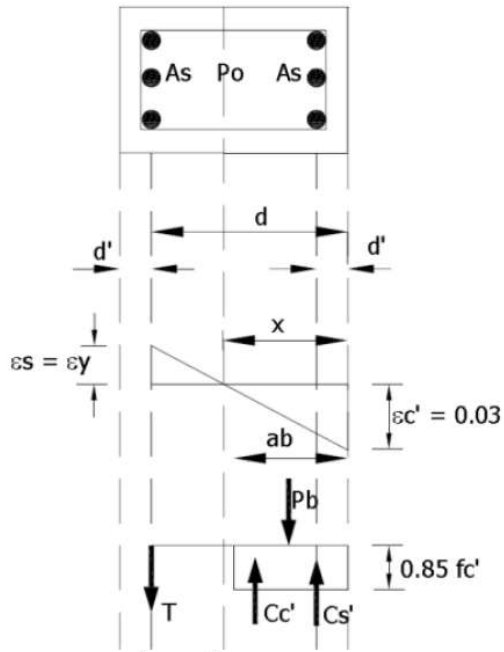
Mencari e perlu dan e min

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{143130248,3 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 220200382 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pn &= \frac{Pu}{\phi} \\ &= \frac{2801553,84 \text{ N}}{0,65} \\ &= 4310082,83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{Mn}{Pn} = \frac{220200382 \text{ Nmm}}{4310082,83 \text{ N}} = 51,08 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} e \text{ min} &= (15,24 + 0,03h) \\ &= (15,24 + 0,03 \cdot 500\text{mm}) \\ &= 30,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

kondisi balance :

$$\text{Syarat : } \varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}19 = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2}19 = 59,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}19 - \frac{1}{2}500 = 190,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} d \\ &= \frac{600}{600 + 400} 440,5 \text{ mm} \\ &= 264,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \times X_b \\ &= 0,85 \times 264,3 \text{ mm} \\ &= 224,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As'(fy - 0,85fc') \\
 &= 3402,34\text{mm}^2 (400\text{Mpa} - 0,85(30\text{Mpa})) \\
 &= 1274176 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times fy \\
 &= 3402,62\text{mm}^2 \times 400\text{N/mm}^2 \\
 &= 1361048 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85\beta_1 \cdot fc' \cdot b \cdot Xb \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 264,3 \\
 &= 2864351 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T \\
 &= 2864351 \text{ N} + 1274176 \text{ N} - 1361048 \text{ N} \\
 &= 2777479 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Cc'(d - d' - ab/2) + Cs'(d - d' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2864351\text{N}(440,5 - 190,5 \\
 &\quad - 224,66/2) + 1274176\text{N}(440,5 - 190,5 \\
 &\quad - 59,5) + 1361048\text{N} (190,5) \\
 &= 896345374 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= Mb/Pb \\
 &= 896345374\text{Nmm}/2777479 \text{ N} \\
 &= 323 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

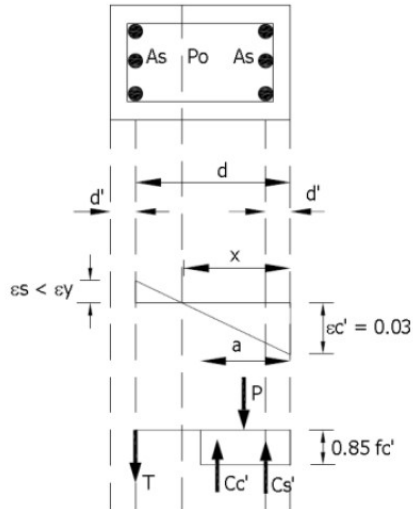
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$

$30,42 \text{ mm} < 51,08 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk kondisi tekan menentukan.

Kontrol Kondisi Tekan Menentukan :



Syarat : $e < e_b$

$51,08 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$ (Ok)

Mencari Nilai X

$$a = 0,54d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 440,5 \text{ mm}$$

$$x = 279,85 \text{ mm}$$

(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG
CHARLES G>SALMON hal. 423)

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 279,85 \text{ mm}$$

$$= 237,87 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 0,003$$

$$= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1 \right) 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 600$$

$$= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1 \right) 600$$

$$= 344,44 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \text{ (Ok)}$$

$$f_s < f_y$$

$$334,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa (Ok)}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 3402,34 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85(30 \text{ Mpa}))$$

$$= 1274176 \text{ N}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 3402,62 \text{ mm}^2 \left(\frac{440,5}{279,85} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 1171980 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 279,85$$

$$= 3032874 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 3032874 \text{ N} + 1274176 \text{ N} - 1171980 \text{ N}$$

$$= 3135070 \text{ N}$$

Syarat :

$$P > P_b$$

$$3135070 \text{ N} > 2777479 \text{ N (Ok)}$$

$$M_n = C_c' (d - d - ab/2) + C_s' (d - d - d') + T \cdot d''$$

$$= 3032874 \text{ N} (440,5 - 190,5$$

$$- 224,66/2) + 1274176 \text{ N} (440,5 - 190,5$$

$$- 59,5) + 1171980 \text{ N} (190,5)$$

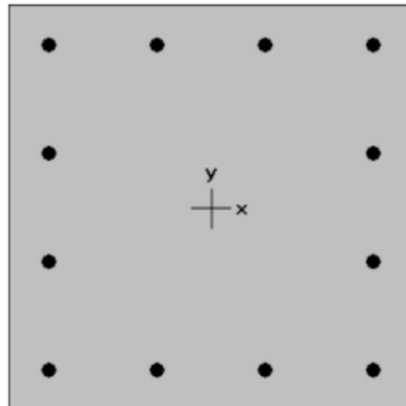
$$= 883528482 \text{ Nmm}$$

Cek Syarat :

$$Mn \text{ pasang} > Mn$$

$$883528482 \text{ Nmm} > 220200382 \text{ Nmm (Ok)}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 12D19 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut :



Gambar 4.60 Susunan Tulangan Rencana

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{Susun 1 lapis}$$

$$S_{max} \leq S_{sejajar}$$

\rightarrow Perbesar penampang kolom

$$= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times \phi_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

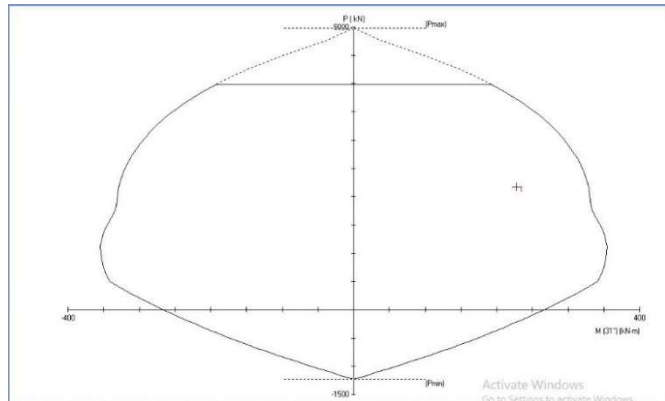
$$S_{max} = 108 > 40 \text{ mm (Memenuhi)}$$

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis.

Cek dengan program pcaColoumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis `pcaColoumn`, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	: 30 Mpa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400 Mpa
Modulus elastisitas	: 25742,96Mpa
β_1	: 0,85
b kolom	: 500 mm
h kolom	: 500 mm
Tulangan Kolom Pasang	: 12D19



```

General Information:
=====
File Name: E:\Tugas Akhir\TA fix\Pca Col Pakai Asli\untitled.col
Project: TA Gedung
Column: Kolom K1
Code: ACI 318-02
Units: Metric

Run Option: Design
Run Axis: Biaxial
Slenderness: Not considered
Column Type: Structural

Material Properties:
=====
f'c = 30 MPa
Ec = 25749 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.82245
fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa

Section:
=====
Rectangular: Width = 500 mm
Depth = 300 mm

Gross section area, Ag = 250000 mm^2
Ix = 8.20833e+009 mm^4
Iy = 8.20833e+009 mm^4
Xc = 0 mm
Yc = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A615
Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2) Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 3 10 71 # 4 13 129 # 5 16 200
# 6 19 284 # 7 22 387 # 8 25 510
# 9 29 645 # 10 32 819 # 11 36 1006
# 14 43 1452 # 18 57 2581

Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular
Factors: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
Total steel area, As = 3406 mm^2 at 1.36%
12 #6 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No. Fu Mux Muy fMnx fMny fMn/Mu
-----
1 2175.0 196.4 116.7 282.5 167.8 1.439

*** Program completed as requested! ***

```

Gambar 4.61 Output PcaCol

Berdasarkan Output dari pcaColoumn
 $M_{ux} = 196,4 \text{ kNm} < M_{nx} = 431,4 \text{ kNm}$
 $M_{uy} = 116,7 \text{ kNm} < M_{ny} = 220,2 \text{ kNm}$
Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 12D19.

Presentase terpasang :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 12 \times 1/4\pi d^2 \\
 &= 3402,34 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned}
 \% \text{tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \\
 &\times 100\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%tulangan &= \frac{3402,34mm^2}{250000mm^2} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% (Ok) \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen 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.

E. Perhitungan Geser Kolom

Data Perencanaan :

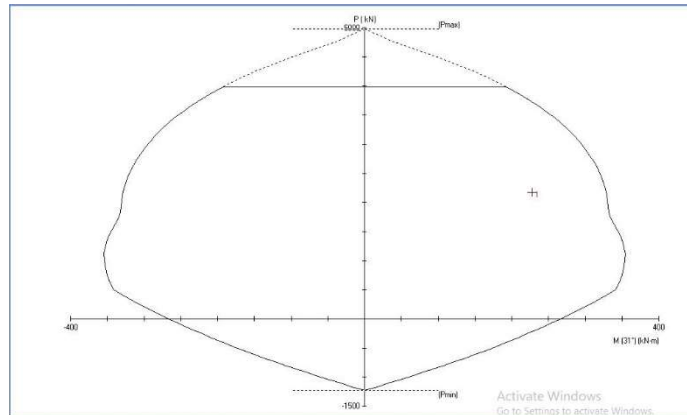
h kolom	: 500 mm
b kolom	: 500 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 3600 mm
Mutu beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur	: D19
Diameter tulangan geser	: D10
Faktor Reduksi	: 0,75

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom (K1) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1670348,38 \text{ N} \end{aligned}$$

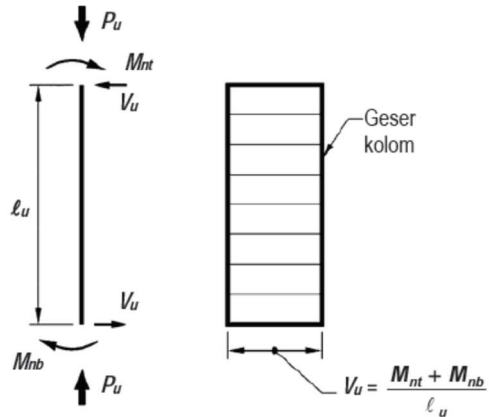
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil Pcacol sebagai berikut :



Gambar 4.62 Output Grafik Peacol

Mut = 167860000 Nmm

Mub = 282500000 Nmm



Gambar 4.63 Sketsa Arah Gaya dan Momen Pada Kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_n}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

Mnt = Momen nominal atas (top) kolom

Mnb = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$Mnt = \frac{Mut}{\varphi} = \frac{167860000}{0,75}$$

$$= 251333333 \text{ Nmm}$$

$$Mnb = \frac{Mub}{\varphi} = \frac{282500000}{0,75}$$

$$= 326,133333 \text{ Nmm}$$

$$Vu = \frac{Mnt + Mnb}{ln} = \frac{577466667}{3600}$$

$$= 160497,5 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 Mpa. (SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30 \text{ Mpa}} \leq \frac{25}{3} \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ Mpa} \leq 8,33 \text{ Mpa} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Kekuatan geser pada beton :

$$Vc = 0,17 \left[1 + \frac{Nu}{14 \times Ag} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times bw \times d$$

$$= 0,17 \left[1 + \frac{2024103,18}{14 \times 250000} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 500$$

$$\times 440,5$$

$$= 324028,01 \text{ N}$$

Kekuatan geser tulangan :

$$Vs \text{ min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 500 \times 440,5$$

$$= 72682,5 \text{ N}$$

$$Vs \text{ max} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542$$

$$= 398098,45 \text{ N}$$

$$2Vs \text{ max} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 542$$

$$= 796196,90 \text{ N}$$

Cek Kondisi Penulangan geser :

- Kondisi 1
 $Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$
 \rightarrow *Tidak Perlu Tulangan Geser*
 $160497,5 \text{ N}$
 $> 121510,5 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)
- Kondisi 2
 $0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$
 \rightarrow *Tulangan Geser Minimum*
 $121510,5 \text{ N} \leq 160497,5 \text{ N}$
 $< 243021,01 \text{ N}$ (**Memenuhi**)
- Kondisi 3
 $\phi \times Vc \leq Vu \leq \phi(Vc + Vsmin)$
 \rightarrow *Tulangan Geser Minimum*
 $243021,01 \text{ N} > 160497,5 \text{ N}$
 $\leq 297532,88 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)
- Kondisi 4
 $\phi(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \phi(Vc + Vsmax)$
 \rightarrow *Tulangan Geser*
 $297532,88 \text{ N} > 160497,5 \text{ N}$
 $\leq 541594,85 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)
- Kondisi 5
 $\phi(Vc + Vsmin) \leq Vu \leq \phi(Vc + 2Vsmax)$
 \rightarrow *Tulangan Geser*
 $541594,85 \text{ N} > 160497,5 \text{ N}$
 $\leq 840168,68 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **Kondisi 2**.

Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min} = 72682,5 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = 1/4 \pi d^2 n \text{ kaki}$$

$$= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157mm^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{Av \times f_{yv} \times d}{V_{sperlu}} \\ &= \frac{157 \times 240 \times 440,5}{72682,5} \\ &= 288,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan S pakai = 100 mm

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2

$$\begin{aligned} S_{pakai} &\leq \frac{d}{2} \\ 100 \text{ mm} &\leq \frac{440,5 \text{ mm}}{2} \\ 100 \text{ mm} &\leq 220,25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)} \end{aligned}$$

$$S_{pakai} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Sehingga dicoba pakai tulangan geser Ø10-100 mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi :

- a. Setengan dimensi d,

$$S_o \leq \frac{1}{2} d$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} 440,5 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 220,25 \text{ mm} \text{ (**Memenuhi**)}$$

- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \times \phi_{Lentur}$$

$$100 \text{ mm} \leq 8 \times 19 \text{ mm}$$

- $100 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- c. 24 kali diameter sengkang ikat,
 $S_o \leq 24 \times \varnothing \text{Sengkang}$
 $100 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- d. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
 $S_o \leq \frac{1}{2}bw$
 $100 \text{ mm} \leq \frac{1}{2}500 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- e. $S_o \leq 600 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, maka Spakai menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 100 mm.

Maka, S_o dipakai sebesar $\varnothing 10 - 100 \text{ mm}$.

Panjang L_o tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom
 $L_o = 1/6 \times (3600 - 600)$
 $L_o = 500 \text{ mm}$
- b) Dimensi terbesar penampang kolom
 $L_o = 500 \text{ mm}$
- c) $L_o > 450 \text{ mm}$

Maka dipakai L_o sebesar 600 mm.

Sehingga dipasang sengkang sebesar $\varnothing 10 - 100 \text{ mm}$ sejarak 600 mm dari muka hubungan balok kolom.

2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 S_o = 55 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.

3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2S_o = 200 \text{ mm}$. Maka pada daerah setelah berjarak $L_o = 600 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10\text{-}100 \text{ mm}$.

F. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times db$, untuk $f_y = 420 \text{ Mpa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm .

$$0,071 \times f_y \times db \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \times 19 \geq 300 \text{ mm}$$

$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 550 mm .

G. Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3, Panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{db} = \frac{f_y \psi_t \psi_e \psi_s}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'} \frac{c + ktr}{db}}$$

$$\frac{L_d}{db} = \frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{30} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{19}}$$

$$\frac{L_d}{db} = 5,86$$

$$L_d = 5,86 \times 19 \text{ mm}$$

$$L_d = 111,13 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

$$f_s = 60\% \times f_y$$

$$= 240 \text{ Mpa}$$

$$f_s < f_y \rightarrow L_d \text{ pakai} = 1,3 \times 200 \text{ mm}$$

$$= 260 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Tabel 4.19. Rekapitulasi Penulangan Lantai 1-4

Tipe Kolom	Penulangan	
	Kolom Lantai 1	Lentur
50 x 50	Geser	Ø10 -100
Kolom Lantai 2	Lentur	12D19
50 x 50	Geser	Ø10 -100
Kolom Lantai 3	Lentur	12D19
50 x 50	Geser	Ø10 -100
Kolom Lantai 4	Lentur	12D19
50 x 50	Geser	Ø10 -100

4.6.5 Desain Struktur Bangunan Bawah

Pada perhitungan struktur pondasi, dimensi dari poer dan jumlah tiang pancang dihitung berdasarkan besarnya gaya yang akan terjadi pada titik yang ditinjau, sehingga akan menghasilkan pondasi yang efisien. Untuk denah rencana pondasi adalah sebagai berikut :

A. Data Perencanaan

Bj Beton	: 2,4 t/m ³
b kolom	: 500 mm
h kolom	: 500 mm
Tulangan Utama	: 16 mm
Tulangan Susut	: 12 mm
Mutu Beton (fc')	: 30 Mpa
Mutu Baja (fy)	: 400 Mpa
Tebal selimut beton	: 75 mm
Tebal Pile Cap	: 500 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1.a)

B. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dihitung menggunakan rumus Meyerhof (1976). Berdasarkan nilai N-SPT, daya

dukung tanah secara empiris dinyatakan dengan rumus

$$Q_{ijin} = \frac{(40 \cdot N_b \cdot A_p + 0,2 N \cdot A_s)}{SF}$$

Keterangan :

N_b = Nilai SPT di sekitar dasar tiang, dihitung dari 10D di atas dasar tiang sampai 4D di bawah dasar tiang.

A_p = Luas penampang dasar tiang

N = Harga N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang

SF = Safety Factor

- **Data Tiang Pancang**

Tiang pancang yang digunakan berasal dari Smartindo Cahaya Gemilang

- Dimensi penampang tiang : 0,3 x 0,3 m
- Kedalaman (L) : 20 m
- Luas penampang tiang (A_p) : 0,09 m²
- Luas selimut tiang (A_s) : 24 m²
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Safety factor (SF) : 3

- **Data Tanah**

Tabel 4.20. Data Tanah Hasil Uji SPT

Kedalaman (m)	Nilai N SPT
2.00	13
4.00	11
6.00	15
8.00	22
10.00	19
12.00	11
14.00	14
16.00	18
18.00	21
20.00	23
Rata - rata	16,7

$$Q_{ijin} = \frac{(40 \cdot 22,2 \cdot 0,09 \text{ m}^2 + 0,2 \cdot 16,7 \cdot 24 \text{ m}^2)}{3}$$

$$Q_{ijin} = 53,36 \text{ ton}$$

- **Kebutuhan Jumlah Tiang**

Dalam melakukan perhitungan kebutuhan jumlah tiang pancang digunakan Gaya-gaya dalam yang diperoleh dari output SAP 2000, Gaya-gaya dalam yang diperlukan beserta besar gaya antara lain :

Joint 86 – As C 6

Joint Object	Joint Element 86		
	1	2	3
Force	0.133	-2.301	175.440
Moment	1.659	-0.144	-1.193E-03

Gambar 4.64 Besaran Gaya dalam Pada SAP

P maks : 175,44 Ton (1D + 1L)

Mux : 1,66 Tm (1D + 1L)

Muy : 0,14 Tm (1D + 1L)

$$n = \frac{P_{maks}}{P_{ijin}} = \frac{175,44}{53,36} = 3,28 \approx 4 \text{ buah}$$

- **Cek Kemampuan Bahan (Pile)**

Berdasarkan brosur tiang pancang smartindo Cahaya Gemilang, didapatkan kemampuan bahan sebagai berikut :

SIZE	WEIGHT	AREA	LENGTH	BENDING MOMENT		AXIAL LOAD
				MOMENT DESIGN	MOMENT ULTIMATE	
(cm)	(kg/m)	(cm ²)	(m)	(TM)	(TM)	(TON)
20X20	100	400	6-12	1.1	1.8	49
			13-15	1.2	2.5	48
25x25	157	625	6-12	1.9	3.2	78
			13-15	2.2	5.3	77
30x30	225	900	6-12	3.1	6.3	115
			13-15	3.6	8.4	111
35x35	306	1225	6-12	5.5	10.7	152
			13-15	5.5	10.7	152
			16-18	5.8	10.8	151
40X40	400	1600	6-12	6.0	12.5	205
			13-15	7.5	13.5	203
			16-18	7.9	16.0	200

SIZE	WEIGHT	AREA	LENGTH	BENDING MOMENT		AXIAL LOAD
				MOMENT DESIGN	MOMENT ULTIMATE	
cm	kg/m	cm ²	m	TM	TM	TON
45x45	506	2025	6-12	8.1	15.1	266.0
			13-15	12.9	21.0	248.0
			16-18	13.4	27.0	246.0
50x50	625	2500	6-12	16.0	27.0	318.0
			13-15	16.5	28.5	312.0
			16-18	17.5	30.0	307.0

Note: Concrete Compressive Strength $f'_c = 42.3 \text{ Mpa}$ (Cube 500 kg/cm²)
 - Joint system : Welded at steel joint plate
 - Type of shoe : Pencil (Standard Product)

SMARTINDO CAHAYA GEMILANG
JUAL TIANG PANCANG PONDASI BETON

Gambar 4.65 Brosur Tiang Pancang

Syarat:

$Q_{ijin \text{ Tiang}} > Q_{ijin \text{ Tanah}}$

$115 \text{ Ton} > 53,36 \text{ Ton (Ok)}$

C. Perencanaan Pile Cap

- Perencanaan Dimensi Pile Cap

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam menghitung jarak antar tiang pancang (S) menurut “Mekanika Tanah dan Praktek Rekayasa-Jilid 2 (Karl Terzaghi dan Ralph B.Peck)” menyebutkan bahwa :

a. Jarak antar tiang pancang (S)

$$S \geq 2,5D$$

$$S \geq 2,5 \times 0,3m$$

$$S \geq 0,75 m$$

Dipakai jarak : 0,75 m

- b. Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap (S')

$$S' \geq 1,5D$$

$$S' \geq 1,5 \times 0,3m$$

$$S' \geq 0,45m$$

Dipakai Jarak : 0,45 m

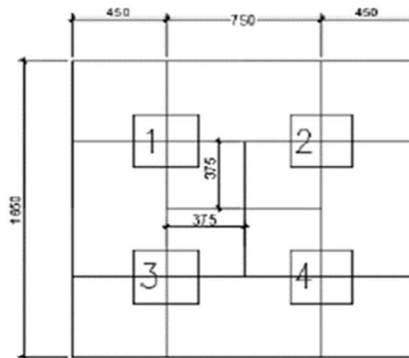
Sehingga didapatkan total lebar pile cap :

$$b = S' + S + S'$$

$$= 0,45 m + 0,75 m + 0,45 m$$

$$= 1,65 m$$

$$b = h = 1,65 m$$



Gambar 4.66 Sketsa Rencana Pemasangan Pancang

- Pengecekan Ulang Kebutuhan Pile Cap
Pemeriksaan ulang kebutuhan tiang setelah di dapat dimensi pile cap dan diasumsikan tebal pile cap.

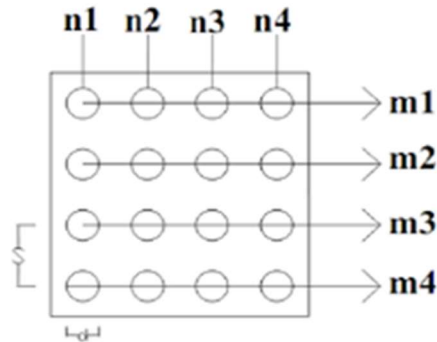
$$\text{Berat Pile Cap} = \text{Volume Pile cap} \times B_j \text{ Beton}$$

$$= 0,5 m \times 1,65 m \times 1,65 m \times 2,4$$

$$\begin{aligned}
 & t/m^3 \\
 & = 3,72 \text{ Ton} \\
 \text{Berat Tanah} & = (\text{Luas pile cap} - \text{Luas kolom}) \times \\
 & \text{tebal} \times B_j \text{ tanah} \\
 & = (1,65^2 - 0,50^2) \times 1 \times 1,68 \\
 & = 4,15 \text{ Ton} \\
 \text{P akibat beban pondasi} & = \text{Berat Pile cap} + \text{Berat} \\
 & \text{tanah} + \text{P aksial} \\
 & = 3,27 \text{ T} + 4,15 \text{ T} + 175,44 \text{ T} \\
 & = 185,55 \text{ Ton} \\
 n & = \frac{P_{total}}{P_{ijin}} = \frac{182,86}{53,36} = 3,42 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Efisiensi Daya Dukung Kelompok Tiang
 Pada pondasi tiang group daya dukung yang didapat tidak akan sama dengan daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang tersebut. Hal ini dikarenakan faktor penyebaran tegangan di sekeliling tiang – tiang dalam tanah yang saling tumpang tindih, yang menyebabkan pengurangan daya dukung. Untuk itu diperlukan nilai koreksi yang dinyatakan dengan efisiensi, yang nantinya dikalikan dengan daya dukung tiang (kapasitas per satu tiang). Sehingga hasil dari perkalian inilah yang nantinya dipakai sebagai daya dukung pondasi tersebut.

$$\begin{aligned}
 \text{Rumus efisiensi} & : \quad \eta = 1 - \\
 & \text{Arctg} \left(\frac{D}{s} \right) \left[\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90 mn} \right]
 \end{aligned}$$



Gambar 4.67 Sketsa Efisiensi Tiang Pancang

- η : Efisiensi tiang grup
 D : Diameter tiang
 m : jumlah tiang dalam satu baris
 n : Jumlah tiang dalam satu kolom
 D : 0,3 m
 S : 0,75 m
 m : 2
 n : 2
 Maka :

$$\eta = 1 - \text{Arctg} \left(\frac{0,3 \text{ m}}{0,75 \text{ m}} \right) \left[\frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90.2.2} \right]$$

$$\eta = 0,996$$

$$\begin{aligned}
 P_{ijinn \text{ Kelompok}} &= \eta \times P_{tiang} \\
 &= 0,996 \times 53,36 \text{ ton} \\
 &= 53,12 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Beban Maksimum yang Diterima
 Gaya luar yang bekerja pada kolom didistribusikan pada pile cap dan kelompok tiang pondasi berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa pile cap kaku sempurna (pelat pondasi cukup tebal), sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan pile cap melengkung atau deformasi. Rumus yang dipakai

adalah rumus berikut :

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2}$$

Dengan :

M_x, M_y : Momen masing-masing di sb. X dan Y

X, y : Jarak ari sumbu x dan y ke tiang

$\Sigma x^2, \Sigma y^2$: Momen inersia dari kelompok tiang

V : Jumlah beban vertikal

n : Jumlah tiang kelompok

P : Reaksi tiang atau beban axial tiang

Tabel 4.21. Momen Inersia dari Kelompok Tiang Pancang

No.	x	x ²	y	y ²
1.	0,375	0,141	0,375	0,141
2.	0,375	0,141	0,375	0,141
3.	0,375	0,141	0,375	0,141
4.	0,375	0,141	0,375	0,141
	Σ	0,563		0,563

- a. Ditinjau dari kombinasi beban tetap (1D + 1L)

V = P total : 182,86 Ton

M_{ux} : 1,66 Tm

M_{uy} : 0,14 Tm

n : 4

$$P_{\text{tiang 1}} = \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} + \frac{M_{ux} \cdot Y_{\text{max}}}{\Sigma y^2}$$

$$\begin{aligned}
 &+ \frac{M_{uy} \cdot X_{\text{max}}}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{182,86 \text{ T}}{4} + \frac{1,66 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563} \\
 &\quad + \frac{0,14 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563} \\
 &= 46,83 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 2}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} + \frac{M_{\text{ux}} \cdot Y_{\text{max}}}{\Sigma y^2} \\
 &\quad - \frac{M_{\text{uy}} \cdot X_{\text{max}}}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{182,86 \text{ T}}{4} + \frac{1,66 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563} \\
 &\quad - \frac{0,14 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563}
 \end{aligned}$$

$$= 46,81 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 3}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} - \frac{M_{\text{ux}} \cdot Y_{\text{max}}}{\Sigma y^2} \\
 &\quad + \frac{M_{\text{uy}} \cdot X_{\text{max}}}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{182,86 \text{ T}}{4} - \frac{1,66 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563} \\
 &\quad + \frac{0,14 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563}
 \end{aligned}$$

$$= 44,62 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 4}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} - \frac{M_{\text{ux}} \cdot Y_{\text{max}}}{\Sigma y^2} \\
 &\quad - \frac{M_{\text{uy}} \cdot X_{\text{max}}}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{182,86 \text{ T}}{4} - \frac{1,66 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563} \\
 &\quad - \frac{0,14 \text{ Tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,563}
 \end{aligned}$$

$$= 44,60 \text{ Ton}$$

- b. Ditinjau dari kombinasi beban sementara (1D + 1L + 0,3Ey + 1Ex)

$$V = P_{\text{total}} \quad : 194,82 \text{ Ton}$$

$$M_{\text{ux}} \quad : 11,98 \text{ Tm}$$

$$M_{\text{uy}} \quad : 12,34 \text{ Tm}$$

$$n \quad : 4$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 1}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} + \frac{Mux.Y \max}{\Sigma y^2} \\
 &\quad + \frac{Muy.X \max}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{194,82 T}{4} + \frac{11,98 Tm. 0,375 m}{0,563} \\
 &\quad + \frac{12,34 Tm. 0,375 m}{0,563} \\
 &= 64,72 Ton
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 2}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} + \frac{Mux.Y \max}{\Sigma y^2} \\
 &\quad - \frac{Muy.X \max}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{194,82 T}{4} + \frac{11,98 Tm. 0,375 m}{0,563} \\
 &\quad - \frac{12,34 Tm. 0,375 m}{0,563} \\
 &= 48,62 Ton
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 3}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} - \frac{Mux.Y \max}{\Sigma y^2} \\
 &\quad + \frac{Muy.X \max}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{194,82 T}{4} - \frac{11,98 Tm. 0,375 m}{0,563} \\
 &\quad + \frac{12,34 Tm. 0,375 m}{0,563} \\
 &= 48,78 Ton
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang 4}} &= \frac{P_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} - \frac{Mux.Y \max}{\Sigma y^2} \\
 &\quad - \frac{Muy.X \max}{\Sigma x^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \text{Tebal pile cap} - \text{selimut} \\
 &\quad - \frac{1}{2} \phi T_{ul} \\
 &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{22}{2} \text{ mm} \\
 &= 414 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Daerah kritis pada jarak $d/2$ dari muka kolom

$$\frac{d}{2} = \frac{414 \text{ mm}}{2} = 207 \text{ mm}$$

Sehingga, dimensi area kritis :

$$\begin{aligned}
 B_x &= b_x + d \\
 &= 500 \text{ mm} + 414 \text{ mm} \\
 &= 914 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_y &= b_y + 414 \text{ mm} \\
 &= 500 \text{ mm} + 414 \text{ mm} \\
 &= 914 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 2 (B_x + B_y) \\
 &= 2 (914 \text{ mm} + 914 \text{ mm}) \\
 &= 3656 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_x = 1650 \text{ mm}$$

$$L_y = 1650 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_t &= (L_x \times L_y) - (B_x \times B_y) \\
 &= (1650 \times 1650) - (914 \text{ mm} \times 914 \text{ mm}) \\
 &= 1887104 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$a_s = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_c &= L_x / L_y \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\lambda = 1$$

$$V_u = P \text{ kolom} = 1819 \text{ kN}$$

Maka untuk nilai V_c yang dipakai adalah yang terkecil di antara tiga persamaan berikut. (SNI 2847 – 2013 Pasal 11.11.2.1 (a),(b), dan (c))

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \left(\frac{1 + 2}{\beta_c} \right) \lambda f_c^{0,5} b_0 d \\
 &= 4228023 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{c2} = 0,83 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \lambda f_c^{0,5} b o d$$

$$= 4492912 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda f_c^{0,5} b o d = 2735780 \text{ N}$$

(Menentukan)

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 2735780 \text{ N} \\ &= 2051835 \text{ N} \\ &= 2051,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$2051,84 \text{ kN} > 1819 \text{ kN (Ok)}$$

2. Geser dua arah akibat tiang pancang

$$\begin{aligned} \phi + d &= 300 \text{ mm} + 414 \text{ mm} \\ &= 714 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 4 (714 \text{ mm}) \\ &= 2856 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diketahui beban terpusat tiang pancang

$$\begin{aligned} V_u = P_u &= 53,12 \text{ Ton} \\ &= 531,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai V_c yang dipakai adalah yang terkecil di antara tiga persamaan berikut. (SNI 2847 – 2013 Pasal 11.11.2.1 (a),(b), dan (c))

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \lambda f_c^{0,5} b o d$$

$$= 3302853,7 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,83 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \lambda f_c^{0,5} b o d$$

$$= 4191778 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda f_c^{0,5} b o d = 2137140 \text{ N}$$

(Menentukan)

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 2137140 \text{ N} \\ &= 1602855 \text{ N} \\ &= 1602,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$1602,86 \text{ kN} > 531,20 \text{ kN (Ok)}$$

- Desain Tulangan Pile Cap
Nilai momen lentur yang digunakan untuk

mendesai penulangan pile cap diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom. Dalam kasus ini ada dua buah tiang pancang yang menimbulkan momen terhadap muka kolom di masing – masing arah, maka penampang lentur kritis berada pada muka kolom.

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Decking} = 75 \text{ mm}$$

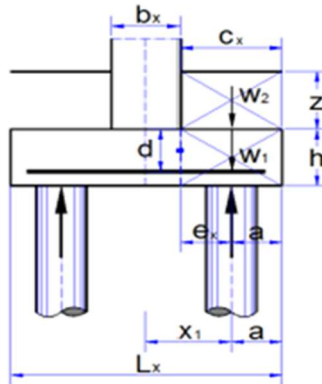
$$D \text{ tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$D = 414 \text{ mm}$$

$$B_j \text{ Beton} = 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$B_j \text{ Tanah} = 1,68 \text{ t/m}^3$$

Gambar ilustrasi beban yang bekerja pada pondasi :



Gambar 4.69 Ilustrasi Beban yang Bekerja pada Pondasi

$$C_x = 0,575 \text{ m (Jarak dari ujung poer ke tepi kolom)}$$

$$e_x = 0,288 \text{ m (Jarak dari as pancang ke tepi kolom)}$$

$$z = 1 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$L_y = 1,65 \text{ m}$$

Q diatas bidang tinjau = Berat poer (W1) dan tanah (W2)

$$\begin{aligned} W1 &= Cx \times h \times l_y \times B_j \text{ Beton} \\ &= 0,575 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 1,65 \text{ m} \\ &\quad \times 2,4 \text{ T/m}^3 \\ &= 1,14 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W2 &= Cx \times z \times l_y \times B_j \text{ Beton} \\ &= 0,575 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,65 \text{ m} \\ &\quad \times 2,4 \text{ T/m}^3 \\ &= 1,59 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= W1 + W2 \\ &= 2,73 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= P_{maks} \times \text{Jumlah tiang} \\ &= 64,72 \text{ Ton} \times 2 \\ &= 129,5 \text{ Ton} \end{aligned}$$

1. Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} M_u &= M_p - M_q \\ &= (P \times ex) - (0,5 \times Q_u \times b^2) \\ &= (129,5 \times 0,288) - (0,5 \times 2,73 \\ &\quad \times 0,575^2) \\ &= 368446968,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{368446968,8}{0,9 \times 1650 \times 414^2} \\ &= 1,14 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,14)}{400}} \right) \\
 &= 0,0029
 \end{aligned}$$

Cek Persyaratan

$\rho > \rho_{\min}$

Karena $\rho_{\min} > \rho$, maka ρ ditambah 30% dari

ρ . Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1,3 \times \rho \\
 &= 1,3 \times 0,0035 \\
 &= 0,0045
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0045 \times 1650 \times 414 \\
 &= 3073,95 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan D22-200 dengan As pakai 3136,1 mm².

2. Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 Mu &= Mp - Mq \\
 &= (P \times ex) - (0,5 \times Qu \times b1^2) \\
 &= (129,5 \times 0,288) - (0,5 \times 2,73 \\
 &\quad \times 0,575^2) \\
 &= 368446968,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{368446968,8}{0,9 \times 1650 \times 414^2} = 1,14 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,14)}{400}} \right) \\
 &= 0,0029
 \end{aligned}$$

Cek Persyaratan

$\rho > \rho_{\min}$

Karena $\rho_{\min} > \rho$, maka ρ ditambah 30% dari ρ . Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1,3 \times \rho \\
 &= 1,3 \times 0,0035 \\
 &= 0,0045
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0045 \times 1650 \times 414 \\
 &= 3073,95 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan D22-200 dengan As pakai 3136,1 mm².

3. Tulangan Susut dan Suhu Atas

Tulangan pada pondasi atas ditulangi dengan tulangan tulangan susut atau suhu.

$$\begin{aligned}
 \text{As susut} &= \rho \times b \times h \\
 &= 0,0018 \times 1650 \times 500 \\
 &= 1485 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang Ø12-100 tulangan dengan As pakai 1485 mm².

Tulangan arah sebaliknya ditulangi dengan tulangan dan jarak yang sama karena bentuk pondasi dan jumlah tiangnya simetris

D. Rekapitulasi Pile Cap

Tabel 4.22. Rekapitulasi Pile Cap

Tipe Pilecap	n	Gaya terjadi	P		Cek Geser 2 Arah	Arah	Mu (Nmm)	ρ		As perlu (mm ²)	As pakai (mm ²)	Tul.Pakai	
			Pijin (Ton)	Pmaks (Ton)				ρ perlu	ρ pakai			Tulangan	Susut
Pilecap P1 (1650 x1650 x500)	4	1D+1L	69,36	64,72	Memenuhi	X	368446968,8	0,0035	0,0045	3073,95	3136,1	D22-200	Ø12-100
		Pu= 182,86 Ton											
		Mux = 1,66 Tm											
		Muy = 0,14 Tm											
		1D+1L+1Ex+0,3Ey											
		Pu = 194,82 Ton											
Mux = 11,98 Tm													
Muy = 12,34 Tm													
Pilecap P2 (1650 x900 x500)	2	1D+1L	69,22	58,69	Memenuhi	X	333541368,8	0,0035	0,0045	3073,97	3136,3	D22-202	Ø12-100
		Pu= 93,45 Ton											
		Mux = 1,33 Tm											
		Muy = 0,12 Tm											
		1D+1L+1Ex+0,3Ey											
		Pu = 105,17 Ton											
Mux = 15,35 Tm													
Muy = 5,53 Tm													
						Y	164514168,8	0,0035	0,0045	3073,98	3136,4	D22-203	

4.7 Perhitungan Volume Penulangan Kolom Kolom Lantai 1-4 (Typikal)

Kolom Struktur

Jumlah titik kolom	= 4 x 26 = 104 titik
Tinggi kolom	= 3600 mm
Tulangan utama	= 12D19
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 100 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 550 mm
Panjang penyaluran (Ld)	= 300 mm
Bengkokan (12db)	= 228 mm
Kait (4db)	= 76 mm

Tulangan Utama

- Panjang Tulangan Utama

$$\begin{aligned}L &= (\text{Tinggi kolom} + \text{Panjang Penyaluran} \\ &\quad \times 2 + \text{Sambungan lewatan}) \\ &\quad \times \text{Jumlah tulangan} \\ &= (3600\text{mm} + 40\text{mm} \times 2 \\ &\quad + 550\text{mm}) \times 12 \\ &= 50760 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Bengkokan pada Tulangan Utama

$$\begin{aligned}n &= 2 \times \text{Jumlah tulangan} \\ &\quad \times \text{Jumlah kolom} \\ &= 2 \times 12 \times 104 \\ &= 2496 \text{ buah} \\ B &= 12\text{db} \times 24 \\ &= 12 \times 19\text{mm} \times 24 \\ &= 5472 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kait pada Tulangan Utama

$$\begin{aligned}n &= 2 \times \text{Jumlah tulangan} \\ &\quad \times \text{Jumlah kolom}\end{aligned}$$

- $$= 2 \times 12 \times 104$$
- $$= 2496 \text{ buah}$$
- $$K = \text{Kait} \times 24$$
- $$= 76 \text{ mm} \times 24$$
- $$= 1824 \text{ mm}$$
- Berat Baja Tulangan D19

$$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$

$$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,019^2$$

$$= 2,226 \text{ kg/m}$$
 - Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter
 - Panjang Total Tulangan = 50760 + 5472 + 1824

$$= 58056 \text{ mm}$$

$$= 58,056 \text{ meter}$$
 - Berat Total Tulangan per 1 Kolom

$$V \text{ total} = 58,056 \text{ meter} \times 2,226 \text{ kg/m}$$

$$= 129,23 \text{ Kg}$$
 - Berat Total Tulangan Kolom per Lantai

$$V = 129,23 \times 26$$

$$= 3360,05 \text{ Kg}$$

Tulangan Geser

- Panjang Tulangan Geser

$$L = ((b \text{ kolom} - t \text{ selimut}) \times 2) + ((h \text{ kolom} - t \text{ selimut}) \times 2) + (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan})$$

$$= ((500-40) \times 2) + ((500-40) \times 2) + (4 \times 7 \times 10)$$

$$= 2120 \text{ mm}$$
- Jumlah Tulangan Geser per 1 kolom

$$n = (\text{Tinggi kolom} / \text{Jarak antar tulangan}) + 1$$

$$= (3600/100) + 1$$

$$= 37$$
- Jumlah kait per lantai

$$n = 2 \times \text{Jumlah tulangan geser per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 37 \times 26$$

$$= 1924 \text{ buah}$$

- Jumlah bengkokan per lantai
 $n = 3 \times \text{Jumlah Tul. Geser per kolom} \times$
jumlah kolom
 $= 3 \times 37 \times 26$
 $= 2886 \text{ buah}$

Berat baja tulangan Ø10

$$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$

$$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$$

$$= 0,62 \text{ kg/m}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom

$$L_{\text{total}} = 2120 \text{ mm} \times 37$$

$$= 78440 \text{ mm}$$

$$= 78,440 \text{ m} \approx 78,5 \text{ m}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$V_{\text{total}} = 78,5 \text{ m} \times 0,62 \text{ kg/m}$$

$$= 48,67 \text{ Kg}$$

Berat total tulangan kolom lantai 1 – 4

$$V = 48,76 \text{ kg} \times 104$$

$$= 5061,68 \text{ Kg}$$

Tabel 4.23. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Kolom

Tipe Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (Kg)	Volume Tul.Geser (Kg)	Volume Total (Kg)
Kolom Struktur	Lantai 1	3360.05	1267.76	4627.81
Kolom Struktur	Lantai 2	3360.05	1267.76	4627.81
Kolom Struktur	Lantai 3	3360.05	1267.76	4627.81
Kolom Struktur	Lantai 4	3360.05	1267.76	4627.81
Volume		13440.2	5071.04	18511.24

Tabel 4.24. Rekapitulasi Jumlah Tulangan Kolom

Tipe Kolom	Lantai	Tul.Utama		Tul.Geser	
		Bengkokan	Kaitan	Bengkokan	Kaitan
Kolom Struktur	Lantai 1	5472	1824	2886	1924
Kolom Struktur	Lantai 2	5472	1824	2886	1924
Kolom Struktur	Lantai 3	5472	1824	2886	1924
Kolom Struktur	Lantai 4	5472	1824	2886	1924

4.7 Perhitungan Volume Penulangan Balok

Perhitungan volume pembesian balok dibedakan menjadi 2 macam, tulangan utama dan sengkang. Berikut ini adalah contoh perhitungannya :

- **Perhitungan Volume**

Perhitungan pembesian balok induk memanjang Lt.2

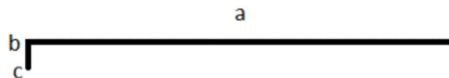
Lebar balok = 0,40 m

Panjang balok = 0,50 m

D tulangan :

- Tulangan atas = 16 mm
- Tulangan sengkang = 10 mm
- Tulangan bawah = 16 mm
- Tulangan tengah = 12 mm
- Cover = 40 mm
- n tulangan atas = 4 buah
- n tulangan bawah = 4 buah
- n tulangan samping = 2 buah

- **Tulangan utama atas (menerus)**



Gambar 4.70 Tulangan Utama Atas

$$a = \text{panjang balok} + (Ldh)$$

$$= 8 \text{ m} + (0,5\text{m})$$

$$= 8,5 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \times d$$

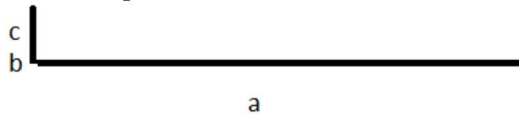
$$= 2,5 \times 0,016$$

$$= 0,04 \text{ m}$$

$$c = 12 \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 12 \times 0,016 \\
 &= 0,192 \text{ mm} \\
 \text{panjang} &= a + b + c \\
 &= 8,5\text{m} + 0,04\text{m} + 0,192\text{m} \\
 &= 8,732 \text{ m} \\
 \text{panjang Total} &= \text{Panjang} \\
 &\quad \times \text{ntulangan atas} \\
 &= 8,732 \text{ m} \times 4 \\
 &= 34,928 \text{ m}
 \end{aligned}$$

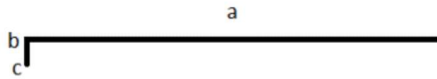
○ **Tulangan utama bawah (menerus)**



Gambar 4.71 Tulangan Utama Bawah

$$\begin{aligned}
 a &= \text{panjang balok} + (\text{Ldh}) \\
 &= 8 \text{ m} + (0,5\text{m}) \\
 &= 8,5 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \times d \\
 &= 2,5 \times 0,016 \\
 &= 0,04 \text{ m} \\
 c &= 12 \times d \\
 &= 12 \times 0,016 \\
 &= 0,192 \text{ m} \\
 \text{panjang} &= a + b + c \\
 &= 8,5\text{m} + 0,04\text{m} + 0,192\text{m} \\
 &= 8,732 \text{ m} \\
 \text{panjang Total} &= \text{Panjang} \\
 &\quad \times \text{ntulangan atas} \\
 &= 8,732 \text{ m} \times 4 \\
 &= 34,928 \text{ m}
 \end{aligned}$$

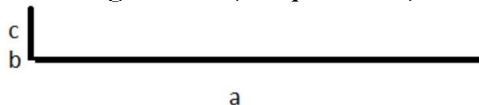
○ **Tulangan tekan (tumpuan kiri)**



Gambar 4.72 Tulangan tekan Kiri

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{4}L_{\text{balok}} + L_{\text{dh}} \\
 &\quad + L_{\text{penyaluran tekan}} \\
 &= 2 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} \\
 &= 2,7 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \times d \\
 &= 2,5 \times 0,016 \\
 &= 0,04 \text{ m} \\
 c &= 8 \times d \\
 &= 8 \times 0,016 \\
 &= 0,128 \\
 \text{panjang} &= a + b + c \\
 &= 2,7 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 0,128 \text{ m} \\
 &= 2,868 \text{ m} \\
 \text{panjang Total} &= \text{Panjang} \\
 &\quad \times \text{ntulangan atas} \\
 &= 2,868 \text{ m} \times 4 \\
 &= 11,472 \text{ m}
 \end{aligned}$$

○ **Tulangan tarik (tumpuan kiri)**

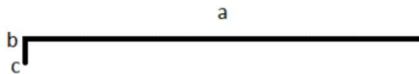


Gambar 4.73 Tulangan Tarik Kiri

$$a = \frac{1}{4}L_{\text{balok}} + L_{\text{penyaluran tarik}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,3 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \times d \\
 &= 2,5 \times 0,016 \\
 &= 0,04 \\
 c &= 8 \times d \\
 &= 8 \times 0,016 \\
 &= 0,128 \\
 \text{panjang} &= a + b + c \\
 &= 2,3 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 0,128 \text{ m} \\
 &= 2,468 \text{ m} \\
 \text{panjang Total} &= \text{Panjang} \\
 &\quad \times \text{ntulangan atas} \\
 &= 2,468 \times 8 \\
 &= 19,744 \text{ m}
 \end{aligned}$$

○ **Tulangan tekan (tumpuan kanan)**

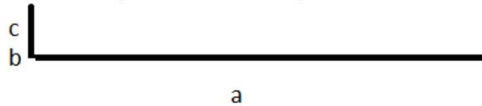


Gambar 4.74 Tulangan Tekan Kanan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{4} L_{\text{balok}} + L_{\text{dh}} \\
 &\quad + L_{\text{penyaluran tekan}} \\
 &= 2 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} \\
 &= 2,7 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \times d \\
 &= 2,5 \times 0,016 \\
 &= 0,04 \text{ m} \\
 c &= 8 \times d \\
 &= 8 \times 0,016 \\
 &= 0,128 \\
 \text{panjang} &= a + b + c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,7 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 0,128 \text{ m} \\
 &= 2,868 \text{ m} \\
 \text{panjang Total} &= \text{Panjang} \\
 &\quad \times \text{ntulangan atas} \\
 &= 2,868 \text{ m} \times 4 \\
 &= 11,472 \text{ m}
 \end{aligned}$$

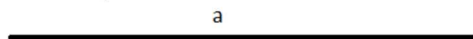
- **Tulangan tarik (tumpuan kanan)**



Gambar 4.75 Tulangan Tarik Kanan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{4} L_{\text{balok}} + L_{\text{penyaluran tarik}} \\
 &= 2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,3 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \times d \\
 &= 2,5 \times 0,016 \\
 &= 0,04 \\
 c &= 8 \times d \\
 &= 8 \times 0,016 \\
 &= 0,128 \\
 \text{panjang} &= a + b + c \\
 &= 2,3 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 0,128 \text{ m} \\
 &= 2,468 \text{ m} \\
 \text{panjang Total} &= \text{Panjang} \\
 &\quad \times \text{ntulangan atas} \\
 &= 2,468 \times 6 \\
 &= 14,804 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- **Tulangan Torsi**



Gambar 4.76 Tulangan Torsi

a = Lebar balok

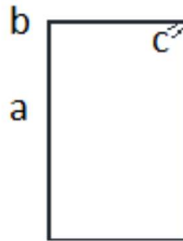
$$= 7,5 \text{ m}$$

Panjang total = $a \times \text{Total}$

$$= 7,5 \text{ m} \times 4$$

$$= 30 \text{ m}$$

○ **Tulangan sengkang**



Gambar 4.77 Tulangan Sengkang

a = Lebar balok – $(2 \times \text{cover})$

$$= 0,40 \text{ m} - (2 \times 0,04)$$

$$= 0,32 \text{ m}$$

a = Tinggi balok – $(2 \times \text{cover})$

$$= 0,60 \text{ m} - (2 \times 0,04)$$

$$= 0,52 \text{ m}$$

$$b = \frac{90^\circ}{360^\circ} \times 2\pi r$$

$$= \frac{90^\circ}{360^\circ} \times 2\pi(4 \times 0,010)$$

$$= 0,062 \text{ m}$$

$$c = 0,075$$

panjang = $2a + 2a + 4b + 2c$

$$= 2(0,32 \text{ m}) + 2(0,52 \text{ m})$$

$$+ 4(0,062 \text{ m})$$

$$+ 2(0,075 \text{ m})$$

$$= 2,078 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah sengkang tumpuan} = \frac{7,5\text{m}}{0,1\text{m}} + 1$$

$$= 76 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah sengkang Lapangan} = \frac{7,5\text{m}}{0,2\text{m}} + 1 =$$

$$38 \text{ buah}$$

$$\text{Total jumlah sengkang} = 76 + 38 = 114 \text{ buah}$$

$$\text{panjang Total} = \text{Panjang}$$

$$\times \text{Total banyak sengkang}$$

$$= 2,078 \text{ m} \times 114$$

$$= 236,90 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tulangan D10} = 236,90 \text{ m}$$

$$= 236,90 \text{ m}/12 \text{ m}$$

$$= 19,74 \text{ lonjor} \approx 20$$

lonjor

$$\text{Panjang tulangan D12} = 30 \text{ m}$$

$$= 30 \text{ m}/12 \text{ m}$$

$$= 2,5 \text{ lonjor} \approx 3$$

lonjor

$$\text{Panjang tulangan D16} = 34,93 \text{ m} + 34,93 \text{ m}$$

$$+ 11,47 \text{ m} + 19,74 \text{ m} + 11,47 \text{ m} + 14,05$$

$$\text{m}$$

$$= 126,59 \text{ m}/12 \text{ m}$$

$$= 10,54 \text{ lonjor} \approx 11$$

lonjor

Dengan perhitungan seperti cara diatas dihitung pula tulangan balok pada bentang selanjutnya dan diperoleh volume total tulangan balok induk yang dibutuhkan sebagai berikut :

Tabel 4.25. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Balok

\emptyset	Total Lonjor Bersih	Panjang Total (m)	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
10	224	2622	0.62	1625.91
12	336	3968	0.89	3531.52
16	1648	19676	1.58	31088.13

4.8 Perhitungan Volume Penulangan Pelat

Berikut terlampir perhitungan volume penulangan pelat:

- Pelat Type P1

Tabel 4.26. Volume Plat P1 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	4.5	0.2	45	202.5	1.04	210.6	17	0.125
Susut	10	1.125	0.2	11.25	50.625	0.62	31.3875	5	0.78125

Tabel 4.27. Volume Plat P1 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	4.5	0.2	45	202.5	1.04	210.6	17	0.125
Susut	10	1.125	0.2	11.25	50.625	0.62	31.3875	5	0.78125

- Pelat Type P2

Tabel 4.28. Volume Plat P2 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	4.5	0.2	45	157.5	1.04	163.8	14	0.875
Susut	10	1.125	0.2	11.25	39.375	0.62	24.4125	4	0.71875

Tabel 4.29. Volume Plat P2 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	3.5	0.2	35	157.5	1.04	163.8	14	0.875
Susut	10	1.125	0.2	11.25	39.375	0.62	24.4125	4	0.71875

- Pelat Type P3

Tabel 4.30. Volume Plat P3 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	4.5	0.2	45	67.5	1.04	70.2	6	0.375
Susut	10	1.125	0.2	11.25	16.875	0.62	10.4625	2	0.59375

Tabel 4.31. Volume Plat P3 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	1.5	0.2	15	67.5	1.04	70.2	6	0.375
Susut	10	1.125	0.2	11.25	16.875	0.62	10.4625	2	0.59375

- Pelat Type P4

Tabel 4.32. Volume Plat P4 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	4.5	0.2	45	90	1.04	93.6	8	0.5
Susut	10	1.125	0.2	11.25	22.5	0.62	13.95	2	0.125

Tabel 4.33. Volume Plat P4 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	2	0.2	20	90	1.04	93.6	8	0.5
Susut	10	1.125	0.2	11.25	22.5	0.62	13.95	2	0.125

- Pelat Type P5

Tabel 4.34. Volume Plat P5 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhk	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	3.5	0.2	35	52.5	1.04	54.6	5	0.625
Susut	10	0.875	0.2	8.75	13.125	0.62	8.1375	2	0.90625

Tabel 4.35. Volume Plat P5 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	1.5	0.2	15	52.5	1.04	54.6	5	0.625
Susut	10	0.875	0.2	8.75	13.125	0.62	8.1375	2	0.90625

- **Pelat Type P6**

Tabel 4.36. Volume Plat P6 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	3.5	0.2	35	70	1.04	72.8	6	0.166667
Susut	10	0.875	0.2	8.75	17.5	0.62	10.85	2	0.541667

Tabel 4.37. Volume Plat P6 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	2	0.2	20	70	1.04	72.8	6	0.166667
Susut	10	0.875	0.2	8.75	17.5	0.62	10.85	2	0.541667

- **Pelat Type P7**

Tabel 4.38. Volume Plat P7 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	3.5	0.2	35	122.5	1.04	127.4	11	0.791667
Susut	10	0.875	0.2	8.75	30.625	0.62	18.9875	3	0.447917

Tabel 4.39. Volume Plat P7 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	3.5	0.2	35	122.5	1.04	127.4	11	0.791667
Susut	10	0.875	0.2	8.75	30.625	0.62	18.9875	3	0.447917

- Pelat Type P8

Tabel 4.40. Volume Plat P8 Arah Memanjang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	2.25	0.2	22.5	33.75	1.04	35.1	3	0.1875
Susut	10	0.5625	0.2	5.625	8.4375	0.62	5.23125	1	0.296875

Tabel 4.41. Volume Plat P8 Arah Melintang

Jenis	Diameter Tulangan (mm)	Panjang Bentang (m)	Jarak Antar Tulangan (m)	Jumlah Potong (buah)	Total Besi Dibutuhkan (m)	BJ Besi (Kg/m)	Total Berat (Kg)	Jumlah Lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	1.5	0.2	15	33.75	1.04	35.1	3	0.1875
Susut	10	0.5625	0.2	5.625	8.4375	0.62	5.23125	1	0.296875

Tabel 4.42. Rekapitulasi Kebutuhan Plat

∅	Total Lonjor Bersih	Panjang Total (m)	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
13	560	6370	1.04	6625
10	168	1593	0.62	988

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V PENUTUP

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. Keseluruhan Pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan Gedung Apartemen “ROSE” Pamekasan dengan metode SRPMM. Diperoleh hasil sebagai berikut:

A. Komponen Pelat

Tulangan Utama P1 D13-200
Tulangan Utama P2 D13-200
Tulangan Utama P3 D13-200
Tulangan Utama P4 D13-200
Tulangan Utama P5 D13-200
Tulangan Utama P6 D13-200
Tulangan Utama P7 D13-200
Tulangan Utama P8 D13-200

B. Komponen Tangga

Tulangan Tangga D12-300
Tulangan Bordes D12-300

C. Komponen Balok

Balok Induk
Tulangan Torsi 4-D12
Tulangan Tarik Tumpuan 8-D16
Tulangan Tarik Tumpuan 8-D16

Tulangan Tarik Lapangan 4-D16
 Tulangan Tekan Tumpuan 4-D16
 Tulangan Tekan Tumpuan 6-D16
 Tulangan Tekan Lapangan 4-D16
 Sengkang Tumpuan 10ø-100
 Sengkang Lapangan 10ø-200

Balok Anak

Tulangan Torsi 2-D12
 Tulangan Tarik Tumpuan 4-D16
 Tulangan Tarik Tumpuan 3-D16
 Tulangan Tarik Lapangan 2-D16
 Tulangan Tekan Tumpuan 2-D16
 Tulangan Tekan Tumpuan 2-D16
 Tulangan Tekan Lapangan 3-D16
 Sengkang Tumpuan 10ø-100
 Sengkang Lapangan 10ø-200

Balok Sloof

Tulangan Torsi 2-D12
 Tulangan Tarik Tumpuan 6-D16
 Tulangan Tarik Tumpuan 6-D16
 Tulangan Tarik Lapangan 2-D16
 Tulangan Tekan Tumpuan 2-D16
 Tulangan Tekan Tumpuan 2-D16
 Tulangan Tekan Lapangan 6-D16
 Sengkang Tumpuan 10ø-100
 Sengkang Lapangan 10ø-200

D. Komponen Kolom

Tulangan Pokok 12-D19
 Sengkang Tumpuan 10ø-100

3. Perhitungan kebutuhan volume besi tulangan menghasilkan kebutuhan volume sebagai berikut:

A. PELAT

Tabel 4.43. Rekapitulasi Kebutuhan Plat

\emptyset	Total Lonjor Bersih	Panjang Total (m)	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
13	123	1593	1.04	1657
10	37	398	0.62	247

B. BALOK

Tabel 4.44. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Balok

\emptyset	Total Lonjor Bersih	Panjang Total (m)	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
10	224	2622	0.62	1625.91
12	336	3968	0.89	3531.52
16	1648	19676	1.58	31088.13

C. KOLOM

Tabel 4.45. Rekapitulasi Jumlah Volume Tulangan Kolom

Tipe Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (Kg)	Volume Tul.Geser (Kg)	Volume Total (Kg)
Kolom Struktur	Lantai 1	3360.05	1267.76	4627.81
Kolom Struktur	Lantai 2	3360.05	1267.76	4627.81
Kolom Struktur	Lantai 3	3360.05	1267.76	4627.81
Kolom Struktur	Lantai 4	3360.05	1267.76	4627.81
Volume		13440.2	5071.04	18511.24

Tabel 4.46. Rekapitulasi Jumlah Tulangan Kolom

Tipe Kolom	Lantai	Tul.Utama		Tul.Geser	
		Bengkokan	Kaitan	Bengkokan	Kaitan
Kolom Struktur	Lantai 1	5472	1824	2886	1924
Kolom Struktur	Lantai 2	5472	1824	2886	1924
Kolom Struktur	Lantai 3	5472	1824	2886	1924
Kolom Struktur	Lantai 4	5472	1824	2886	1924

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam pengumpulan data perencanaan diusahakan didapatkan dengan lengkap mulaigambar arsitek dan struktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.
2. Proses perhitungan perencanaan menggunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang dipelajari dari semester 1 sampai 6.
3. Proses penentuan preiminary desain struktur primer harus mempertimbangkan efisiensi dan ukuran yang digunakan seperti mempertimbangkan 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. Tetep terus mencoba dan jangan putus asa.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, “ **Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727 – 2013)** ”. Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, “ **Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847 – 2013)** “, Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, “ **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726 – 2012)** “, Jakarta, 2013.

Kementrian Pekerjaan Umum “ **Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983** “, Bandung, 1983.

Kementrian Pekerjaan Umum “ **PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur** ”, Jakarta 2013.

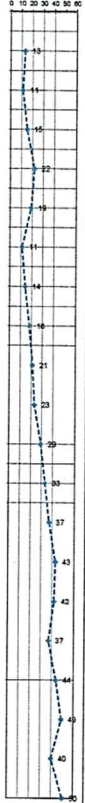
DRILLING LOG

Project No. : 1 Project : Sud Investigation Revi Area Type of Drilling : Rotary Remarks :
 Bore Hole No. : III Lokasi : Panokasan Date : 6 Agustus 2015 UD = Lindurub Sample
 Water Table : M Elevation : 0,0 (muka tanah setempat) Driller : Baadi SPT = SPT Test

Soediran	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Color	Specific Gravity or Consistency	General Remarks	UD / SPT TEST		Standard Penetration Test				N - Value
									Depth in m	Sample Code	Blows per 30 cm	Blows per 15 cm	1-15 cm	15-30 cm	
0	0.00														
1					Lanasu Berlempung Berpasir (Limonan)	Putih	Medium		131	SP1-1	13	3	5	5	13
2									141	SP1-2	11	4	5	6	15
3									151	SP1-3	15	4	7	6	16
4									161	SP1-4	22	7	8	14	22
5									171	SP1-5	18	16	13	6	19
6									181	SP1-6	11	5	5	6	18
7									191	SP1-7	14	5	7	7	14
8									201	SP1-8	18	6	8	10	16
9									211	SP1-9	21	6	9	12	21
10									221	SP1-10	23	8	11	12	23
11									231	SP1-11	28	8	13	16	29
12									241	SP1-12	33	10	15	18	33
13									251	SP1-13	37	12	15	22	37
14									261	SP1-14	43	11	17	26	43
15									271	SP1-15	42	11	15	27	42
16									281	SP1-16	37	12	16	21	37
17									291	SP1-17	44	11	16	26	44
18									301	SP1-18	48	10	22	27	48
19									311	SP1-19	40	13	17	23	40
20									321	SP1-20	50	13	21	29	50
END OF BORING															

Legenda :

Lempung :
 Pasir :
 Batu :
 Lemau :
 Kerikil :
 Bata ar Tanah :



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ichwan Nur Rochman merupakan anak kedua dari dua bersaudara, lahir di Surabaya pada tanggal 12 Juni 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Waru II, lalu melanjutkan pendidikan di SMP Wahid Hasyim 8 Waru, lalu di SMA Negeri 1 Waru. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan kuliah di Program Studi Diploma III Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016, terdaftar dengan NRP 10111600000064. Penulis bisa dihubungi via email ichwanrochman@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rendy Muhammad Rievqy merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, lahir di Sidoarjo pada tanggal 21 Agustus 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kepuh Kiriman 1 Waru, lalu melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 13 Surabaya, lalu di SMA Negeri 1 Waru. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan kuliah di Program Studi Diploma III Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016, terdaftar dengan NRP 10111600000003. Penulis bisa dihubungi via email rrievqy@gmail.com.