



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - VC180609

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN THE ROSEBAY DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

MAHASISWA I:
ARGA DJOKO PUTRA
NRP. 10111600000026

MAHASISWA II:
AINUR RIDHO FEBRIANTO
NRP. 10111600000028

DOSEN PEMBIMBING I:
RIDHO BAYU AJI, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

DOSEN PEMBIMBING II:
DIMAS PUSTAKA DIBIANTARA, ST., MSc.
NPP. 1986201911091

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



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC180609

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN THE ROSEBAY DENGAN
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN
MENENGAH (SRPMM)**

Mahasiswa I :
ARGA DJOKO PUTRA
NRP. 10111600000026

Mahasiswa II :
AINUR RIDHO FEBRIANTO
NRP. 10111600000028

Dosen Pembimbing I :
RIDHO BAYU AJI, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

Dosen Pembimbing II :
DIMAS PUSTAKA DIBIANTARA, ST., MSc.
NPP. 1986201911091

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



FINAL PROJECT APPLIED - VC180609

STRUCTURE MODIFICATION OF THE ROSEBAY APARTMENT USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM

Student I :
ARGA DJOKO PUTRA
NRP. 1011160000026

Student II :
AINUR RIDHO FEBRIANTO
NRP. 1011160000028

Consellor Lecture I :
RIDHO BAYU AJI, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

Consellor Lecture Pembimbing II :
DIMAS PUSTAKA DIBIANTARA, ST., MSc.
NPP. 1986201911091

DIPLOMA III PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2020

**LEMBAR PENGESAHAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN THE ROSEBAY DENGAN
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN
MENENGAH (SRPMM)**

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 2019

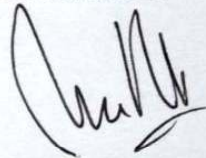
Disusun oleh:

MAHASISWA 1



ARGA DJOKO PUTRA
NRP. 1011160000026

MAHASISWA 2



AINUR RIDHO FEBRIANTO
NRP. 1011160000028

DOSEN PEMBIMBING I



Ridho Bayu Aji, ST, MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1002

DOSEN PEMBIMBING II



Dimas P. Diantara, ST, MSc.
NIP. 1986201911091



**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN
THE ROSEBAY DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Mahasiswa I :
Arga Djoko Putra
NRP. 1011160000026

Mahasiswa II :
Ainur Ridho Febrianto
NRP. 1011160000028

Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil

Program Studi : Diploma III

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

Dosen Pembimbing II :
Dimas Pustaka Dibiantara, ST., MSc.
NPP. 1986201911091

ABSTRAK

Penyusunan tugas akhir terapan ini mengambil objek Gedung Apartemen The Rosebay yang terletak di kota Surabaya dengan luas bangunan sebesar 630 m². Gedung Apartemen The Rosebay direncanakan di Kota Sumenep, Madura. Modifikasi bangunan meliputi perubahan denah bangunan dan direncanakan 4 lantai dan 1 atap pelat beton dengan tinggi 16 m. Bangunan termasuk kategori resiko IV dan kelas situs SD kategori desain seismik C sehingga merencanakan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Perhitungan beban gempa, menggunakan metode statik ekuivalen.

Perhitungan struktur bangunan mengacu pada SNI 03 – 2847 – 2013 tentang 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.

Penyusunan tugas akhir terapan ini, akan memperoleh laporan hasil perhitungan struktur bangunan , gambar teknik yang terdiri dari gambar arsitektur, gambar denah struktur dan gambar detail penulangan, serta kebutuhan tulangan kolom, balok, dan pelat pada satu segmen portal.

Kata kunci: Sistem rangka pemikul momen menengah, statik ekuivalen

**STRUCTURE MODIFICATION OF THE ROSEBAY
APARTMENT USING INTERMEDIATE MOMENT
RESISTING FRAME SYSTEM**

Student I :

Arga Djoko Putra

NRP. 1011160000026

Student II :

Ainur Ridho Febrianto

NRP. 1011160000028

Department : Civil Infrastructure Engineering

Study Program : Diploma III

Conselor Lecture I :

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

NIP. 19730710 199802 1 002

Conselor Lecture II :

Dimas Pustaka Dibiantara, ST., MSc.

NPP. 1986201911091

ABSTRACT

This preparation of final project takes The Rosebay Apartment Building which located in Surabaya with a building area 630 m². The Rosebay Apartment Building is planned in Sumenep City, Madura. Building modifications include changes in floor plans and was designed 4th floors and 1 concrete slab roof with the height 16 m. The building has 4th risk category and site class C seismic design category so will be designed using the Intermediate Moment Resisting Frame System (SRPMM). The earthquake load calculations uses static equivalent methods.

Calculation of building structure refers to SNI 03-2847 - 2013 which tells about The Procedures of Concrete Structural for Buildings. Calculation of loading refers to SNI 1727 – 2013. Earthquake calculation refers to SNI 1726-2012 and the 2010 Indonesia Earthquake Hazzard Map.

The results of the calculation will get the report on the calculation of the structure of the building, technical drawings that consists of architectural drawings, structural drawings and detailed drawings of reinforcement, and also reinforcement needs on columns, beams, and plates at one portal segment.

Keywords: Intermediate Moment Resisting Frame System, Static Equivalent

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan hidayahNya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan dengan baik.

Dalam kesempatan ini, penyusun tak lupa mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta sebagai semangat dan telah banyak memberi dukungan moril maupun material terutama doa.
2. Bapak Mohammad Khoiri, ST., MT., Ph.D selaku ketua program studi Teknik Infrastruktur Sipil ITS.
3. Bapak Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D dan Bapak Dimas Pustaka Dibiantara, ST., MSc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberi bimbingan, arahan, petunjuk dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir.
4. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, untuk itu diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir Terapan ini.

Surabaya, 7 Januari 2020

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Data Proyek.....	2
1.8. Gambar Rencana.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton Bertulang.....	5
2.2 Peraturan yang Digunakan.....	5
2.3 Identifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.....	5
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.....	9
2.5 Persyaratan Perhitungan Komponen Struktur Bangunan dengan Metode SRPMM.....	10

2.5.1 Perencanaan Balok (SNI 2847-2013).....	10
2.5.2 Geser Balok (SNI 2847-2013).....	11
2.5.3 Perencanaan Kolom (SNI 2847-2013).....	12
2.5.4 Geser Kolom (SNI 2847-2013).....	12
BAB III METODOLOGI.....	14
3.1 Pengumpulan Data.....	15
3.2 Preliminary Desain	16
3.2.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	16
3.2.2 Perencanaan Dimensi Kolom.....	17
3.2.3 Perencanaan Dimensi Sloof.....	18
3.2.4 Perencanaan Dimensi Pelat.....	18
3.2.5 Struktur Pondasi.....	20
3.3 Analisa Pembebanan.....	20
3.3.1 Beban Mati	20
3.3.2 Beban hidup	21
3.3.3 Beban Hujan	21
3.3.4 Beban Angin.....	22
3.3.5 Beban Gempa.....	22
3.4 Permodelan Struktur	27
3.5 Analisa Gaya Dalam	29
3.6 Perhitungan Tulangan	30
3.6.1 Struktur Balok.....	30
3.6.2 Struktur Kolom	46
3.6.3 Pelat.....	52

3.6.4 Sloof.....	54
3.8 Gambar Perencanaan	58
3. 9 Perhitungan Volume Tulangan.....	59
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	60
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur	60
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	60
4.1.2 Perencanaan Dimensi Sloof.....	61
4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom.....	62
4.1.4 Perencanaan Tebal Pelat.....	63
4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga.....	71
4.2 Perhitungan Struktur	73
4.2.1 Perhitungan Pembebanan Struktur.....	73
4.2.1.1 Pembebanan Pelat	73
4.2.1.2 Pembebanan Tangga dan Bordes	75
4.2.1.3 Pembebanan Air Hujan.....	76
4.2.1.4 Pembebanan Angin.....	76
4.2.1.5 Pembebanan Gempa.....	82
4.2.2 Penulangan Struktur	93
4.2.2.1 Pelat Lantai	93
4.2.2.2 Pelat Lantai 1 Arah.....	100
4.2.2.3 Pelat Tangga dan Bordes	106
4.2.2.4 Struktur Balok.....	114
4.2.2.5 Struktur Kolom.....	218
4.2.2.7 Sloof	249

4.2.2.8 Pondasi	281
4.2.2.9 Perhitungan Volume Satu Segmen Portal...	295
BAB V PENUTUP	300
5.1 Kesimpulan.....	300
5.2 Saran	302
DAFTAR PUSTAKA.....	303
LAMPIRAN.....	304

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Apartemen The Rosebay	3
Gambar 1. 2 Gambar Rencana Apartemen The Rosebay	4
Gambar 2. 1 Peta Hazzard Gempa Indonesia.....	6
Gambar 2. 2 Peta Hazzard Gempa Indonesia.....	7
Gambar 2. 3 Desain Geser Balok untuk SRPMM.....	12
Gambar 2. 4 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor	13
Gambar 3. 1 Flowchart Perencanaan Struktur Bangunan	15
Gambar 3. 2 Sketsa Pelat Dua Arah	18
Gambar 3. 3 Permodelan 3D Struktur SAP2000.....	28
Gambar 3. 4 Flowchart Penulangan Lentur Balok	31
Gambar 3. 5 Flowchart Penulangan Geser Balok	35
Gambar 3. 6 Desain Geser Balok SRPMM.....	36
Gambar 3. 7 Flowchart Penulangan Torsi Balok	40
Gambar 3. 8 Sub Routine Flowchart Penulangan Torsi Balok	41
Gambar 3. 9 Flowchart Perhitungan Panjang Penyaluran	44
Gambar 3. 10 Flowchart Penulangan Kolom.....	46
Gambar 3. 11 Faktor Panjang Efektif (k).....	48
Gambar 3. 12 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor	50
Gambar 4. 1 Peta Hazard gempa Indonesia tahun 2010 (1)..	84
Gambar 4. 2 Peta Hazard gempa Indonesia tahun 2010 (2)..	84
Gambar 4. 3 Hasil Perbandingan PBI dan SAP2000.....	106
Gambar 4. 4 Beban yang Terjadi pada Pelat Tangga dan Bordes.....	107
Gambar 4. 5 Momen yang terjadi pada tangga	109
Gambar 4. 6 Denah Balok yang Ditinjau.....	114

Gambar 4. 7 Output Torsi Balok Balok BI.....	116
Gambar 4. 8 Output Momen Lapangan Balok BI.....	116
Gambar 4. 9 Output Momen Tumpuan Kanan Balok BI....	116
Gambar 4. 10 Output Momen Tumpuan Kiri Balok BI.....	116
Gambar 4. 11 Geser Desain Balok untuk SRPMM.....	139
Gambar 4. 12 Denah Balok Atap yang Ditinjau	150
Gambar 4. 13 Output Torsi Balok Atap.....	152
Gambar 4. 14 Output Momen Lapangan Balok Atap.....	152
Gambar 4. 15 Output Momen Tumpuan Kanan Balok Atap	152
Gambar 4. 16 Output Momen Tumpuan Kiri Balok	153
Gambar 4. 17 Geser Desain Balok untuk SRPMM.....	175
Gambar 4. 18 Denah Balok Anak yang Ditinjau.....	184
Gambar 4. 19 Output Torsi Balok BA.....	185
Gambar 4. 20 Momen Lapangan Balok BA	186
Gambar 4. 21 Momen Tumpuan Kiri Balok BA.....	186
Gambar 4. 22 Momen Tumpuan Kanan Balok BA.....	186
Gambar 4. 23 Geser Desain Balok untuk SRPMM.....	208
Gambar 4. 24 Denah Kolom K1 yang Ditinjau.....	218
Gambar 4. 25 Output Pu1 kombinasi 1,2 D + 1,6L + 0,5RL	219
Gambar 4. 26 Output Pu2 kombinasi 1,2D+1EX+1L+0,3EY	220
Gambar 4. 27 Output Pu3 kombinasi 1,2D+1EY+1L+0,3EX	220
Gambar 4. 28 Output Pu4 kombinasi 1,4D.....	220
Gambar 4. 29 Output M1s kombinasi 1,2D + 1EX +1L+0,3EY.....	221
Gambar 4. 30 Output M2s kombinasi 1,2D + 1EX +1L+0,3EY.....	221

Gambar 4. 31 Output M1ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL	221
Gambar 4. 32 Output M2ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL	221
Gambar 4. 33 Output M1s kombinasi 1,2D + 1EX +1L+0,3EY	222
Gambar 4. 34 Output M2s kombinasi 1,2D + 1EX +1L+0,3EY	222
Gambar 4. 35 Output M1ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL	222
Gambar 4. 36 Output M2ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL	222
Gambar 4. 37 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom	226
Gambar 4. 38 Diagram Interaksi Kolom Arah X	229
Gambar 4. 39 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	236
Gambar 4. 40 Desain Geser Kolom untuk SRPMM	243
Gambar 4. 41 Output Torsi Sloof S1A	250
Gambar 4. 42 Momen Lapangan Sloof S1A.....	251
Gambar 4. 43 Momen Tumpuan Kiri Sloof S1A	251
Gambar 4. 44 Momen Tumpuan Kanan Sloof S1	251
Gambar 4. 45 Geser Desain untuk SRPMM	273
Gambar 4. 46 Rekap Hasil Penulangan Sloof (BS).....	280
Gambar 4. 47 Denah Pondasi.....	281
Gambar 4. 48 Ilustrasi Geser 2 Arah	289
Gambar 4. 49 Ilustrasi beban yang bekerja pada pondasi...	292
Gambar 4. 50 Detail Penulangan Balok.....	295
Gambar 4. 51 Potongan Tulangan Tumpuan Kiri dan Kanan (Tarik).....	295
Gambar 4. 52 Potongan Tulangan Tumpuan Kiri & Kanan (Tekan)	295

Gambar 4. 53 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Tumpuan).....	296
Gambar 4. 54 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Tumpuan).....	296
Gambar 4. 55 Potongan Tulangan Lapangan (Tekan).....	296
Gambar 4. 56 Potongan Tulangan Lapangan (Tarik)	296
Gambar 4. 57 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Lapangan)	297
Gambar 4. 58 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Lapangan)	297
Gambar 4. 59 Potongan Tulangan Balok Geser Tumpuan .	297
Gambar 4. 60 Potongan Tulangan Balok Geser Lapangan .	298

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tata Peraturan SNI.....	5
Tabel 2. 2 Koefisien Situs, Fa.....	7
Tabel 2. 3 Koefisien Situs, Fv.....	8
Tabel 2. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek.....	9
Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik.....	9
Tabel 3. 1 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung.....	16
Tabel 3. 2 Tebal minimum pelat tanpa balok interior.....	19
Tabel 3. 3 Spesifikasi Dimensi Struktur Bangunan.....	27
Tabel 3. 4 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir	44
Tabel 3. 5 Rasio tulangan susut dan suhu.....	54
Tabel 3. 6 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir	57
Tabel 4. 1 Kategori Resiko Bangunan.....	78
Tabel 4. 2 Faktor Arah Angin, Kd.....	79
Tabel 4. 3 Koefisien Tekanan Internal.....	79
Tabel 4. 4 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas.....	80
Tabel 4. 5 Koefisien Tekanan Dinding.....	81
Tabel 4. 6 Data SPT.....	82
Tabel 4. 7 Gaya Geser Seismik per Lantai (1).....	92
Tabel 4. 8 Gaya Geser Seismik per Lantai (2).....	93
Tabel 4. 9 Momen-momen pada Pelat (PBBI 1971 Tabel 13.3.1).....	95
Tabel 4. 10 Rekap Penulang Pelat Lantai.....	100
Tabel 4. 11 Perhitungan Momen dengan Metode Cross.....	108
Tabel 4. 12 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir.....	147

Tabel 4. 13 Rekap Penulangan Balok BI.....	149
Tabel 4. 14 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir	181
Tabel 4. 15 Rekap Penulangan Balok Atap	183
Tabel 4. 16 Rekap Hasil Penulangan Balok Anak	217
Tabel 4. 17 . Rekapitulasi Tulangan Kolom	248
Tabel 4. 18 Data Tanah Hasil Uji SPT	282
Tabel 4. 19 Spesifikasi Tiang Pancang.....	283
Tabel 4. 20 Jarak Tiang Pancang ke Pusat Kolom	287

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_{oh}	= Luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
A_{sc}	= Luas tulangan tulangan longitudinal / lentur rencana yang diperhitungkan dalam memikul momen lentur (mm^2)
A'_s	= Luas tulangan tekan non prategang (mm^2)
b	= Lebar daerah tekan komponen struktur (mm)
b_w	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C'_c	= Gaya pada tulangan tekan
C'_s	= Gaya tekan pada beton
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
d'	= Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan tekan (mm)
d_b	= Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
D	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang terkait
E_X	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa arah X
E_Y	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa arah Y
I_b	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang

	bruto balok
I_p	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
f'_c	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
f_y	= Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa)
h	= Tinggi total dari penampang
h_n	= Bentang bersih kolom
k	= Faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan
l	= Panjang bentang balok atau pelat satu arah
l_n	= Bentang bersih balok
l_o	= Panjang yang diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur
l_u	= Panjang tak tertumpu komponen struktur tekan
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
M_{nb}	= Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh
M_{nc}	= Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
M_n	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
M_{nl}	= Momen kapasitas balok penampang kiri (Nmm)
M_{nr}	= Momen kapasitas balok penampang kanan (Nmm)
M_{nt}	= Momen kapasitas balok penampang atas (Nmm)
M_1	= 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)
M_2	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)

N	= Nilai Test Penetrasi Standar pada suatu lapisan tanah, gaya normal secara umum
N_u	= Beban aksial terfaktor
P_{cp}	= Keliling luar penampang beton (mm)
P_h	= Keliling dari tulangan sengkang torsi
P_u	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
r	= Radius girasi penampang komponen struktur tekan
R	= Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut, faktor reduksi gempa representatif struktu gedung tidak beraturan
S	= Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan
S_n	= Kekuatan lentur, geser, atau aksial nominal sambungan
s_o	= Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang l_o mm
T	= Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya faktor respons gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respons gempa rencana
T_n	= Kuat momen torsi nominal (Nmm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm)
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
V_n	= Pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal untuk strukutr gedung dengan tingkatan daktilitas umum, pengaruh gempa rencana pada saat

didalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan f_1

- V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
- V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
- W_u = Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah
- 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
- β_d = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum
- β_n = Faktor untuk memperhitungkan pengaruh angkur pengikat pada kuat tekan efektif zona nodal
- ρ = Rasio tulangan tarik
- ρ' = Rasio tulangan tekan
- ρ_b = Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
- ρ_{max} = Rasio tulangan tarik maksimum
- ρ_{min} = Rasio tulangan tarik minimum
- μ = Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadi pelelehan pertama
- Ψ = Faktor kekangan ujung – ujung kolom

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Negara Indonesia terletak pada empat lempeng tektonik yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, Indian, Australia dan Pasifik. Keempat lempeng ini yang menjadikan Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki intensitas gempa bumi yang tinggi sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan apabila bangunan tersebut tidak didesain dengan standar perencanaan yang ada.

Dalam merencanakan struktur bangunan yang stabil, aman, dan tahan saat terjadi gempa diperlukan perhitungan dan perencanaan yang secara khusus berkaitan dengan gempa yang terjadi. Dalam perencanaan tugas akhir ini, bangunan yang digunakan yaitu Gedung Apartemen The Rosebay.

Gedung Apartemen The Rosebay terletak di Komplek Graha Family Blok W, Surabaya. Gedung ini memiliki 4 lantai dan 1 lantai atap beton. Struktur bangunan bawah gedung ini menggunakan pondasi tiang pancang. Kontraktor dalam pengerjaan gedung ini yaitu PT. Pulauintan Bajaperkasa Konstruksi.

Salah satu sistem yang digunakan dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Di dalam SRPM ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sesuai dengan standar

kompetensi Diploma Tiga Teknik Sipil, Gedung Apartemen The Rosebay akan direncanakan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sehingga digunakan data tanah Kota Sumenep yang termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) tipe C.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara merencanakan penulangan struktur Gedung Apartemen The Rosebay dengan menggunakan metode SRPMM?
2. Bagaimana cara menghitung volume tulangan balok, kolom, dan pelat?

1.3. Batasan Masalah

1. Perhitungan beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan statik ekuivalen.
2. Perencanaan perhitungan volume tulangan balok, kolom, dan pelat pada satu segmen portal.

1.4. Tujuan

1. Menyajikan penulangan struktur beton dengan metode SRPMM dalam bentuk laporan perhitungan dan gambar.
2. Menyajikan perhitungan volume tulangan balok, kolom, dan pelat.

1.5. Manfaat

1. Mampu merencanakan struktur gedung dengan metode SRPMM.
2. Mampu menghitung volume tulangan balok, kolom, dan pelat.

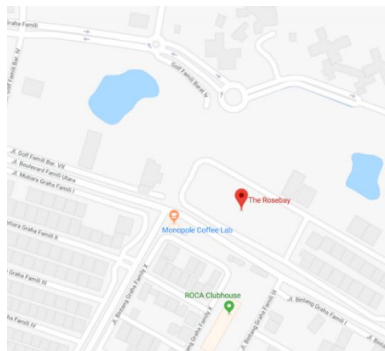
1.6. Data Proyek

Data proyek pembangunan struktur gedung ini sebagai berikut:

Nama Proyek	: Proyek Gedung Apartemen The Rosebay
Lokasi Proyek	: Komplek Graha Family Blok W, Surabaya
Konsultan	: Benjamin Gideon & Associates
Kontraktor	: PT. Pulauintan Bajaperkasa Konstruksi
Struktur Bangunan	
Atas	: lantai 1 s/d 4 Beton Bertulang dan Atap Pelat Beton
Struktur Bangunan	
Bawah	: Pondasi Tiang Pancang
Luas Bangunan	: 680 m ²
Tinggi Bangunan	: 16 m
Mutu Beton	: 30 Mpa

1.7. Lokasi Proyek

Lokasi Apartemen The Rosebay berada di Graha Famili, Blok W, Pradahkali kendal, Dukuh Pakis, Surabaya.



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Apartemen The Rosebay

1.8. Gambar Rencana



Gambar 1. 2 Gambar Rencana Apartemen The Rosebay

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton sendiri adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil, batu pecah, semen, serta air. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah, sedangkan beton bertulang merupakan kombinasi dari beton serta tulangan baja. Tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki oleh beton. (Agus Setiawan, 2016)

2.2 Peraturan yang Digunakan

Peraturan – peraturan yang digunakan dalam perhitungan perencanaan struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen adalah :

Tabel 2. 1 Tata Peraturan SNI

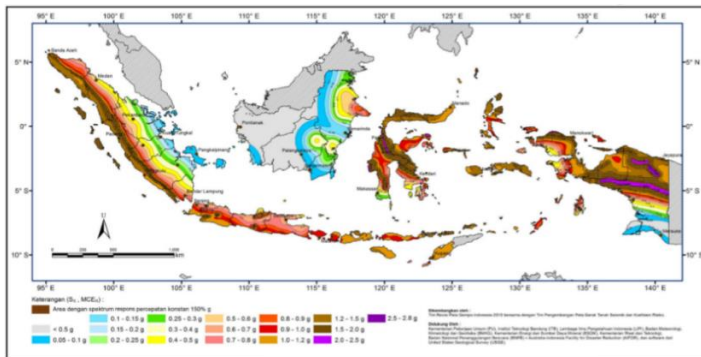
No	Peraturan	Bahasan
1.	SNI 2847-2013	Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
2.	SNI 1726:2012	Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3.	SNI 1727:2013	Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4.	PBI 1971	Peraturan Beton Bertulang Indonesia

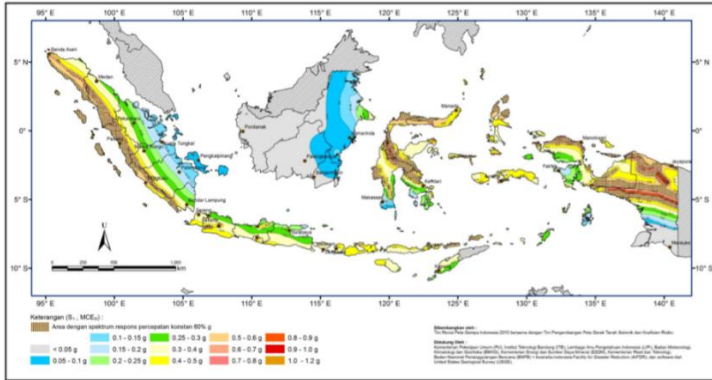
2.3 Identifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Setiap Struktur yang termasuk ke dalam Kategori Desain Seismik C didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Untuk menentukan hal tersebut, maka terlebih dahulu diidentifikasi dengan mencari nilai-nilai berikut sesuai dengan SNI 1726-2012:

1. Menentukan kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa.
2. Menghitung data tanah dari letak bangunan yang telah diperoleh, yaitu menghitung nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata.
3. Menentukan kelas situs tanah dari analisa nilai SPT sesuai dengan tebal lapisan tanah. Setelah didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata, kemudian menentukan kelas situs tanah berdasarkan tabel klasifikasi situs.
4. Mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan Peta Hazzard Gempa Indonesia seperti pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 sesuai dengan lokasi dibangunnya proyek.





Gambar 2. 2 Peta Hazzard Gempa Indonesia

5. Menentukan koefisien situs periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v). Nilai F_a terdapat pada Tabel 2.2 dan Nilai F_v terdapat pada Tabel 2.3 yang sesuai dengan SNI 1726 -2012.

Tabel 2. 2 Koefisien Situs, F_a

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. 3 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, 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	2.0	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS^b				

7. Menentukan parameter spektrum respon percepatan gempa pada perioda pendek (S_{MS})
 $S_{MS} = F_a \cdot S_s$
8. Menentukan parameter spektrum respon percepatan gempa pada perioda 1 detik (S_{M1})
 $S_{M1} = F_v \cdot S_1$
9. Menentukan parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS})
 $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$
10. Menentukan parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik (S_{D1})
 $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$
11. Menentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek dengan menggunakan Tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

12. Menentukan kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik dengan menggunakan Tabel 2.5 di bawah ini:

Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

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

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

SRPMM Adalah salah satu sistem struktur gedung yang dirancang untuk memikul gaya-gaya yang terjadi akibat gempa untuk bangunan dengan KDS C dan harus memenuhi persyaratan dalam SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non- Gedung dan SNI 2847-2013 tentang Tata

Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung pasal 21.3 tentang SRPMM.

2.5 Persyaratan Perhitungan Komponen Struktur Bangunan dengan Metode SRPMM

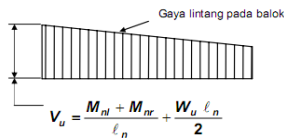
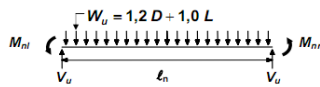
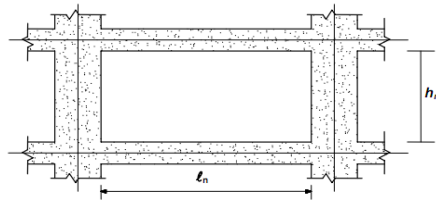
2.5.1 Perencanaan Balok (SNI 2847-2013)

- a) Gaya tekan aksial terfaktor $P_u \leq \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$. (pasal 21.3.2)
- b) Kekuatan momen positif $\geq \frac{1}{3}$ kekuatan momen negatif. (pasal 21.3.4.1)
- c) Kekuatan momen negatif $\geq \frac{1}{5}$ kekuatan momen maksimal. (pasal 21.3.4.1)
- d) Kekuatan momen positif $\geq \frac{1}{5}$ kekuatan momen maksimal. (pasal 21.3.4.1)
- e) Panjang sengkang ≥ 2 kali tinggi keseluruhan komponen struktur. (pasal 21.3.4.2)
- f) Jarak sengkang pertama ≤ 50 mm. (pasal 21.3.4.2)
- g) Spasi sengkang tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari: (pasal 21.3.4.2)
 - d/4;
 - 8 kali diameter batang tulangan terkecil;
 - 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
 - 300 mm.
- h) Sengkang harus dipastikan tidak lebih dari d/2 sepanjang bentang balok. (pasal 21.3.4.3)

2.5.2 Geser Balok (SNI 2847-2013)

Kuat geser rencana ϕV_n balok yang menahan pengaruh gempa, E, tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b): (pasal 21.3.3.1)

- Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E, dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa. Berikut adalah gambar desain geser untuk rangka momen menengah pada balok :



Gambar 2. 3 Desain Geser Balok untuk SRPMM

2.5.3 Perencanaan Kolom (SNI 2847-2013)

- a) Gaya tekan aksial terfaktor $P_u > \frac{A_g \cdot f_{c'}}{10}$. (pasal 21.3.2)
- b) Spasi sengkang ≤ 8 kali diameter batang tulangan terkecil. (pasal 21.3.5.2)
- c) Spasi sengkang ≤ 24 kali diameter batang tulangan sengkang. (pasal 21.3.5.2)
- d) Spasi sengkang \leq setengah dimensi penampang kolom terkecil. (pasal 21.3.5.2)
- e) Spasi sengkang ≤ 300 mm. (pasal 21.3.5.2)
- f) Panjang sengkang $\geq \frac{1}{6}$ bentang bersih kolom. (pasal 21.3.5.2)
- g) Panjang sengkang \geq penampang kolom terkecil. (pasal 21.3.5.2)
- h) Panjang sengkang \geq dimensi penampang maksimum kolom. (pasal 21.3.5.2)
- i) Panjang sengkang ≥ 450 mm. (pasal 21.3.5.2)
- j) Jarak sengkang tertutup pertama $\leq \frac{1}{2}$ spasi sengkang dari muka joint. (pasal 21.3.5.3)

2.5.4 Geser Kolom (SNI 2847-2013)

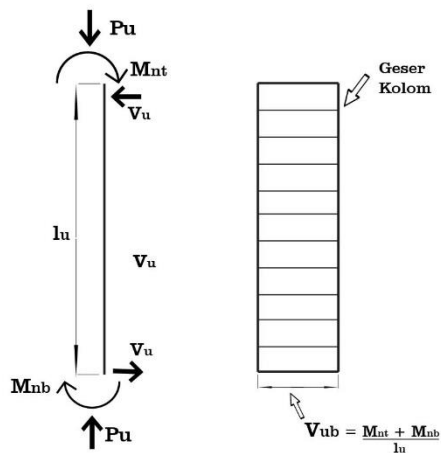
Kuat geser rencana ϕV_n kolom yang menahan pengaruh gempa, E, tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b): (pasal 21.3.3.2)

- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan

lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.

- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E, dengan E ditingkatkan oleh Ω_0 .

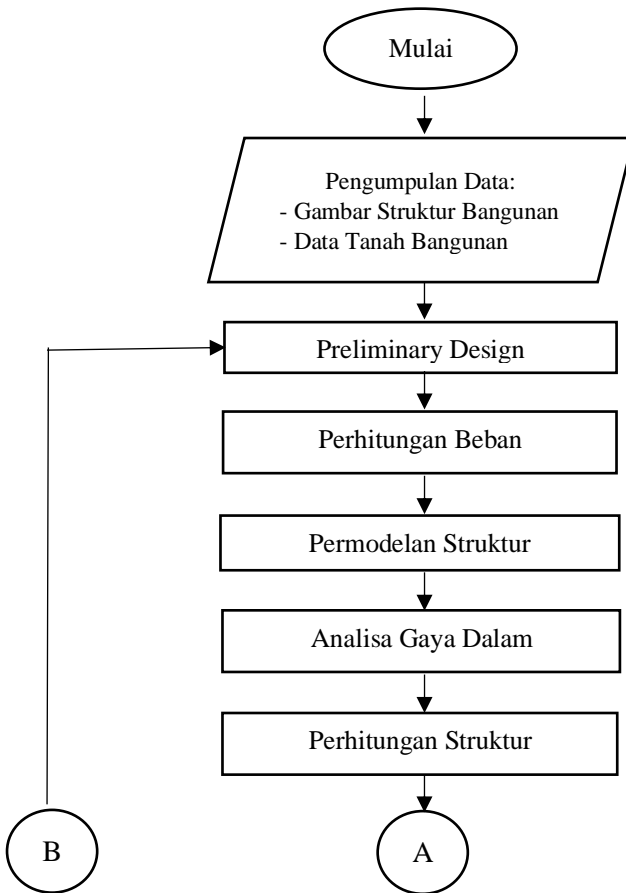
Berikut adalah gambar desain geser untuk rangka momen menengah pada kolom :

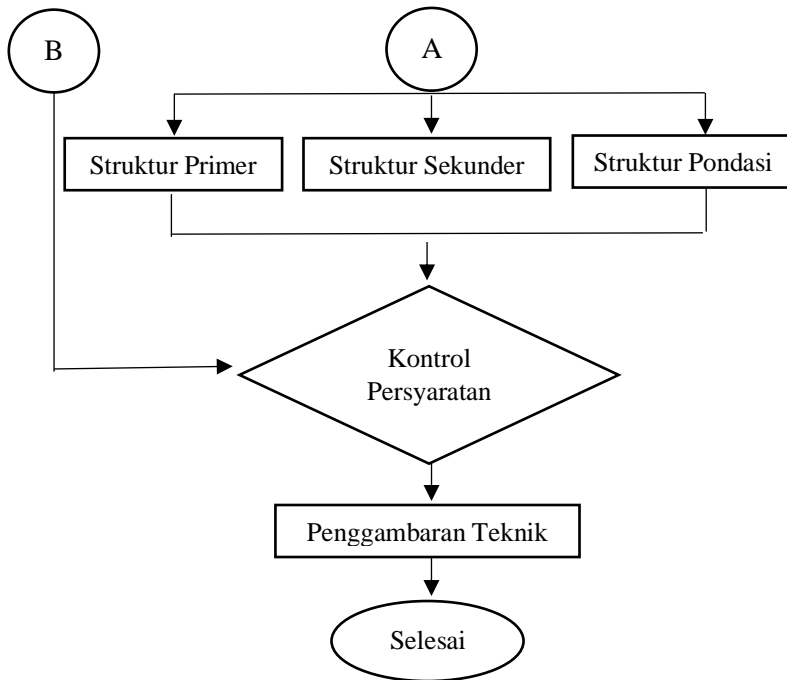


Gambar 2. 4 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor

BAB III METODOLOGI

Langkah – langkah dalam Perencanaan Struktur Apartement The Rosebay dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :





Gambar 3. 1 Flowchart Perencanaan Struktur Bangunan

3.1 Pengumpulan Data

Data – data yang diperlukan dalam perencanaan adalah:

1. Data Tanah

Data tanah yang dipakai merupakan hasil uji SPT (Standard Penetration Test) dari Laboratorium Uji Tanah Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS. Data tersebut akan digunakan sebagai acuan untuk perencanaan gempa dan perhitungan pondasi.

2. Gambar

Data gambar dari proyek yang diperlukan meliputi gambar denah, gambar tampak dan gambar potongan

yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi komponen struktur.

3.2 Preliminary Desain

Preliminary Desain adalah tahap awal dalam merencanakan dimensi struktur dari bangunan Gedung, komponen struktur bangunan gedung antara lain:

1. Balok
2. Kolom
3. Sloof
4. Pelat (Pelat lantai dan tangga)
5. Pondasi

3.2.1 Perencanaan Dimensi Balok

1. Perencanaan Dimensi Balok

Dalam menentukan tinggi balok dapat dapat menggunakan peraturan SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a) sebagai berikut

Tabel 3. 1 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen Struktur	Tebal minimum h			
	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung	Kedua Ujung	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau plat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
Catatan: Panjang bentang dalam mm.				

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

- a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), w_c , diantara 1440 sampai 1840 kg/m^3 , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
- b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Untuk menentukan nilai tinggi (h) pada balok adalah sebagai berikut:

- a. Dimensi tinggi (h) untuk balok induk:

$$H \geq \frac{1}{16} l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \text{ (jika } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa)}$$

- b. Dimensi tinggi (h) untuk balok anak:

$$H \geq \frac{1}{21} l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \text{ (jika } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa)}$$

- c. Dimensi tinggi (h) untuk balok kantilever:

$$H \geq \frac{1}{8} l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \text{ (jika } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa)}$$

*Untuk menentukan dimensi lebar (b) didapat dari $\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$ dari tinggi (h) pada balok yang telah dihitung.

3.2.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 pasal 8.10 untuk menentukan dimensi kolom sebagai berikut:

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

Keterangan:

I_{kolom} : Inersia kolom $(1/12 \cdot b \cdot h^3)$

L_{kolom} : Tinggi bersih kolom

I_{balok} : Inersia balok $(1/12 \cdot b \cdot h^3)$

L_{balok} : Panjang bersih balok

3.2.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Untuk menentukan dimensi tinggi (h) pada sloof sama dengan balok induk yaitu sebagai berikut:

Dimensi tinggi (h) pada sloof:

$$H \geq \frac{1}{16} l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \text{ (jika } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa)}$$

*Untuk menentukan dimensi lebar (b) didapat dari $\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$ dari tinggi (h) pada sloof yang telah dihitung.

3.2.4 Perencanaan Dimensi Pelat

1. Perencanaan Tebal Pelat Lantai

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

- Pelat satu arah (one way slab)



Apabila $\frac{L_y}{L_x} < 2$ maka termasuk pelat dua arah, dimana L_x adalah bentang pendek dan L_y adalah bentang panjang sehingga sesuai SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3. Tebal minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:
- Pelat tanpa penebalan > 125 mm
 - Pelat dengan penebalan > 100 mm

Tabel 3. 2 Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tegangan leleh, f_y MPa *	Tanpa penebalan**			Dengan penebalan**		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel ekterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ***		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ***	
280	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
420	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36
520	ln/28	ln/31	ln/31	ln/31	ln/34	ln/34
<p>Untuk konstruksi dua arah, ln adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.</p> <p>*Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier</p> <p>**Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5</p> <p>***Pelat dengan balok diantara kolom kolomnya disepanjang tepi ekterior. Nilai untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.</p>						

- b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tidak lebih dari 2,0 h, ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan berikut:

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

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2 h, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

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

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekuatan α_l tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternative ketebalan minimum yang ditentukan persamaan 9.12 dan 9.13 harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

3.2.5 Struktur Pondasi

Perencanaan pondasi dalam struktur bangunan menggunakan data tanah yaitu data SPT. Dalam perencanaannya harus mempertimbangkan jenis, kondisi dan struktur tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi di atasnya. Perencanaan dimensi pondasi dan poer direncanakan setelah melakukan permodelan struktur dan analisis gaya dalam.

3.3 Analisa Pembebanan

3.3.1 Beban Mati

- a. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari:
- Berat sendiri pelat
 - Beban pasangan keramik
 - Beban spesi
 - Beban plafond dan rangka

- b. Beban mati pada balok, terdiri dari:
 - Berat sendiri balok
 - Berat sendiri pelat
 - Beban dinding setengah bata
- c. Beban mati pada atap, terdiri dari:
 - Berat sendiri pelat
 - Beban plafond dan rangka

3.3.2 Beban hidup

Berdasarkan SNI 1727-2013 beban hidup pada pelat untuk Gedung Apartemen The Rosebay adalah sebagai berikut:

- Beban hidup lantai 1:
Ruang tidur : 192 kg/m^2
- Beban hidup lantai 2-4:
Ruang tidur : 192 kg/m^2
- Beban hidup lantai atap:
Pekerja : 96 kg/m^2

3.3.3 Beban Hujan

Menurut (SNI 1727-2013 pasal 8.3) setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah dengan beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

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

Dengan:

R : beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam kN/m. Apabila istilah atap yang tidak melendut digunakan, lendutan dari beban (termasuk beban mati)

tidak perlu diperhitungkan ketika menentukan jumlah air hujan pada atap.

d_s : kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam (mm).

d_h : tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolis), dalam (mm).

3.3.4 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 dengan pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini. (SNI 1727:2013 pasal 26).

3.3.5 Beban Gempa

Dalam perencanaan beban gempa pada Perencanaan Struktur Bangunan Apartemen The Rosebay dihitung dengan mengacu pada peraturan SNI 1726-2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung).

1. Faktor keutamaan gempa (I_e)

Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa sesuai SNI 1726-2012 tabel 1 didapatkan

dari fungsi bangunan, sehingga akan diperoleh nilai faktor keutamaan gempa (I_e) pada tabel 2 SNI 1726-2012.

2. Klasifikasi situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah, maka kelas situs terbesar harus diklasifikasikan terlebih dahulu sehingga profil tanah dapat diketahui. Kelas situs didapat dari data tanah bangunan, pada SNI 1726-2012 tabel 3 dijelaskan beberapa macam kelas situs yang harus ditinjau.

3. Kecepatan rata-rata gelombang geser (V_s)

Nilai V_s harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut :

Keterangan :

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter

V_{si} = Kecepatan gelombang geser lapisan i dinyatakan dalam meter per detik (m/detik)

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ meter}$$

4. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N), dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non kohesif (N_{ch}). Nilai N dan N_{ch} harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut :

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dimana N dan d_i dalam persamaan 2.2 berlaku untuk tanah non kohesif, tanah kohesif dan lapisan batuan.

$$N_{ch} = \frac{ds}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dimana N_i dan d_i dalam persamaan 2.3 berlaku untuk lapisan tanah non kohesif saja, dan $\sum_{i=1}^n d_i = ds$, dimana d_s adalah ketebalan total dari lapisan tanah non kohesif di 30 meter lapisan paling atas. N_i adalah tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur langsung dilapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 305 pukulan/meter.

5. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R). Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Dan koefisien situs F_a dan F_v sesuai SNI 1726-2012 tabel 4 dan 5

6. Parameter percepatan spektral desain

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.3 . Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{Ms}$$

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

7. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu SNI 1726-2012 Gambar 1 dan mengikuti ketentuan dibawah ini :

a. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan :

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

b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} .

c. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan:

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

Keterangan:

S_{DS} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

8. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respons (R) sesuai dengan SNI 1726-2012 Tabel 9.

9. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V) sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.

$$V = C_s \cdot W$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

10. Menghitung distribusi vertikal gaya gempa sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3

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

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

Sehingga,

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

11. Menghitung Pusat Massa, Pusat Kekakuan dan Eksentrisitas

12. Menghitung besarnya gaya gempa setiap kolom sesuai dengan eksentrisitas

13. Input ke dalam SAP2000 gaya gempa per kolom.

3.4 Permodelan Struktur

Permodelan struktur Gedung Apartemen The Rosebay menggunakan program SAP-2000. Struktur Gedung direncanakan menggunakan material beton bertulang dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Material Beton
 - a. Mutu beton = 30 MPa
 - b. Modulus Elastisitas = 23500 MPa
 - c. Poisson ratio beton = 0,3
 - d. Berat jenis beton = 2400 kg/m³

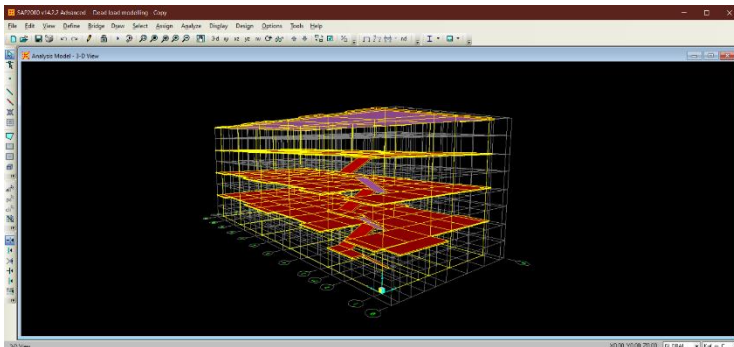
- Material Baja Tulangan
 - a. Mutu tulangan (fy) = 400 MPa
 - b. Mutu tulangan geser = 240 MPa
 - c. Poisson ratio baja = 0,3
 - d. Berat jenis baja = 7850 kg/m³

Sementara itu dimensi struktur diperoleh dari hasil preliminary desain sesuai SNI 2847-2012. Berikut ini adalah spesifikasi dimensi struktur bangunan :

Tabel 3. 3 Spesifikasi Dimensi Struktur Bangunan

No	Elemen	Dimensi	Satuan
1	Balok Induk (B1A)	35/70	mm
2	Balok Anak	20/40	mm
3	Balok Kantilever	20/40	mm
4	Kolom (K1)	500/500	mm
5	Sloof (S1)	30/60	mm
6	Pelat Lantai	12	cm
7	Pelat Atap	12	cm

Struktur Gedung Apartemen The Rosebay dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi. Bangunan dimodelkan menjadi 4 lantai dan 1 atap beton, dengan asumsi terdapat perletakan berupa jepit pada dasar bangunan yang digunakan untuk menahan gaya sehingga dapat dilakukan perhitungan pada struktur pondasi.



Gambar 3. 3 Permodelan 3D Struktur SAP2000

Atap bangunan menggunakan konstruksi dek beton yang nantinya menerima beban berupa beban mati dan beban hidup. Beban mati dan hidup dimasukkan dengan asumsi searah gravitasi. Untuk beban dinding, diasumsikan sebagai beban merata yang akan ditumpu oleh balok. Berat dinding disesuaikan dengan berat bahan dinding yang digunakan.

Dalam perencanaan struktur Gedung Apartemen The Rosebay terhadap beban gempa, perhitungan beban gempa menggunakan pendekatan statik ekuivalen yang dimana besar gaya geser (V) akan dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban nominal statik ekuivalen pada pertemuan balok dan kolom lantai tingkat (F). Beban gempa diletakkan pada sisi terluar bangunan, dengan nilai

$1EX+0,3EY$ dan juga $1 EY + 0,3 EX$. Dimana EX merupakan beban gempa arah X dan EY merupakan beban gempa arah Y.

Pada bagian komponen pelat, yaitu pelat lantai dan pelat tangga akan dibebani sesuai beban yang dipikul sehingga beban pada plat lantai dan pelat tangga akan menjadi berbeda. Pada struktur tangga, diujung bawah bertumpu pada sloof dan diujung atas akan bertumpu pada balok.

3.5 Analisa Gaya Dalam

Analisis gaya dalam pada perencanaan Apartemen The Rosebay menggunakan bantuan program aplikasi analisis struktur SAP 2000. Pembebanan yang digunakan sebagai kombinasi pada program analisis tersebut adalah:

- a. Kombinasi ketahanan terhadap beban hidup dan mati:
 - $1,4D$
 - $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- b. Kombinasi ketahanan terhadap beban angin dan pengaruh gempa yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati:
 - $1,2D + 1,0L + 1,0W + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
 - $1,2D + 1,0L + 1,0E$
 - $0,9D + 1,0W$
 - $0,9D + 1,0E$

Keterangan:

- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- R = Beban Hujan
- W = Beban Angin
- E = Beban Gempa

3.6 Perhitungan Tulangan

3.6.1 Struktur Balok

1. Persyaratan untuk Batasan Spasi Tulangan

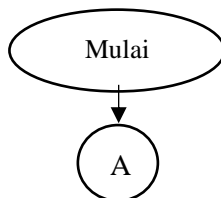
Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.3.4.2 Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

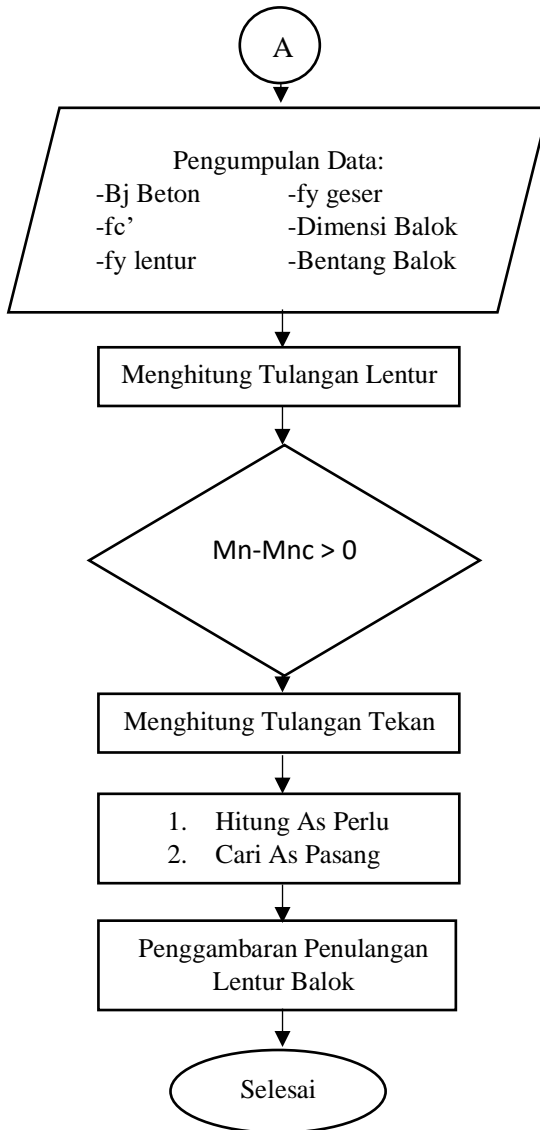
- $d/4$
- delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

2. Penulangan Struktur Balok

Sesuai dengan SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1 Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negative atau positif pada sembarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

1. Penulangan Lentur Balok





Gambar 3. 4 Flowchart Penulangan Lentur Balok

a) Menentukan momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program SAP2000

b) Perhitungan penulangan lentur balok:

- $d = bw - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - 1/2 \emptyset \text{tul. Utama}$

- $d' = \text{decking} + \emptyset \text{sengkang} + 1/2 \emptyset \text{tul. Utama}$

- $M_n = \frac{Mu}{\emptyset}$

(SNI 2847-2013, pasal 22.5.1)

- $\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y}$

(SNI 2847-2013, lampiran B8.4.2)

- $\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$

(SNI 2847-2013, lampiran B10.3.3)

- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$

(SNI 2847-2013, pasal 22.5.1)

- $m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$

(Wang, C. Salmon hal. 55 pers 3.8.4.a)

- $\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$

(Wang, C. Salmon hal. 55 pers 3.8.4.a)

- Hitung $x \leq 0,75 X_b$

- $X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$

- $Asc = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x}{f_y}$

- $M_{nc} = Asc \cdot f_y$

- $M_{ns} = M_n - M_{nc}$

- $= \frac{Mu}{\emptyset} - M_{nc}$

Cek tulangan tunggal/rangkap:

- Jika $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$C_s' = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''}$$

$$f_s' = \left(\frac{x - d''}{x} \right) \cdot 600$$

Jika $f_s' > f_y$, maka tulangan tekan leleh

Jika $f_s' = f_y$, maka tulangan tekan

Jika $f_s' < f_y$, maka tulangan tekan tidak leleh

Tulangan tekan perlu (A_s')

$$A_s' = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85 \cdot f_c')}$$

Tulangan tarik tambahan (A_{ss})

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

- Jika $(M_n - M_{nc}) < 0$, maka tidak perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

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

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

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

-Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$A_s = A_s'$$

- Kontrol jarak spasi tulangan sesuai SNI 2847-2013, pasal 7.6.2

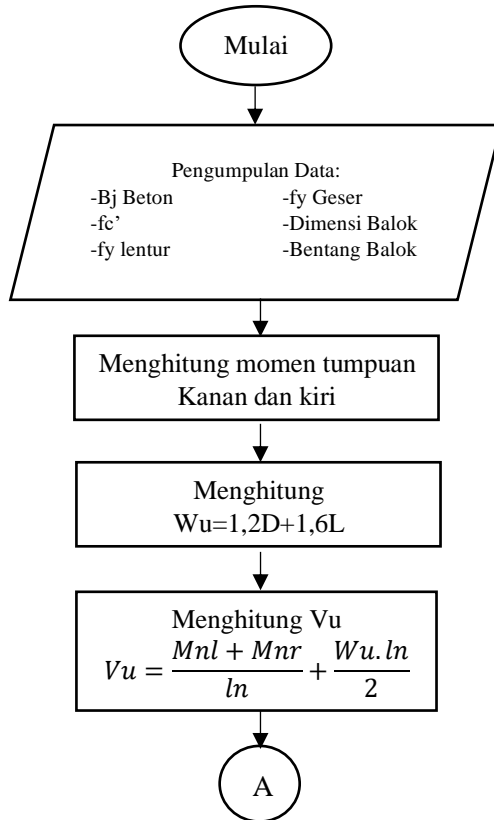
$$s = \frac{b_w - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \phi_{\text{tul. sengkang}}) - (n \cdot \phi_{\text{tul. sengkang}})}{n - 1}$$

Dimana: $s \geq 25 \text{ mm}$

- Kontrol kekuatan sesuai SNI 2847-2013, pasal 22.5.1

$$\phi M_n \geq M_u$$

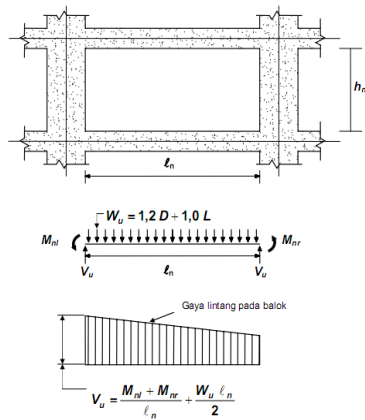
2. Penulangan Geser Balok





Gambar 3. 5 Flowchart Penulangan Geser Balok

- Penentuan V_u, V_c, V_s dan $V_s \max$
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.2 gaya lintang maksimum yang didapatkan dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa (E) dimana E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.



Gambar 3. 6 Desain Geser Balok SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nr} + M_{nl}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

Keterangan:

V_u = gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai

M_{nl} = Momen nominal penampang kiri

M_{nr} = Momen nominal penampang kanan

W_u = beban terfaktor per unit luas

l_n = bentang balok

Nilai $\sqrt{f'c}$ yang digunakan dalam pasal ini tidak boleh melebihi 8,3 MPa kecuali seperti 11.1.2.1 (SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)

Perhitungan kuat geser beton yang dibebani oleh geser:

- $\phi V_u \geq V_n$

$$V_n = V_c + V_s$$

(SNI 2847-2013, pasal 11.1.1)

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

(SNI 2847-2013, pasal 11.2.1.1)

- $V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \cdot bw \cdot d$

(SNI 2847-2013, pasal 11.4.6)

- $V_s \text{ max} = 0,66\sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d$

(SNI 2847-2013, pasal 11.4.5.3)

- $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$

(SNI 2847-2013, pasal 11.4.7.2)

- $A_v = 0,062 \sqrt{f'c'} \frac{bw s}{f_{yt}}$

(SNI 2847 – 2013, pasal 11.4.6.3)

Kontrol Kondisi

a. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c$$

(tidak perlu tulangan geser)

b. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c < V_u \leq \emptyset \cdot V_c$$

(perlu tulangan geser minimum)

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \cdot S}{3 \cdot f_y}; V_s \text{ min} = \frac{b_w \cdot d}{3}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

c. Kondisi 3

$$\emptyset \cdot V_c < V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_s \text{ min})$$

(perlu tulangan geser minimum)

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \cdot S}{3 \cdot f_y}; V_s \text{ min} = \frac{b_w \cdot d}{3}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

d. Kondisi 4

$$\emptyset \cdot (V_c + V_s \text{ min}) < V_u \leq \emptyset \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \right)$$

(perlu tulangan geser)

$$\emptyset V_s \text{ perlu} = V_u - \emptyset V_c ; V_s = \frac{As \cdot fy \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

e. Kondisi 5

$$\emptyset \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \right) < V_u \leq \emptyset \left(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \right)$$

(perlu tulangan geser)

$$\emptyset V_s \text{ perlu} = V_u - \emptyset V_c ; V_s = \frac{As \cdot fy \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{4} \text{ dan } S_{maks} \leq 300 \text{ mm}$$

f. Kondisi 6

$$V_s > \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \text{ (perbesar penampang)}$$

Keterangan :

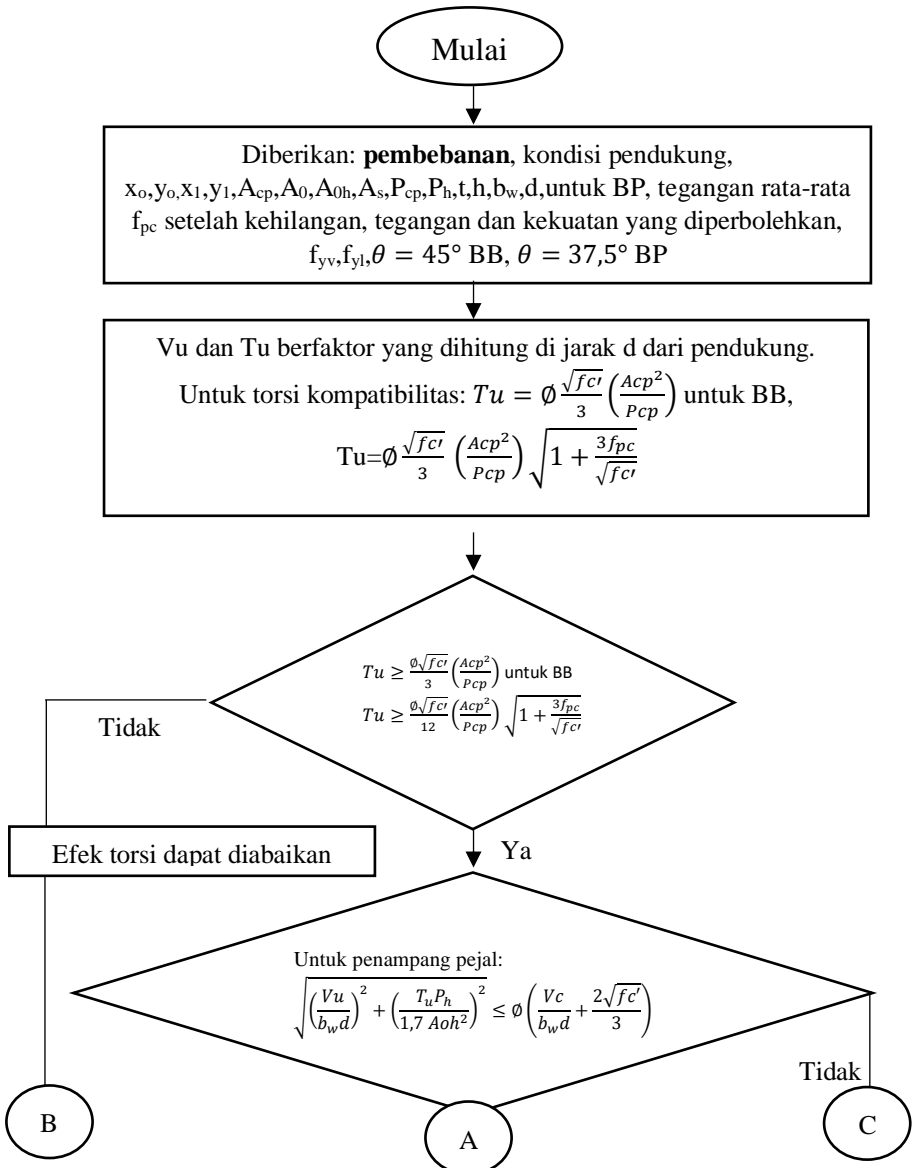
V_n : Tegangan geser nominal

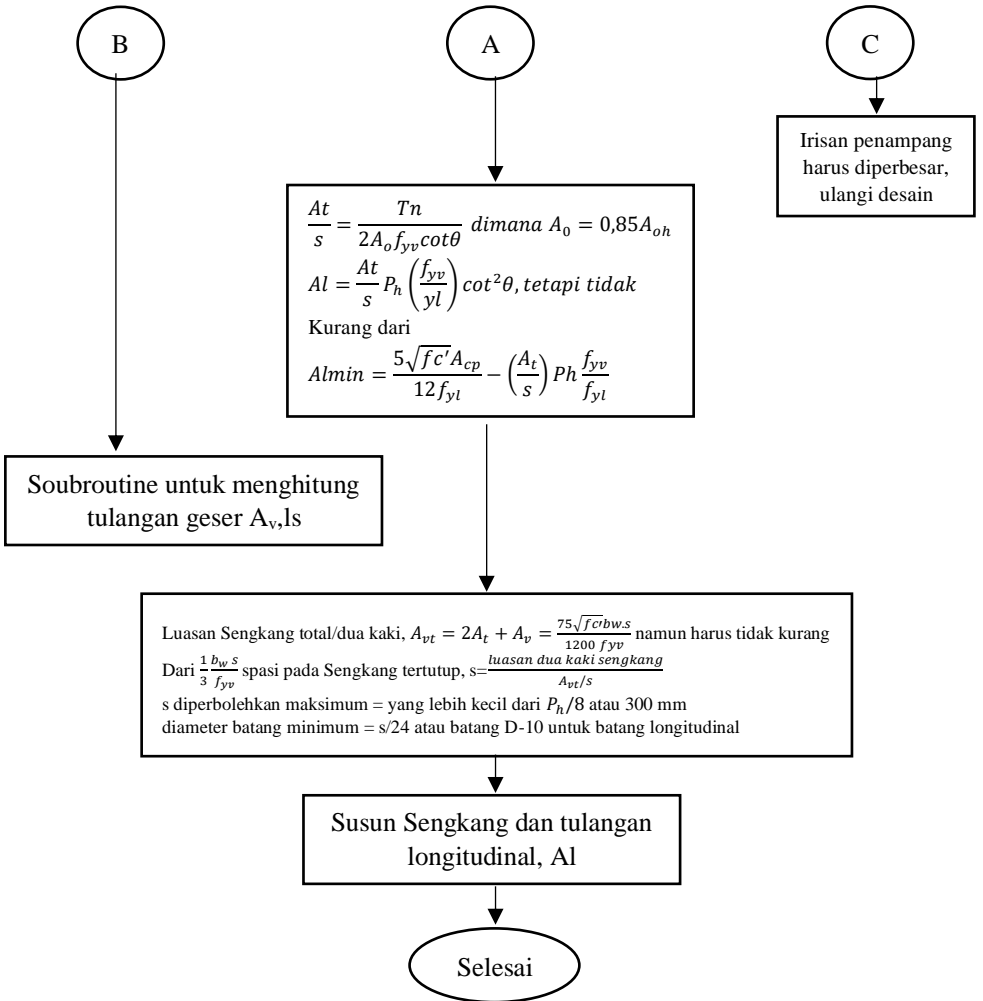
V_c : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

V_s : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

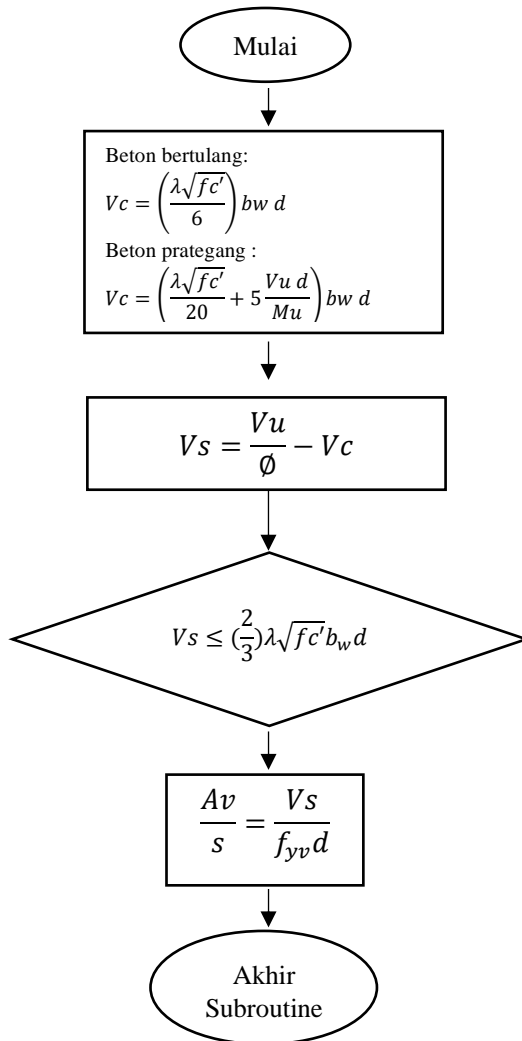
A_v : Luas tulangan geser

3. Penulangan Torsi





Gambar 3. 7 Flowchart Penulangan Torsi Balok



Gambar 3. 8 Sub Routine Flowchart Penulangan Torsi Balok

Perencanaan torsi didasarkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.1 yaitu terpengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u memenuhi syarat sebagai berikut:

Tu kurang dari :

$$\phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

Keterangan:

Acp = luas penampang keseluruhan

Pcp = keliling penampang keseluruhan

λ = 1 (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

ϕ = 0,75 (faktor reduksi beban torsi) SNI 2847-2013, pasal 9

- Untuk memikul geser oleh lentur dan puntir, dimensi penampang harus direncanakan:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{Tu Ph}{1,7 Ach^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'c'} \right)$$

- Dalam mendesain tulangan torsi harus memenuhi:

$$\phi Tn \geq Tu$$

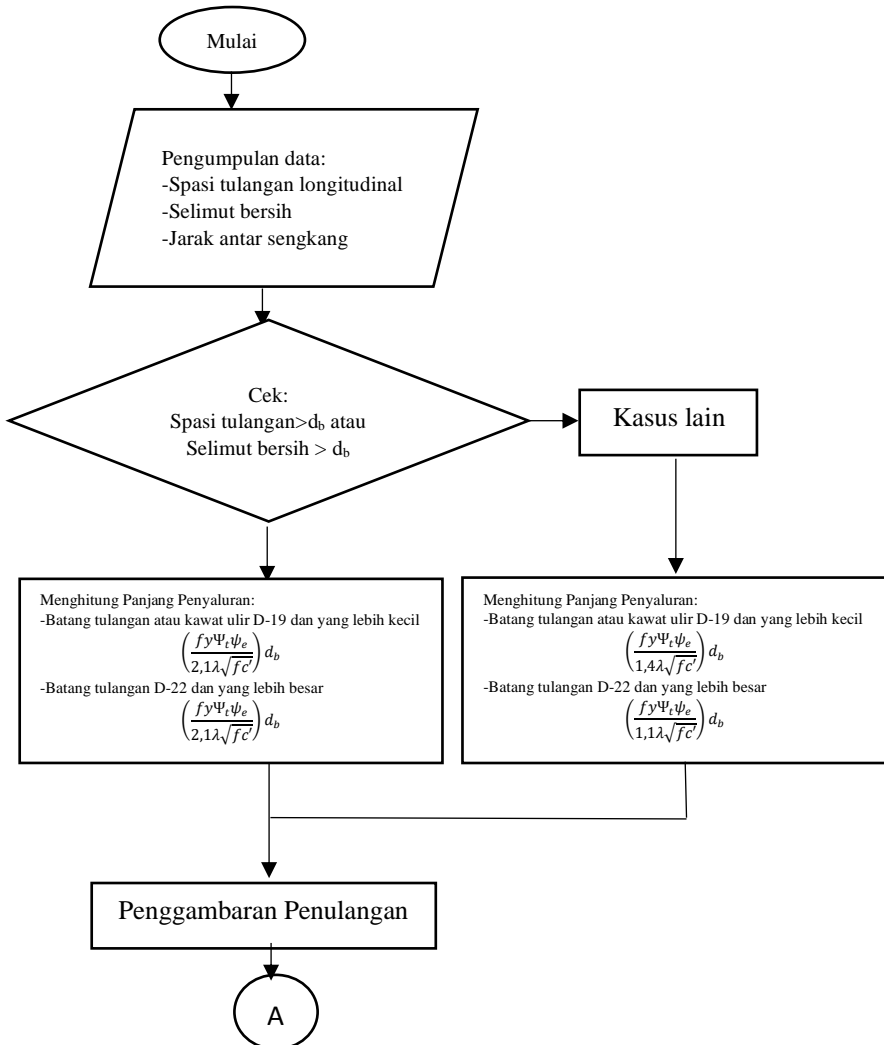
Sedangkan Tn dihitung dengan persamaan:

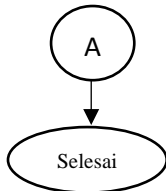
$$Tn = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dengan A_o boleh diambil sama dengan 0,85 ; θ boleh diambil sama dengan 45 derajat untuk komponen struktur non prategang atau komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif kurang dari 40% kekuatan tarik longitudinal. Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi. A tidak boleh kurang dari:

$$Al = \frac{At}{s} Ph \left(\frac{fyt}{fy} \right) \cot^2 \theta$$

4. Penyaluran dan Penyambungan Tulangan





Gambar 3. 9 Flowchart Perhitungan Panjang Penyaluran

Penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik

- Panjang penyaluran λ_d dinyatakan dalam diameter d_b untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, harus ditentukan berdasarkan pasal 21.5.3, tetapi λ_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

Untuk batang ulir atau kawat ulir, λ_d/d_b harus diambil sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang λ_d tidak kurang dari	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{3 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5 \sqrt{f_c'}}$

<p>persyaratan minimum sesuai peraturan</p> <p>Atau</p> <p>Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b</p>		
Kasus-kasus lain	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{18 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{f'c}}$	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{9 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{10 \sqrt{f'c}}$

Dimana:

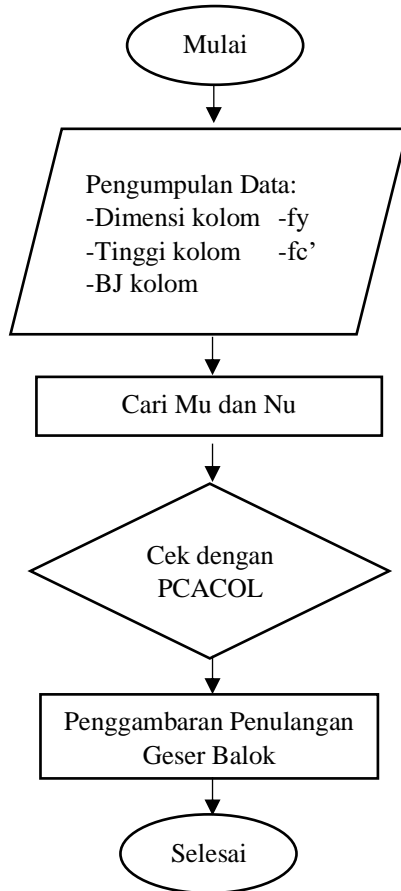
- α = faktor lokasi penulangan
- β = faktor pelapis
- λ = faktor beton agregat ringan
- d_b = diameter tulangan

Penyaluran batang ulir yang berada dalam kondisi tekan:

- Panjang penyaluran λ_d dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar λ_{db} pada pasal 14.3.(2) dengan faktor modifikasi yang berlaku sesuai dengan pasal 14.3.(3), tetapi λ_d tidak boleh kurang dari 200 mm.

- Panjang penyaluran dasar λ_{db} harus diambil sebesar $\lambda_{dfy} / (4\sqrt{f_c'})$, tetapi tidak kurang dari $0,04 \lambda_{dfy}$

3.6.2 Struktur Kolom



Gambar 3. 10 Flowchart Penulangan Kolom

Kolom harus ditulangi secara spiral sesuai dengan 7.10.4 atau harus memenuhi 21.3.5.2 hingga 21.3.5.4 subpasal 21.3.5.5 berlaku untuk semua kolom, dan 21.3.5.6 berlaku untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.1)

1. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_0 sepanjang panjang l_0 diukur dari muka joint. (SNI 2847-2013, pasal 21.3.5.2)
2. Sengkang tertutup pertama ditempatkan tidak lebih dari $s_0/2$ dari muka joint. (SNI 2847-2013, pasal 21.3.5.3)
3. Diluar panjang l_0 , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.1 (SNI 2847-2013, pasal 21.3.5.4)
4. Tulangan transversal joint harus memenuhi 11.10 (SNI 2847-2013, pasal 21.3.5.5)
5. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_0 . Seperti didefinisikan dalam 21.3.5.2 sepanjang tinggi penuh dibawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi ($A_g f_c' / 10$). (SNI 2847-2013, pasal 21.3.5.6).

- Penulangan Kolom

1. Penulangan Lentur

- a. Bedakan antara kolom dengan pengaku (braced frame) atau kolom tanpa pengaku (unbraced frame).

- Untuk komponen struktur tekan yang di bracing terhadap goyangan menyimpang:

$$\frac{k \cdot lu}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M1}{M2} \right) \leq 40$$

- Untuk komponen struktur tekan yang tidak di bracing terhadap goyangan menyimpang:

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

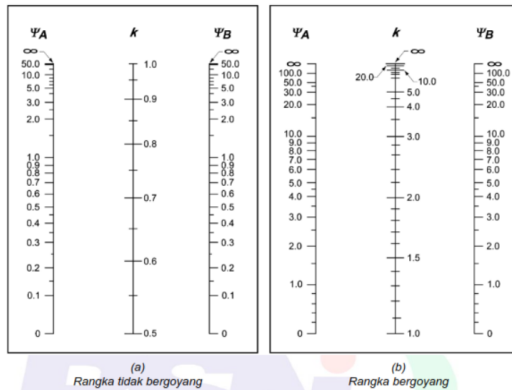
- b. Hitung faktor kekakuan (EI) kolom. Nilai EI bisa diambil dari:

$$EI = \frac{0,2 Ec Ig + Es Ise}{1 + \beta d} \text{ atau } EI = \frac{0,4 Ec Ig}{1 + \beta d}$$

- c. Hitung faktor kekangan ujung-ujung kolom Ψ_A dan Ψ_B .

$$\Psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L} \right) kolom - kolom}{\sum \left(\frac{EI}{L} \right) balok - balok}$$

- d. Hitung faktor panjang efektif (k). Lihat tabel nomogram pada SNI 2847-2013, pasal 10.10.7.2



Gambar 3. 11 Faktor Panjang Efektif (k)

- e. Hitung P_c (Beban Kritis) kolom-kolom yang bersangkutan

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

- f. Hitung faktor pembesaran momen (δ_s dan δ_{ns}) sesuai SNI 2847-2013, pasal 10.10.7.3

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum Pu \Delta o}{Vu \cdot lu}} \geq 1$$

Apabila δ_s dihitung menggunakan persamaan diatas dan hasilnya melebihi 1,5 maka dapat menggunakan alternatif:

$$\delta_s = \frac{Cm}{1 - \frac{\sum Pu}{0,75 \cdot \sum P_c}} \geq 1$$

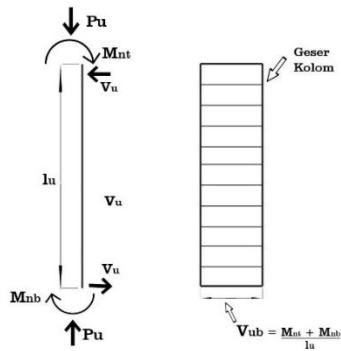
Hitung:

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

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

2. Penulangan Geser

Untuk mendapatkan nilai V_u pada kolom sesuai dengan perencanaan SRPMM dapat diperoleh dari rumus berikut:



Gambar 3. 12 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat geser (V_c) harus dihitung menggunakan rumus:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d$$

Besaran Nu/Ag harus dinyatakan dalam MPa.

Kondisi perhitungan tulangan geser pada kolom sama dengan kondisi perhitungan pada balok.

- Cek persyaratan:
 - a. Kontrol momen

$$M_n > \frac{M_u}{\phi}$$

- b. Kontrol kemampuan kolom

Kontrol kemampuan kolom dilakukan dengan menggunakan program PCaCol.

$$M_{ux} < M_{nx}$$

$$M_{uy} < M_{ny}$$

- Perhitungan panjang penyaluran tulangan
 - a. Tulangan kondisi tarik

$$\frac{\lambda_d}{d_s} = \frac{3 fy \alpha \beta \lambda}{5 \sqrt{fc'}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda d$$

b. Tulangan kondisi tekan

$$\lambda d = \frac{d_b fy}{4 \sqrt{fc'}} \geq 0,004 d_b fy$$

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda d$$

c. Tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$\lambda_{hb} = \frac{100 d_b}{\sqrt{fc'}}$$

3. Desain Hubungan Balok Kolom SRPMM

Menentukan momen-momen nominal balok yang terbesar pada masing-masing penampang yang memasuki balok. Karena kekakuan kolom atas dan bawah sama maka:

$$M_e = 0,5 (M_{n1} + M_{n2})$$

Dimana:

$$M_{n1} = 1 As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ \& } M_{n2} = 1 As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Geser pada kolom atas:

$$V_{sway} = (M_{n1} + M_{n2}) / l_n$$

2. Perhitungan bagian kanan HBK

- Perhitungan As lapis atas balok yang terpasang
As total = As tarik tumpuan + As tul. puntir (jika ada)

$$= n \times \frac{1}{4} \pi d^2 + n \times \frac{1}{4} \pi d^2$$

- Menghitung gaya yang bekerja pada baja tulangan lapis atas balok

$$T1 = 1. As \cdot fy$$

- Menghitung gaya yang bekerja pada join sebelah kanan

$$C1 = T1 = 1. As. fy$$

3. Perhitungan bagian kiri HBK

- Perhitungan As lapis bawah balok yang terpasang
As total = As tarik tumpuan + As tul. puntir (jika ada)

$$= n \times \frac{1}{4} \pi d^2 + n \times \frac{1}{4} \pi d^2$$

- Menghitung gaya yang bekerja pada baja tulangan lapis bawah balok

$$T2 = 1. As. fy$$

- Menghitung gaya yang bekerja pada join sebelah kiri

$$C2 = T2 = 1. As. fy$$

4. Perhitungan Vu

$$Vu = Vj = Vsway - T_1 - C_2$$

5. Luas Efektif hubungan balok- kolom

$$Aj = b_{kolom} \times h_{kolom}$$

$$Vn = 1,7 \cdot \sqrt{f'c'} \cdot Aj$$

$$\phi Vn = 0,75 \cdot Vn$$

3.6.3 Pelat

Perencanaan Penulangan pada Pelat Lantai

1. Analisis Struktur Pelat

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{Ecb \cdot lb}{Ecp \cdot lp} > 1$$

(Sumber: SNI 2847-2013, pasal 13.3.6)

Keterangan:

- Ecn: Modulus elastisitas balok beton
- Ecp: Modulus elastisitas pelat beton
- lb :Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

- I_p : Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

2. Perhitungan momen-momen yang terjadi pada pelat

- $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$
(SNI 2847-2013, pasal 10.5.1)
- $\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
(SNI 2847-2013, lampiran pasal B8.4.2)
- $\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$
(SNI 2847-2013, lampiran pasal B10.3.3)
- $m = \frac{f_y}{0,85 f_c'}$
(Wang, C. Salmon hal.55 per. 3.8.4.a)
- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$
(Wang, C. Salmon hal.55 per.3.8.4.a)
Bila $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka ρ dinaikkan 30%, sehingga:
 - $\rho_{\text{pakai}} : 1,3 \times \rho_{\text{perlu}}$
 - $A_s : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

3. Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.3.2

- $S_{\max} < 2h$
Keterangan: h = tinggi pelat
 S_{\max} = Jarak maksimum tulangan

4. Kontrol Tulangan Susut dan Suhu

Berdasarkan SNI 2847-2013, pasal 7.12.2.1 luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto

penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

Tabel 3. 5 Rasio tulangan susut dan suhu

		Rasio tulangan minimum terhadap luas bruto
A	Slab yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350	0,002
B	Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420	0,0018
c	Slab yang menggunakan tulangan	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

5. Kontrol jarak spasi antar tulangan susut dan suhu

Berdasarkan SNI 2847-2013, pasal 13.3.2, tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal slab, atau tidak lebih jauh dari 450 mm.

Untuk pelat tangga, langkah-langkah dalam perencanaan penulangan pada pelat tangga sama dengan pada perencanaan penulangan pada pelat lantai.

3.6.4 Sloof

1. Penulangan Lentur

- Mencari nilai momen ultimate kanan dan kiri beserta gaya tarik (N_u) dari 10% gaya aksial pada kolom kanan atau kiri.
- Hitung M_n

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

- Mencari nilai ρ dari diagram interaksi, dengan menghitung

$$\frac{Mu}{b \cdot h^2} \text{ dan } \frac{Nu}{b \cdot h}$$

- Hitung $Ast = \rho \cdot b \cdot h$
- Cek perencanaan

$$\alpha = \frac{As \text{ pasang} \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b}$$

$$Mn \text{ pasang} = 0,85 \cdot fc' \cdot \alpha \cdot b \cdot \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \geq Mn$$

- Kontrol jarak tulangan :

$$= \frac{bw - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \phi \text{tul. sengkang}) - (n \cdot \text{tul. sengkang}) \cdot s}{n - 1}$$

Dimana: $s \geq 25\text{mm}$

2. Penulangan Geser

Kontrol kondisi

a. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \cdot \phi \cdot Vc$$

b. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \phi \cdot Vc < Vu \leq \phi \cdot Vc$$

(perlu tulangan geser minimum)

$$Av \text{ min} = \frac{0,35 \cdot S}{fy}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{\text{maks}} \leq 600 \text{ mm}$$

c. Kondisi 3

$$\phi \cdot Vc < Vu \leq \phi \cdot (Vc + Vs \text{ min})$$

(perlu tulangan geser minimum)

$$Av \text{ min} = \frac{0,35 \cdot S}{fy}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

d. Kondisi 4

$$\phi \cdot (V_c + V_s \text{ min}) \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \right)$$

(Perlu tulangan geser)

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

e. Kondisi 5

$$\phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \right) < V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \right)$$

(perlu tulangan geser)

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

6. Kondisi 6

$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d$$

Keterangan:

V_n = Tegangan geser nominal

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

3. Perhitungan Panjang Penyaluran

Berdasarkan SNI 2847-2013, pasal 12.2

- 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/l_b harus diambil sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang – batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang disepanjang l_d tidak kurang dari persyaratan minimum atau spasi bersih batang– batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b .	$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}}\right) db$	$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}}\right) db$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}}\right) db$	$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'}}\right) db$

Untuk batang tulangan ulir atau kawat ulir l_d harus sebesar :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'c'}} \frac{\Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_s}{\left(\frac{Cb + Ktr}{db}\right)} \right) db$$

Dimana ruas pengekanan $(Cb+Ktr)/db$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan:

$$K_{tr} = \frac{40 A_v}{sn}$$

Dimana n adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr}=0$ sebagai penyederhanaan desain meskipun terdapat tulangan transversal.

Perhitungan struktur dalam hal ini merupakan perhitungan tulangan berdasarkan SNI 2847 -2013 dengan memperhatikan standar penulangan serta menggunakan data – data yang diperoleh dari *output* analisis struktur. Dari hasil analisis tersebut kemudian diperoleh gaya aksial, gaya geser, momen lentur, dan torsi. Selanjutnya dari hasil tersebut digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pada komponen struktur bangunan, kemudian cek persyaratan dan kontrol kemampuan dari hasil kebutuhan tulangan.

3.8 Gambar Perencanaan

Gambar Perencanaan meliputi:

1. Gambar arsitektur:
 - Gambar denah
 - Gambar Tampak (tampak depan dan tampak samping)
2. Gambar struktur:
 - Gambar Potongan (potongan memanjang dan melintang)
 - Gambar plat
 - Gambar tangga dan bordes
 - Gambar balok
 - Gambar balok
 - Gambar kolom
 - Gambar sloof
 - Gambar pondasi

3. Gambar penulangan:
 - Gambar penulangan plat
 - Gambar penulangan tangga dan bordes
 - Gambar penulangan balok
 - Gambar penulangan kolom
 - Gambar penulangan sloof
 - Gambar penulangan poer dan pondasi
 - Gambar penulangan satu segmen portal
4. Gambar detail
 - a. Gambar detail panjang penyaluran meliputi
 - Panjang penyaluran plat dan tangga
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran kolom
 - Panjang penyaluran sloof
 - Panjang penyaluran pondasi
 - b. Gambar detail penjangkaran tulangan
 - c. Gambar detail pondasi dan poer
 - d. Gambar detail atap

3. 9 Perhitungan Volume Tulangan

- Kolom
- Balok
- Sloof

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Langkah pertama dalam merencanakan suatu gedung adalah menghitung dimensi struktur yang akan digunakan.

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Dalam merencanakan dimensi balok terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi balok dalam perencanaan struktur Gedung The Rosebay adalah sebagai berikut:

A. Balok Induk

a. Data-data perencanaan:

- Tipe Balok = B1
- As Balok = As H Joint (3-5)
- Bentang Balok (L_{Balok}) = 800 cm
- Mutu baja tulangan (f_y) = 400 MPa
- Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

b. Perhitungan Perencanaan:

$$h = \frac{L}{12} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \qquad b = \frac{1}{2} \times h$$

$$h = \frac{8000}{12} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) \qquad = \frac{1}{2} \times 700$$

$$h = 647,67 \text{ mm} \qquad b = 350 \text{ mm}$$

$$h \approx 700 \text{ mm}$$

Maka direncanakan balok induk dengan dimensi 35/70 cm

B. Balok Anak (B2)

a. Data-data perencanaan:

- Tipe Balok = B2
- As Balok = As G Joint (3-5)
- Bentang Balok (L_{Balok}) = 800 cm

- Mutu baja tulangan (f_y) = 400 MPa

- Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

b. Perhitungan perencanaan:

$$h = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad b = \frac{1}{2} \times h$$

$$h = \frac{8000}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = \frac{1}{2} \times 400$$

$$h = 370,1 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

$$h \approx 400 \text{ mm} \quad b \approx 200 \text{ mm}$$

Maka direncanakan balok anak dengan dimensi 20/40 cm

C. Balok Kantilever (BK)

a. Data-data perencanaan:

- Tipe Balok = BK

- As Balok = As I Joint (1-2)

- Bentang Balok (L_{Balok}) = 400 cm

- Mutu baja tulangan (f_y) = 400 MPa

- Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

b. Perhitungan perencanaan:

$$h = \frac{L}{8} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad b = \frac{1}{2} \times h$$

$$h = \frac{4000}{8} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = \frac{1}{2} \times 200$$

$$h = 200 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$h \approx 400 \text{ mm} \quad b \approx 200 \text{ mm}$$

Maka direncanakan balok kantilever dengan dimensi 20/40 cm

4.1.2 Perencanaan Dimensi Sloof

Dalam perencanaan dimensi sloof terdapat data – data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi sloof

dalam perencanaan struktur gedung Apartemen The Rosebay adalah sebagai berikut:

a. Data – data perencanaan:

- Tipe sloof = S1
- As sloof = As H Joint (3-5)
- Bentang sloof (L_{sloof}) = 800 cm
- Mutu baja tulangan (f_y) = 400 MPa
- Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

b. Perhitungan Perencanaan:

$$h = \frac{L}{14} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad b = \frac{1}{2} \times h$$

$$h = \frac{8000}{14} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) \quad = \frac{1}{2} \times 600$$

$$h = 555,1 \text{ mm} \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$h \approx 600 \text{ mm}$$

Maka direncanakan sloof dengan dimensi 30/60 cm

4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan dimensi kolom terdapat data – data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi kolom dalam perencanaan struktur gedung Apartemen The Rosebay adalah sebagai berikut:

a. Data – data perencanaan:

- Tipe kolom = K1
- Tinggi kolom (L_{kolom}) = 400 cm
- Bentang balok (L_{balok}) = 800 cm
- Lebar balok (b_{balok}) = 35 cm
- Tinggi balok (h_{balok}) = 70 cm

b. Perhitungan Perencanaan:

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

$$\frac{\frac{1}{12} x b_k x h_k^3}{h \text{ kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} x b_b x h_b^3}{L \text{ balok}}$$

Dimana $b_k = h_k$

$$\frac{\frac{1}{12} x b_k^4}{h \text{ kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} x b_b x h_b^3}{L \text{ balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} x b_k^4}{400} \geq \frac{\frac{1}{12} x 35 x 70^3}{800}$$

$$h = 49,5 \text{ cm}$$

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

Maka direncanakan kolom dengan dimensi
50/50 cm

4.1.4 Perencanaan Tebal Pelat

Dalam perencanaan tebal pelat terdapat data – data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi pelat dalam perencanaan struktur gedung Apartemen The Rosebay adalah sebagai berikut:

a. Data – data perencanaan:

- Tipe pelat : P2
- Kuat tekan beton (f_c') : 30 MPa
- Mutu tulangan (f_y) : 400 MPa
- Rencana tebal pelat : 12 cm
- Bentang pelat sumbu panjang (L_y) : 400 cm
- Bentang pelat sumbu pendek (L_x) : 360 cm
- Dimensi balok as B (2-2') : 35/70 cm
- Dimensi balok as C (2-2') : 35/70 cm
- Dimensi balok as 2 (B-C) : 35/70 cm
- Dimensi balok as 2' (B-C) : 20/40 cm

b. Perhitungan perencanaan:

➤ Bentang bersih sumbu panjang (L_n)

$$L_y = 400 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 2 (B-C)} = 35 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 2' (B-C)} = 20 \text{ cm}$$

$$L_n = l_y - \left(\frac{b \text{ balok as 2 (B-C)}}{2} + \frac{b \text{ balok as 2' (B-C)}}{2} \right)$$

$$= 400 - \left(\frac{35}{2} + \frac{20}{2} \right)$$

$$= 372,5 \text{ cm}$$

➤ Bentang bersih sumbu pendek (S_n)

$$L_x = 335 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as B (2-2')} = 35 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as C (2-2')} = 35 \text{ cm}$$

$$S_n = l_x - \left(\frac{b \text{ balok as B (2-2')}}{2} + \frac{b \text{ balok as C (2-2')}}{2} \right)$$

$$= 360 - \left(\frac{35}{2} + \frac{35}{2} \right)$$

$$= 325 \text{ cm}$$

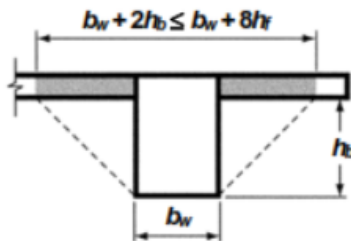
Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek:

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$

$$\beta = \frac{372,5}{325}$$

$$\beta = 1,146 < 2 \text{ Two way slab}$$

➤ Tinjau balok as B (2-2')



bw	= 35 cm
hb	= 58 cm
asumsi tebal pelat (hf)	= 12 cm
hb	= 70 cm

➤ Menentukan lebar efektif flens
(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$

$$b_e = 35 + 2(70-12) = 151 \text{ cm}$$

$$b_e = 35 + 8(12) = 131 \text{ cm}$$

Diambil yang terkecil, maka $b_e = 131 \text{ cm}$

➤ Menentukan faktor modifikasi (k)

Desain Beton Bertulang edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$k = 1,67$$

➤ Momen inersia penampang T (I_b)

$$I_b = k \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,67 \cdot \frac{35 \cdot 70^3}{12}$$

$$I_b = 1673218,57 \text{ cm}^4$$

➤ Momen Inersia lajur plat (I_p)

$$I_p = \frac{b_p \cdot h_f^3}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5 \times (360+400)) \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 54720 \text{ cm}^4$$

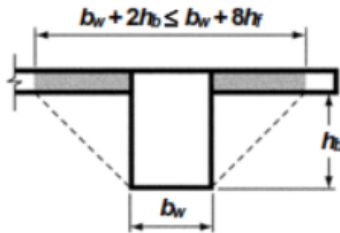
➤ Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = \frac{1673218,57 \text{ cm}^4}{54720 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 30,58$$

➤ Tinjau balok as balok as C (2-2')



$$b_w = 35 \text{ cm}$$

$$h_w = 70 \text{ cm}$$

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

$$h_b = 58 \text{ cm}$$

➤ Menentukan lebar efektif flens (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$

$$b_e = 20 + 2(58) = 151 \text{ cm}$$

$$b_e = 20 + 8(12) = 131 \text{ cm}$$

Diambil yang terkecil, maka $b_e = 131 \text{ cm}$

➤ Menentukan faktor modifikasi (k)

Desain Beton Bertulang edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$k = 1,67$$

➤ Momen inersia penampang T (I_b)

$$I_b = k \cdot \frac{bw \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,67 \cdot \frac{35 \cdot 70^3}{12}$$

$$I_b = 1673218,57 \text{ cm}^4$$

➤ Momen Inersia lajur plat (I_p)

$$I_p = \frac{bp \cdot hf^3}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5 \times (360 + 400) \times 12^3)}{12}$$

$$I_p = 54720 \text{ cm}^4$$

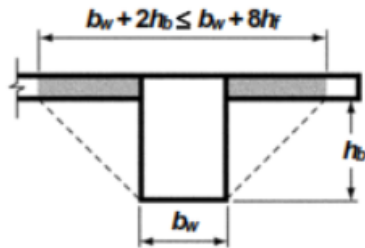
➤ Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_2 = \frac{1673218,57 \text{ cm}^4}{54720 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_2 = 30,58$$

➤ Tinjau balok as 2 (B-C)



b_w	= 35 cm
h_w	= 70 cm
asumsi tebal pelat (h_f)	= 12 cm
h_b	= 58 cm

- Menentukan lebar efektif flens
(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)
- $$b_e = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$
- $$b_e = 35 + 2(58) = 151 \text{ cm}$$
- $$b_e = 35 + 8(12) = 131 \text{ cm}$$
- Diambil yang terkecil, maka $b_e = 131 \text{ cm}$

- Menentukan faktor modifikasi (k)
Desain Beton Bertulang edisi keempat jilid 2 (Chu-Kia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{131}{35} - 1\right)x \left(\frac{15}{70}\right)}$$

$$k = 1,67$$

➤ Momen inersia penampang T (I_b)

$$I_b = k \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,67 \cdot \frac{35.70^3}{12}$$

$$I_b = 1673218,57 \text{ cm}^4$$

➤ Momen Inersia lajur plat (I_p)

$$I_p = \frac{b_p \cdot h_f^3}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5 \times (360+400) \times 12^3)}{12}$$

$$I_p = 54720 \text{ cm}^4$$

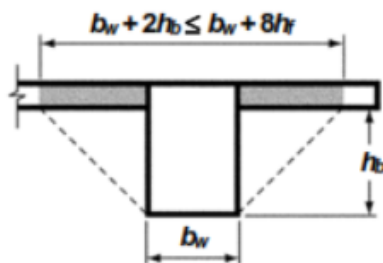
➤ Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_3 = \frac{1673218,57 \text{ cm}^4}{54720 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_3 = 30,58$$

➤ Tinjau balok as 2' (B-C)



$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$h_w = 40 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi tebal pelat (} h_f \text{)} = 12 \text{ cm}$$

$$hb = 28 \text{ cm}$$

➤ Menentukan lebar efektif flens

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$be = bw + 2hb \leq bw + 8hf$$

$$be = 20 + 2(28) = 76 \text{ cm}$$

$$be = 20 + 8(12) = 116 \text{ cm}$$

Diambil yang terkecil, maka $be = 76 \text{ cm}$

➤ Menentukan faktor modifikasi (k)

Desain Beton Bertulang edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{76}{20} - 1\right) x \left(\frac{12}{40}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{76}{20} - 1\right) x \left(\frac{12}{40}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{76}{20} - 1\right) x \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,75$$

➤ Momen inersia penampang T (I_b)

$$I_b = k \cdot \frac{bw \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,75 \cdot \frac{20 \cdot 35^3}{12}$$

$$I_b = 186313,28 \text{ cm}^4$$

➤ Momen Inersia lajur plat (I_p)

$$I_p = \frac{bp \cdot hf^3}{12}$$

$$I_p = \frac{(0,5 x (400 + 360) x 12^3)}{12}$$

$$I_p = 54720 \text{ cm}^4$$

➤ Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_4 = \frac{186313,28 \text{ cm}^4}{54720 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_4 = 3,405 \text{ cm}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai α_m :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{30,58 + 30,58 + 30,58 + 3,405}{4}$$

$$\alpha_m = 23,78$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3 (C) Untuk α_m lebih besar dari 2, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

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

$$= \frac{372,5 \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9(1,211)}$$

$$= 8,732 \text{ cm}$$

$$= 87,32 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm, maka direncanakan **tebal pelat = 120 mm**

4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Dalam perencanaan dimensi tangga terdapat data – data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi tangga dalam perencanaan struktur gedung Apartemen The Rosebay adalah sebagai berikut:

a. Data – data perencanaan:

- Mutu Tulangan (f_y) : 400 Mpa
- Kuat Tekan Beton (f_c') : 30 Mpa
- Lebar Tangga : 185 cm
- Tebal Pelat Anak Tangga : 15 cm
- Tebal Pelat Bordes : 15 cm

- Diameter Tul. Lentur : 13 mm
- Tebal Selimut Beton : 20 mm
- Lebar Injakan (i) : 30 cm
- Tinggi Injakan (t) : 16 cm
- Tinggi Tangga : 400 cm
- Tinggi Bordes : 208 cm
- Lebar Bordes : 150 cm
- Panjang datar Tangga : 360 cm

b. Perhitungan Perencanaan:

- Panjang miring tangga

$$\begin{aligned}
 L &= \sqrt{\text{tinggi bordes}^2 + \text{panjang tangga}^2} \\
 &= \sqrt{208^2 + 360^2} \\
 &= 415,77 \text{ cm} \\
 &= 4,16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}
 nt &= \frac{\text{tinggi bangunan}}{\text{tinggi tanjakan}} \\
 &= \frac{400}{16} \\
 &= 25 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 Ni &= nt - 1 \\
 &= 25 - 1 \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Sudut kemiringan

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{arc tan } \frac{t}{i} \\
 &= \text{arc tan } \frac{16}{30} \\
 &= 27,92^\circ
 \end{aligned}$$

- Syarat sudut kemiringan

$$\begin{aligned}
 25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\
 25^\circ &\leq 27,92^\circ \leq 40^\circ \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Tebal efektif pelat tangga

Dengan perbandingan luas pada segitiga:

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} x i x t = \frac{1}{2} x \left(\sqrt{i^2 + t^2} \right) x d$$

$$\frac{1}{2} x 30 x 16 = \frac{1}{2} x \left(\sqrt{30^2 + 16^2} \right) x d$$

$$240 = 17 x d$$

$$d = 14,12$$

$$\frac{1}{2} x d = 7,06 \text{ cm}$$

Maka tebal efektif tangga = tebal rencana + $\frac{1}{2} x d$

$$= 15 + 7,06$$

$$= 22,06 \text{ cm} \approx 22 \text{ cm}$$

4.2 Perhitungan Struktur

4.2.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

4.2.1.1 Pembebanan Pelat

a. Pembebanan Lantai 1

Beban dinding (beban merata pada sloof)

Bata Hebel Citicon

$$(600 \text{ kg/m}^3 \times 0,1 \text{ m} \times 4 \text{ m}) = 240 \text{ kg/m}$$

Plester D200

$$(20 \text{ kg/m}^3 \times 2 \times 4 \text{ m}) = 160 \text{ kg/m}$$

Acian NP S540

$$(3 \text{ kg/m}^3 \times 15 \times 4 \text{ m}) = 180 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total Beban Dinding} = 580 \text{ kg/m}$$

b. Pembebanan Lantai 2 – 4

- Beban Hidup

Ruang Tidur

$$(\text{SNI 1727-2013}) = 192 \text{ kg/m}^2$$

- Beban mati tambahan:

Cement tile (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 78,12 kg/m ²
Plaster on tile (ASCE7-16 Table C3.1)	= 24,41 kg/m ²
Acoustical fiber board (ASCE7-16 Table C3.1)	= 4,88 kg/m ²
Suspended Steel Channel System (ASCE7-16 Table C3.1)	= 9,76 kg/m ²
Mechanical Duct Allowance (ASCE7-16 Table C3.1)	= 19,53 kg/m ²
Instalasi listrik	= 30 kg/m ²
Perpipaan air bersih & kotor	= 25 kg/m ²
Total beban mati tambahan	= 191,70 kg/m ²

- **Beban Merata Dinding**

Bata Hebel Citicon (600 kg/m ³ x 0,1m x 4m)	= 240 kg/m
Plester D200 (20 kg/m ³ x 2 x 4m)	= 160 kg/m
Acian NP S540 (3 kg/m ³ x 15 x 4m)	= 180 kg/m
Total Beban Dinding	= 580 kg/m

c. **Pembebanan lantai atap**

- **Beban Hidup**

Beban Hidup Pekerja (SNI 1727-2013)	= 96 kg/m ²
--	------------------------

- **Beban Mati tambahan**

Acoustical fiber board (ASCE7-16 Table C3.1)	= 4,88 kg/m ²
Suspended Steel Channel System (ASCE7-16 Table C3.1)	= 9,76 kg/m ²

Mechanical Duct Allowance (ASCE7-16 Table C3.1)	= 19,53 kg/m ²
Instalasi listrik	= 30 kg/m ²
Perpipaan air bersih & kotor	= 25 kg/m ²
Waterproofing liquid applied (ASCE7-16 Table C3.1)	= 4,88 kg/m ²
Total beban mati tambahan	= 94,05 kg/m ²
• Beban Air Hujan (SNI 1727-2013 pasal 8.3)	
Beban Air Hujan	= 29,4 kg/m ²

4.2.1.2 Pembebanan Tangga dan Bordes

• Beban Hidup Tangga Tangga dan Bordes (SNI 1727-2013)	= 479 kg/m ²
• Beban mati tambahan	
Cement tile (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 78,12 kg/m ²
Plaster on tile (ASCE7-16 Table C3.1)	= 24,41 kg/m ²
Railing	= 10 kg/m ²
Total beban mati tambahan	= 112,53 kg/m ²

d. Pembebanan Bordes

• Beban hidup bordes Tangga dan Bordes (SNI 1727-2013)	= 479 kg/m ²
• Beban mati tambahan	
Cement tile (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 78,12 kg/m ²
Plaster on tile	

(ASCE7-16 Table C3.1)	= 24,41 kg/m ²
Railing	= 10 kg/m ²
Total beban mati tambahan	= 112,53 kg/m ²

4.2.1.3 Pembebanan Air Hujan

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

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

d_s = tinggi statis

d_h = tinggi hidrolis

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

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

4.2.1.4 Pembebanan Angin

Dalam perhitungan pembebanan angin menggunakan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Dalam peraturan tersebut beban angin didesain untuk bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari empat prosedur yaitu prosedur pengarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian, prosedur amplop untuk bangunan gedung bertingkat rendah, prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan gedung dan prosedur terowongan angin.

Berikut perhitungan pembebanan angin bangunan Apartemen The Rosebay Surabaya:

Data Perencanaan:

Fungsi bangunan : Apartemen

Tinggi bangunan : 16 m

Panjang bangunan : 40 m

Lebar bangunan : 17 m
 Tinggi tiap lantai : 4 m

Kategori bangunan gedung
 (Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2)

Termasuk bangunan gedung tertutup karena bangunan gedung tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan gedung terbuka dan tertutup sebagian

- (Sesuai SNI 1727:2013 pasal 25.2 dan 26.9.2)
 Termasuk bangunan kaku karena memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Penentuan Frekuensi

- Tinggi bangunan ≤ 91 m
 $16 \text{ m} \leq 91 \text{ m}$ (OK)
- Tinggi bangunan $\leq 4 \times L_{\text{eff}}$

$$L_{\text{eff}} = \frac{\sum h_i L_i}{\sum h_i} = \frac{640 \text{ m}^2}{16 \text{ m}} = 40 \text{ m}$$
- Maka, $16 \text{ m} \leq 4 \times 40 \text{ m}$
 $16 \text{ m} \leq 160 \text{ m}$ (OK)

Sehingga dapat dihitung sesuai dengan pasal 26.9.3 frekuensi alami perkiraan. Untuk beton bangunan rangka penahan momen

$$n_a = \frac{43,5}{h^{0,9}} = \frac{43,5}{16^{0,9}} = 3,59 \text{ Hz}$$

Maka, $n_a \geq 1 \text{ Hz}$
 $3,59 \text{ Hz} \geq 1 \text{ Hz}$ (OK)

Dari uraian di atas maka pembebanan angin pada bangunan gedung SPBAU menggunakan prosedur pengarah (lihat SNI 1727:2013 pasal 27).

Langkah – langkah untuk menentukan beban angin SPBAU untuk bangunan gedung tertutup

dengan prosedur pengarah (SNI 1727:2013 tabel 27.2-1).

- a) Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain
(SNI1727:2013 tabel 1.5-1)

Tabel 4. 1 Kategori Resiko Bangunan

Tabel 1.5-1 - Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin,Salju, Gempa^a, dan Es

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

Maka bangunan gedung termasuk dalam kategori resiko IV.

- b) Menentukan kecepatan angin dasar (V)
Sesuai dengan perkiraan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika di Sumenep .
 $V = 28 \text{ km/jam} = 7,78 \text{ m/s}$
- c) Menentukan faktor arah angin (SNI 1727:2013 tabel 26.6-1)
 $Kd = 0,85$

Tabel 4. 2 Faktor Arah Angin, K_d Tabel 26.6-1 - Faktor Arah Angin, K_d

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	0,95
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

- d) Kategori Eksposur (SNI 1727:2013 pasal 26.7)
Maka termasuk dalam eksposur B
- e) Faktor topografi (SNI 1727:2013 pasal 26.8.2)
 $K_{zt} = 1$
- f) Faktor efek tiupan angin (SNI 1727:2013 pasal 26.9.2)
Faktor efek tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil
 $G = 0,85$
- g) Koefisien tekanan internal
(SNI 1727:2013 tabel 26.11-1)

Tabel 4. 3 Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_p)
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

$$\text{Maka } GC_{pi} = + 0,18 \\ - 0,18$$

- h) Koefisien eksposur tekanan velositas
(SNI 1727:2013 tabel 27:3-1)

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

Tinggi bangunan (z) = 16 m

Interpolasi untuk mencari nilai K_h :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\frac{16 - 15,2}{18 - 15,2} = \frac{y - 0,81}{0,85 - 0,81}$$

$$\frac{0,8}{2,8} = \frac{y - 0,81}{0,04}$$

$$y = 0,82$$

$$K_h = 0,82$$

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.9.1

Eksposur B $\rightarrow \alpha = 7$

$z_g = 365,76$ m

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{a}}$$

$$K_z = 2,01 \left(\frac{16}{367,76} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$K_z = 0,82$$

Maka, $K_z = K_h = 0,82$ (karena atap datar)

i) Menentukan tekanan velositas

(SNI 1727:2013 pasal 27.3.2)

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0,613 \times 0,82 \times 1 \times 0,85 \times 7,78^2 \\ &= 25,86 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_h &= 0,613 \times K_h \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0,613 \times 0,82 \times 1 \times 0,85 \times 7,78^2 \\ &= 25,86 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

j) Menentukan koefisien tekanan eksternal (SNI 1727:2013 gambar 27,4-1 untuk dinding atap rata)

Tabel 4. 5 Koefisien Tekanan Dinding

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

Dinding di sisi angin datang (q_z)

$$C_p = 0,8$$

Dinding disisi angin pergi (q_h)

$$\frac{L}{B} = \frac{40 \text{ m}}{17 \text{ m}} = 2,35$$

$$C_p = -0,273$$

Dinding tepi (q_h)

$$C_p = -0,7$$

k) Tekanan angin pada setiap permukaan bangunan gedung kaku

(Sesuai dengan SNI 1727:2013 persamaan 27.4-1)

Dinding disisi angin datang

$$p = q \cdot G \cdot C_p - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 25,86 \times 0,85 \times 0,8 - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = 175,8 \text{ N/m}^2 = 17,58 \text{ kg/m}^2$$

Dinding disisi angin pergi

$$p = q \cdot G \cdot C_p - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 25,86 \times 0,85 \times -0,273 - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = -60 \text{ N/m}^2 = -6 \text{ kg/m}^2$$

Dinding tepi

$$p = q \cdot G \cdot C_p - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 25,86 \times 0,85 \times (-0,7) - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = -153,9 \text{ N/m}^2 = -15,39 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.5 Pembebanan Gempa

Berikut langkah-langkah dalam perhitungan:

1. Klasifikasi Situs

Sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.3 jenis kategori tanah dibedakan menjadi tanah keras, sedang, lunak dan khusus. Jenis tanah pada lokasi bangunan adalah tanah keras maka menggunakan perhitungan data SPT berikut ini:

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

Tabel 4. 6 Data SPT

Lapisan ke	Tebal Lapisan (di) (m)	Ni	di/Ni
1	2	13	0,15

2	2	11	0,18
3	2	15	0,13
4	2	22	0,09
5	2	19	0,11
6	2	11	0,18
7	2	14	0,14
8	2	10	0,2
9	2	21	0,1
10	2	23	0,09
11	2	29	0,07
12	2	33	0,06
13	2	37	0,05
14	2	43	0,05
15	2	42	0,05
16	2	37	0,05
17	2	44	0,05
18	2	49	0,04
19	2	40	0,05
20	2	50	0,04
Σ	40	563	1,88

Sehingga didapatkan nilai \bar{N} sebagai berikut:

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

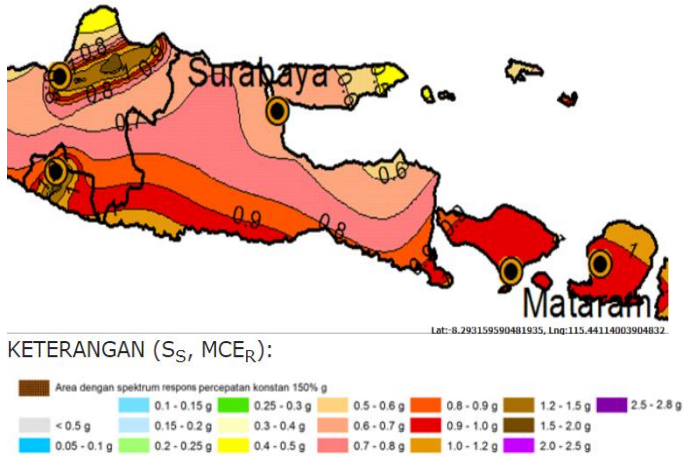
$$\bar{N} = \frac{40}{1,88}$$

$$\bar{N} = 21,28$$

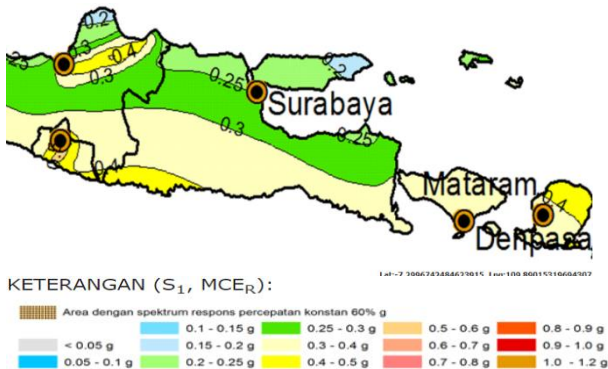
Sesuai SNI 1726:2012 Tabel 3, karena nilai $\bar{N} = 21,28$ maka termasuk dalam tanah sedang (SD) karena N memiliki nilai antara 15-50

2. Faktor Percepatan Batuan Dasar (S_s , S_1)

Nilai S_s dan S_1 didapat berdasarkan peta hazzard gempa Indonesia tahun 2010. Diketahui dari lokasi bangunan: Kota Sumenep.



Gambar 4. 1 Peta Hazard gempa Indonesia tahun 2010 (1)



Gambar 4. 2 Peta Hazard gempa Indonesia tahun 2010 (2)

$$S_1 = 0,15\text{ g}$$

3. Faktor Koefisien Situs (F_a , F_v) dan Parameter Respon (S_{ms}, S_{d1})

$S_s = 0,45$ g berada di antara $S_s < 0,25$ dan $S_s=0,5$ maka dilakukan interpolasi linier. (SNI 1726:2012 Tabel 4)

Maka $F_a = 1,44$

$S_1 = 0,15$ g berada di antara $S_1 \leq 0,1$ dan $S_1=0,2$, maka dilakukan interpolasi linier.

(SNI 1726:2012 Tabel 5)

Maka $F_v = 2,2$

Parameter Respon

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,44 \times 0,45 = 0,648 \text{ g}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.2)

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,2 \times 0,15 = 0,33 \text{ g}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.2)

4. Paramater percepatan spektral desain

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,648$$

$$S_{DS} = 0,432$$

(SNI 1726:2012 pasal 6.3)

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,33$$

$$S_{D1} = 0,22$$

(SNI 1726:2012 pasal 6.3)

5. Berat bangunan:

- Pada lantai 1

a. Beban mati

Berat sendiri kolom = dimensi kolom x tinggi x berat jenis beton x jumlah

$$= (0,5 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 24$$

$$= 28800 \text{ kg}$$

Berat sendiri sloof memanjang 8 meter = dimensi sloof x bentang x berat jenis beton x jumlah

$$= (0,3 \times 0,6) \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 20$$

$$= 69120 \text{ kg}$$

Berat sendiri sloof melintang 6,7 meter = dimensi sloof x bentang x berat jenis beton x jumlah

$$= (0,3 \times 0,6) \text{ m}^2 \times 6,7 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12$$

$$= 34732,8 \text{ kg}$$

Berat sendiri sloof melintang 3,6 meter = dimensi sloof x bentang x berat jenis beton x jumlah

$$= (0,3 \times 0,6) \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 6$$

$$= 9331,2 \text{ kg}$$

$$\text{Total Beban Mati} = 141984 \text{ kg}$$

b. Beban superdead

Berat dinding = panjang total dinding x berat dinding per meter)

$$= 347 \text{ m} \times (580 \text{ kg/m} : 2)$$

$$= 100630 \text{ kg}$$

Berat spesi + keramik = (luas bangunan - void tangga) x beban

$$= (720 \text{ m}^2 - 17,279 \text{ m}^2) \times 102,53 \text{ kg/m}^2$$

$$= 72049,98 \text{ kg}$$

$$\text{Total Beban Superdead} = 172680 \text{ kg}$$

• Pada lantai 2-4

a. Beban mati

Berat sendiri kolom = dimensi kolom x tinggi x berat jenis beton x jumlah

$$= (0,5 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 24$$

$$= 57600 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok induk memanjang 8 meter=

Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 20$$

$$= 94080 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok induk melintang 6,7 meter=

Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 6,7 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12$$

$$= 47275,2 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok induk melintang 3,6 meter=

Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 6$$

$$= 12700,8 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok anak memanjang 8 meter=

Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10$$

$$= 15360 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok anak melintang 6,7 meter=

Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 6,7 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10$$

$$= 12864 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok anak melintang = Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5$$

$$= 3456 \text{ kg}$$

Berat balok kantilever memanjang 4 meter= Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10$$

$$= 7680 \text{ kg}$$

Berat balok kantilever melintang 1 meter= Dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 18$$

$$= 3456 \text{ kg}$$

Berat sendiri pelat lantai = Dimensi x Berat Jenis
Beton x tebal

$$= 702,721 \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 0,12 \text{ m}$$

$$= 202383,6$$

Berat sendiri anak tangga = Dimensi x panjang x
Berat Jenis Beton x jumlah

$$= \left(\frac{1}{2} \times 0,3 \times 0,22\right) \text{ m}^2 \times 1,85 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 25$$

$$= 3663 \text{ kg}$$

Berat sendiri bordes = Dimensi x tebal x Berat Jenis
Beton

$$= (1,5 \times 4) \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 2160 \text{ kg}$$

$$\text{Total Beban Mati} = 462678,6 \text{ kg}$$

b. Beban Mati Tambahan

(luas bangunan + luas kantilever -void tangga) x
beban mati tambahan

$$= (680 \text{ m}^2 + 40 \text{ m}^2 - 17,23 \text{ m}^2) \times 191,70 \text{ kg/m}^2$$

$$= 134711,6 \text{ kg}$$

Berat dinding = panjang total dinding x berat dinding
per meter)

$$= 347 \text{ m} \times 580 \text{ kg/m}$$

$$= 201260 \text{ kg}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan} = 335971,6$$

c. Beban hidup

Apartemen = Beban x luas penampang pelat

$$= 192 \text{ kg/m}^2 \times 702,721 \text{ m}^2$$

$$= 134922,4 \text{ kg}$$

- Pada lantai atap

a. Beban mati

Berat sendiri kolom = dimensi kolom x tinggi x berat jenis beton x jumlah

$$= (0,5 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 24$$

$$= 28800 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok induk memanjang 8 meter = dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 20$$

$$= 94.080 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok induk melintang 6,7 meter = dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 6,7 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12$$

$$= 47275,2 \text{ kg}$$

Berat sendiri balok induk melintang 3,6 meter = dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 6$$

$$= 12700,8 \text{ kg}$$

Berat balok kantilever memanjang 4 meter = dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10$$

$$= 7680 \text{ kg}$$

Berat balok kantilever melintang 1 meter = dimensi x bentang x Berat Jenis Beton x jumlah

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 18$$

$$= 3456 \text{ kg}$$

$$\text{Total Beban Mati} = 362645 \text{ kg}$$

b. Beban Mati Tambahan

(luas bangunan + luas kantilever - void tangga) x beban mati tambahan

$$= (680 \text{ m}^2 + 40 \text{ m}^2 - 17,23 \text{ m}^2) \times 94,05 \text{ kg/m}^2$$

$$= 66090,91 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{panjang total dinding} \times \text{berat dinding} \\
 &\text{per meter)} \\
 &= 347 \text{ m} \times (580 \text{ kg/m} : 2) \\
 &= 100630 \text{ kg} \\
 \text{Total Beban Mati} &= 166720,91 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Atap} &= \text{Beban} \times \text{luas penampang pelat} \\
 &= 96 \text{ kg/m}^2 \times 702,721 \text{ m}^2 \\
 &= 67461,22 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6. Menentukan koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

$$S_{DS} = 0,43$$

$$S_{D1} = 0,22$$

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 14

S_{D1}	C_u
0,3	1,4
0,22	1,48
0,2	1,5

Maka $C_u = 1,48$

7. Mencari perioda fundamental pendekatan

$$T_a = C_t (h_n)^x$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1)

$$T_a = 0,0466 \cdot 16^{0,9}$$

$$T_a = 0,565 \text{ detik}$$

$$T_a < C_u.$$

$$0,565 < 1,48 \text{ (OK)}$$

8. Perhitungan koefisien respons seismik

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 1 dan 2 fungsi bangunan sebagai gedung Apartemen, maka termasuk dalam kategori resiko II

$$I_e = 1,0$$

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 9 menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah . $R = 5$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 22)

$$C_s = \frac{0,43}{\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$C_s = 0,086$$

Syarat:

$$C_s \leq \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 23)

$$0,086 \leq \frac{0,22}{0,565\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$0,086 \leq 0,12 \text{ (memenuhi)}$$

$$C_s \geq 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,001$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 24)

$$0,086 \geq 0,044 \cdot 0,43 \cdot 1,0 \geq 0,001$$

$$0,086 \geq 0,019 \geq 0,001 \text{ (memenuhi)}$$

Maka nilai C_s diambil 0,086

9. Geser dasar seismik bangunan

$$V = C_s \cdot W$$

$$V = 0,086 \cdot 2993009,28 \text{ kg}$$

$$V = 257398,8 \text{ kg}$$

10. Gaya Dasar Seismik per Lantai (F)

$$F_x = C_v \cdot V$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 30)

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

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 31)

K = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

T = 0,565 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 linier antara 1 dan 2

Maka, nilai K = 1,03

Gaya geser seismik per lantai adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Gaya Geser Seismik per Lantai (1)

Lantai	W _x (kg)	h ^k (m)	W _x · h ^k	W _x · h ^k / Σ (W _x · h ^k)	V (kg)	F _i (kg)
Lantai 1	314663,98	0	0	0	2908 22	0
Lantai 2	839126,99	4,17	3499044,64	0,11 163		32773,5
Lantai 3	839126,99	8,51	7145134,01	0,22 795		66924,28
741,96 7	839126,99	12,9	10848866,8	0,34 611		101614,9 8
Lantai atap	549604,31	17,4	9556386,71	0,31 432		89509,08
Σ	3381649,28		31049432,1			

Gaya gempa per lantai adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Gaya Geser Seismik per Lantai (2)

Lantai	hx (m)	F_i (kg)	Ex (kg)	Ey (kg)
Lantai 1	0	0	0	0
Lantai 2	4	32773,5	5462,25	8193,38
Lantai 3	8	66924,28	11154,05	16731,07
Lantai 4	12	101614,98	16935,83	25403,74
Lantai atap	16	89509,08	14918,18	22377,27

4.2.2 Penulangan Struktur

4.2.2.1 Pelat Lantai

a. Pelat Lantai

Pada Analisa perhitungan plat yang ditinjau adalah pada plat lantai 2 dengan ukuran 4 m x 3,6 m dengan fungsi ruang sebagai kamar.

Beban mati plat yang ditinjau:

Berat Sendiri Pelat (12cm) = 288 kg/m²

Cemen tile
(ASCE 7-16 Table C3.1) = 78,12 kg/m²

Plaster on tile
(ASCE 7-16 Table C3.1) = 24,41 kg/m²

Acoustical Fiber Board
(ASCE 7-16 Table C3.1) = 4,88 kg/m²

Suspended Steel Channel System
(ASCE 7-16 Table C3.1) = 9,76 kg/m²

Mechanical Duct Allowance
(ASCE 7-16 Table C3.1) = 19,53 kg/m²

Instalasi Listrik = 30 kg/m²

Perpipaan air bersih & kotor = 25 kg/m²

Total beban mati tambahan (qDL) = 479,70 kg/m²

Beban hidup yang ditinjau :

Ruang Tidur (SNI 1727-2013) = 192 kg/m²

Beban ultimate rencana

$$\begin{aligned} q_{\text{ultimate}} &= 1,2 q_{\text{Dtotal}} + 1,6 q_{\text{L}} \\ &= (1,2 \cdot 479,70 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 882,84 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Data perencanaan :

Tipe Pelat	= P2
L _x	= 3,25 m
L _y	= 3,73 m
f _c '	= 30 MPa
f _y	= 400 MPa
β ₁	= 0,85
(SNI 2847-2013, pasal 10.2.7.3)	
b	= 1000mm = 1 m
h	= 120 mm = 0,12 m
ρ _{susut}	= 0,0018
(SNI 2847, pasal 7.12.2.1)	
d _x	= 95 mm = 0,095 m
d _y	= 85 mm = 0,085 m
Øtul. lentur	= 10 mm = 0,01 m
Øtul. susut	= 10 mm = 0,01 m
decking	= 20 mm = 0,02 m

Asumsi jenis pelat: terjepit elastis

$$\begin{aligned} \frac{L_y}{L_x} &< 2 \\ \frac{3,73 \text{ m}}{3,07 \text{ m}} &< 2 \\ 1,146 &< 2 \end{aligned}$$

Sehingga termasuk dalam pelat 2 arah

(SNI 2847:2013, pasal 9.5.3)

Tabel 4. 9 Momen-momen pada Pelat (PBBI 1971 Tabel 13.3.1)

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																
		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	$M_{lx} = +0.001 q_u l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	123
	$M_{ly} = +0.001 q_u l_y^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	23
II	$M_{lx} = +0.001 q_u l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
	$M_{ly} = +0.001 q_u l_y^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
	$M_{lx} = -0.001 q_u l_x^2 X$	2	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
	$M_{ly} = -0.001 q_u l_y^2 X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 882,84 \text{ kg/m}^2 \times (3,25 \text{ m})^2 \times 26,85 \\
 &= 250,34 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 882,84 \text{ kg/m}^2 \times (3,25 \text{ m})^2 \times 62,23 \\
 &= 580,3 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 882,84 \text{ kg/m}^2 \times (3,25 \text{ m})^2 \times 54,92 \\
 &= 512,16 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 882,84 \text{ kg/m}^2 \times (3,25 \text{ m})^2 \times 21 \\
 &= 195,82 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

Penulangan pada pelat

1. Arah X

Tumpuan X

$$M_u = 5803017,675 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{5803017,675 \text{ N-mm}}{0,9} \\
 &= 6447797,417 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{6447797,417 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (95\text{mm})^2}$$

$$= 0,7144 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,7144 \frac{N}{\text{mm}^2})}{400 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0018$$

Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0018 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$\text{As perlu} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

$$S \text{ pasang} = 100 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As Pasang} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

2. Arah X

Lapangan X

$$M_u = 2503403,175 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2503403,175 \text{ N-mm}}{0,9}$$

$$= 2781559,083 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{2781559,083 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times 95\text{mm}^2} = 0,308 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,308 \frac{N}{mm^2})}{400 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right) \\ &= 0,000775\end{aligned}$$

Cek Persyaratan:

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &> 0,000775 < 0,0403 \\ &(\text{tidak memenuhi})\end{aligned}$$

Maka dipakai ρ_{\min}

As perlu = $\rho \times b \times d$

As perlu = $0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$

As perlu = $332,5 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}S_{\max} &\leq 2h \\ &\leq 2 \times 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

S pasang = $100 \text{ mm} < S_{\max}$ (memenuhi)

As Pasang $>$ As Perlu

$392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2$ (OK)

3. Arah Y

Tumpuan Y

$M_u = 5121575,55 \text{ N-mm}$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{5121575,55 \text{ N-mm}}{0,9} \\ &= 5690639,5 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{5690639,5 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} = 0,7876 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,7876 \frac{N}{mm^2})}{400 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right) \\ &= 0,0020\end{aligned}$$

Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0020 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$$

$$\text{As perlu} = 297,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

$$S_{\text{pasang}} = 100 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As Pasang} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

4. Arah Y

Lapangan Y

$$M_u = 1958249,475 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1958249,475 \text{ N-mm}}{0,9}$$

$$= 2175832,75 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{2175832,75 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,3012 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,3012 \frac{N}{mm^2})}{400 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right) \\ &= 0,0008\end{aligned}$$

Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0008 < 0,0403 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$, Maka dipakai ρ_{\min}

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$$

$$\text{As perlu} = 297,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

$$S_{\text{pasang}} = 100 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As Pasang} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 400 sehingga $\rho_{\text{susut}} = 0,0018$

$$\text{As susut perlu} = \rho_{\text{susut}} \times h \times b$$

$$= 0,0018 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

(SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{As \text{ puntir}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2} \\
 &= 363,42 \text{ mm} \\
 S &= 363,42 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 450 \text{ mm} \\
 &\longrightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan yang dipakai } &\text{Ø}10\text{-}200 \text{ mm} \\
 \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2 > \text{As susut} = 216 \text{ mm}^2 \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Rekap Penulang Pelat Lantai

Rekap Penulangan Pelat Lantai		
Letak	Diameter	Jarak
Tulangan Arah X (Lapangan)	Ø10	200
Tulangan Arah Y (Lapangan)	Ø10	200
Tulangan Arah X (Tumpuan)	Ø10	200
Tulangan Arah Y (Tumpuan)	Ø10	200

4.2.2.2 Pelat Lantai 1 Arah

Pada analisa perhitungan pelat yang ditinjau adalah pada pelat lantai 2 dengan ukuran 4x1 m dengan fungsi ruang sebagai balkon.

1. Beban mati yang ditinjau:
 Berat Sendiri Pelat (12cm) = 288 kg/m²

Cement tile (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 78,12 kg/m ²
Plaster on tile (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 24,41 kg/m ²
Acoustical Fiber Board (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 4,88 kg/m ²
Suspended Steel Channel System (ASCE 7-16 Table C3.1)	= 9,76 kg/m ²
Instalasi Listrik	= 30 kg/m ²
Total beban mati (qDL)	= 435,17 kg/m ²
2. Beban hidup yang ditinjau:	
Balkon dan dek	= 144 kg/m ²
3. Beban Ultimate rencana:	
q _{ultimate}	= 1,2 qD total + 1,6 qL
	= (1,2 · 435,17 kg/m ² + 1,6 · 144 kg/m ²)
	= 806,04 kg/m ²

Perhitungan Tulangan Pelat Atap

Data Perencanaan:

Tipe Pelat	= P4
L _x	= 1,68 m
L _y	= 4 m
F _c '	= 30 MPa
F _y	= 400 MPa
β ₁	= 0,85
(SNI 2847-2013, pasal 10.2.7.3)	
b	= 1000mm = 1 m
h	= 120 mm = 0,12 m
ρ _{susut}	= 0,0018
(SNI 2847, pasal 7.12.2.1)	
d _x	= 95 mm = 0,095 m
d _y	= 85 mm = 0,085 m
Øtul. lentur	= 10 mm = 0,01 m

$$\begin{aligned}\text{\textcircled{Ø}tul. susut} &= 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m} \\ \text{decking} &= 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\frac{Ly}{Lx} < 2$$

$$\frac{4}{1,68} < 2$$

2,801 > 2 , sehingga termasuk dalam pelat 1 arah

Momen-momen pada pelat:

$$\begin{aligned}M_{\text{lapangan x}} &= \frac{1}{14} \times q_{LX} \times X^2 \\ &= \frac{1}{14} \times 806,04 \times 1,3^2 \\ &= 101,84 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\text{tumpuan x kiri}} &= \frac{1}{24} \times q_{LX} \times X^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 806,04 \times 1,3^2 \\ &= 59,409 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\text{tumpuan x kanan}} &= \frac{1}{9} \times q_{LX} \times X^2 \\ &= \frac{1}{9} \times 806,04 \times 1,3^2 \\ &= 158,42 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

1. Arah X

Lapangan X

$$M_u = 1018431,54 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{1018431,54 \text{ N-mm}}{0,9} \\ &= 1131590,6 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{bd_x \cdot 2} = \frac{1131590,6 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (95\text{mm})^2} \\ &= 0,125 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,125 \frac{N}{mm^2})}{400 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0003$$

Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0003 < 0,0243 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$\text{As perlu} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

$$S \text{ pasang} = 100 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As Pasang} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

2. Arah X

Tumpuan Kiri

$$M_u = 594085,065 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{594085,065 \text{ N-mm}}{0,9}$$

$$= 660094,52 \text{ N-mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{660094,52 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,0731 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,0731 \frac{N}{mm^2})}{400 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0002$$

Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0002 < 0,0243 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$\text{As perlu} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

$$S \text{ pasang} = 100 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As Pasang} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

3. Arah X

Tumpuan Kanan

$$M_u = 158,422 \text{ N-mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{158,422 \text{ N-mm}}{0,9}$$

$$= 1760252,044 \text{ N-mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{1760252,044 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,195 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times (0,195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0008$$

Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0008 < 0,0243 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$\text{As perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$\text{As perlu} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 200$

$$S \text{ pasang} = 100 \text{ mm} < S_{\max} \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As Pasang} > \text{As Perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 400 sehingga $\rho_{\text{susut}} = 0,0018$.

$$\begin{aligned} \text{As susut perlu} &= \rho_{\text{susut}} \times h \times b \\ &= 0,0018 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{\text{As susut}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2} \\ &= 363,42 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 363,42 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$\longrightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S \text{ pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 216 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Tipe Pelat	Momen yang Terjadi (kg/m)							
	SAP 2000 V.14				Koef. Momen PBI 1971			
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Pelat Tipe 1 (4 m x 3,35m)	569.62	474.36	281.41	202.18	557.61	469.38	245.89	175.3
Pelat Tipe 2 (4 m x 3,6 m)	657.41	604.32	289.47	238.007	580.3	512.16	250.34	195.82
Pelat Tipe 3 (4 m x 1,68 m)	198.45	Pelat satu arah	103.56	Pelat satu arah	173.52	Pelat satu arah	111.55	Pelat satu arah
Pelat Tipe 4 (4 m x 1 m)	58.96	Pelat satu arah	30.31	Pelat satu arah	43.95	Pelat satu arah	28.26	Pelat satu arah
Pelat Tipe 6 (8 m x 6,7 m)	2461.23	2169.44	1100.63	795.71	2338.8	1977.9	1029.2	740.47
Pelat Tipe 7 (8 m x 3,6 m)	945.64	Pelat satu arah	471.47	Pelat satu arah	1026.3	Pelat satu arah	659.75	Pelat satu arah

Gambar 4. 3 Hasil Perbandingan PBI dan SAP2000

4.2.2.3 Pelat Tangga dan Bordes

- Pelat Tangga

Tangga 1

Data perencanaan:

Tipe pelat : Pelat Tangga

Mutu beton (f_c') : 30 MPa

Mutu baja (f_y) : 400 MPa

\emptyset tulangan lentur : 13 mm

Decking : 20 mm

b : 1000 mm

β_1 : 0,8

(SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3)

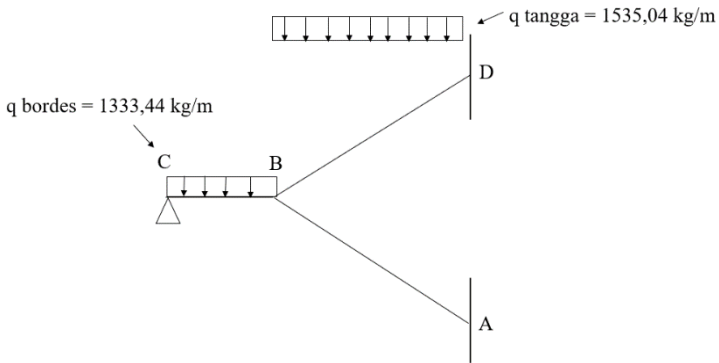
Faktor reduksi : 0,9

(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.7)

Tebal plat tangga : 150 mm

Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Untuk menghitung gaya-gaya yang terjadi pada pelat tangga dan bordes, maka digunakan penyelesaian dengan cara cross / distribusi momen:



Gambar 4. 4 Beban yang Terjadi pada Pelat Tangga dan Bordes

Penyelesaian untuk cross/distribusi momen:

$L = 416 \text{ cm}$

$$\mu_{AB} = \mu_{DB} : \frac{\frac{4EI}{L}}{\frac{4EI}{L} + \frac{4EI}{L} + \frac{3EI}{L}} = \frac{\frac{4EI}{4,16}}{\frac{4EI}{4,16} + \frac{4EI}{4,16} + \frac{3EI}{4,16}}$$

$$: 0,245$$

$$\mu_{BC} : \frac{\frac{3EI}{4,16}}{\frac{4EI}{L} + \frac{4EI}{L} + \frac{3EI}{L}} = \frac{\frac{3EI}{4,16}}{\frac{4EI}{4,16} + \frac{4EI}{4,16} + \frac{3EI}{4,16}}$$

$$: 0,51$$

Kontrol : $0,245 + 0,51 + 0,245 : 1 \text{ (OK)}$

Momen primer yang terjadi:

$$\text{MF AB} = \frac{1}{12} \cdot q_{\text{tangga}} \cos \alpha L^2$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 1535,04 \text{ kg/m} \cos (27,92^\circ) \cdot (4,16 \text{ m})^2$$






$$= 1956,054 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 MF_{BA} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{\text{tangga}} \cos \alpha L^2 \\
 &= -\frac{1}{12} \cdot 1535,04 \text{ kg/m} \cos (27,92^\circ) \cdot (4,16 \text{ m})^2 \\
 &= -1956,054 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MF_{BC} &= \frac{1}{12} \cdot q_{\text{tangga}} L^2 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 1333,44 \text{ kg/m} \cdot (1,5 \text{ m})^2 \\
 &= 375,03 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MF_{CB} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{\text{tangga}} \cos \alpha L^2 \\
 &= -\frac{1}{12} \cdot 1333,44 \text{ kg/m} \cdot (1,5 \text{ m})^2 \\
 &= -375,03 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 11 Perhitungan Momen dengan Metode Cross

TITIK	A	B			C	D
BATANG	AB	BA	BC	BD	CB	DB
FD	0	-0.2451	-0.5098	-0.2451	0	0
MF	1956.054	-1956.05	375.0289	-1956.05	0	1956.054
MD	0	866.931	1803.217	866.931	0	0
MI	433.4655	0	0	0	0	433.4655
MD	0	0	0	0	0	0
MAKHIR	2389.519	-1089.12	2178.245	-1089.12	0	2389.519
ARAH MOMEN						

$$\text{Kontrol, } \sum M_B = 0$$

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

$$-1089,12 \text{ kg.m} + 2178,245 \text{ kg.m} - 1089,12 \text{ kg.m} = 0$$

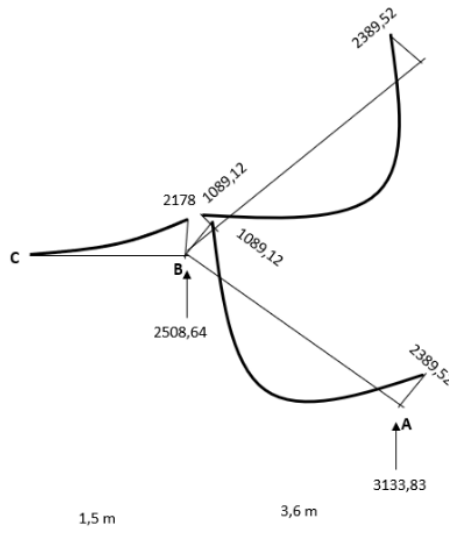
$$0 = 0 \text{ (OK)}$$

Maka, gaya yang terjadi pada batang AB adalah

$$L = 4,16 \text{ m}$$

$$\sum MA = 0$$

$$\begin{aligned}
 0 &= M_{BA} - V_B \cdot L_{AB} + 1/2 \cdot q_{AB} \cdot L_{AB}^2 - M_{AB} \\
 V_b &= 2508,64 \text{ kg} \\
 \sum MB &= 0 \\
 0 &= M_{AB} + V_B \cdot L_{AB} - 1/2 \cdot q_{AB} \cdot L_{AB}^2 - M_{BA} \\
 V_a &= 3133,83 \text{ kg} \\
 \sum V &= 0 \\
 0 &= V_a - q_{AB} \cdot L_{AB} + V_B \\
 &= 0
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 5 Momen yang terjadi pada tangga

Momen maksimum yang terjadi pada gaya lintang $D=0$ pada jarak x , sehingga:

$$\begin{aligned}
 Dx &= 0 \\
 3134 \text{ kg} - 1356 \text{ kg.m} \cdot x \text{ m} &= 0 \\
 X &= 2,31 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Maka untuk momen maksimum yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= V_a \cdot x - 0,5 \cdot q \cdot x^2 - M_{AB} \\ &= 1230,78 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

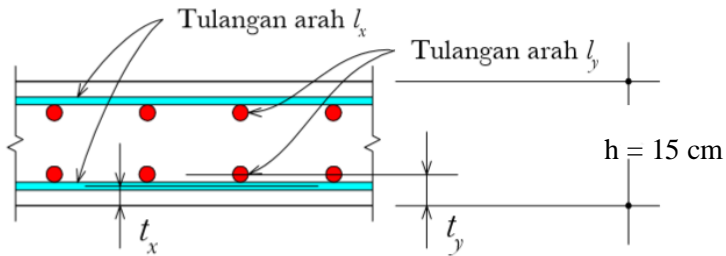
Sehingga didapatkan:

$$\text{Momen pelat tangga} = 2389,52 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momen bordes} = 2178 \text{ kg.m}$$

Penulangan Plat Tangga

Tinggi Efektif Pelat



$$\begin{aligned} dx &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0306 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,02295$$

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

$$M_u = 2389,5 \text{ Kg-m}$$

$$M_u = 23895000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{23895000 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$\begin{aligned}
 &= 26550214 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{26550214 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} (123,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,74 \text{ N/mm}^2 \\
 P_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times 1,74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\
 &= 0,0045
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}} \\
 0,0035 < 0,0045 < 0,0229 \text{ (TIDAK OK)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0045 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 124 \text{ mm} \\
 &= 557,17 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq 2h \\
 &\leq 2 \times 150 \text{ mm} \\
 &\leq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)

Tulangan yang dipakai $\emptyset 13 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.5.1)

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &< A_{S_{\text{pakai}}} \\
 557,17 \text{ mm}^2 &< 663,66 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

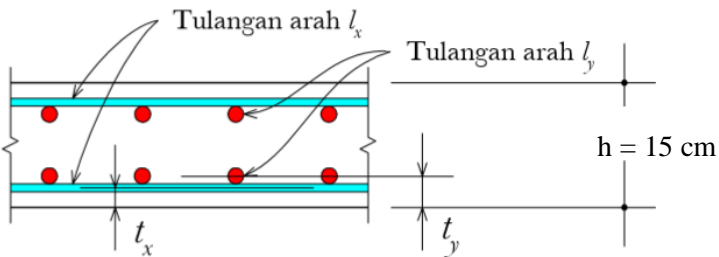
Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

20% x Tulangan Utama (As pakai) = $0,2 \times 557,17 \text{ mm}^2 = 132,73 \text{ mm}^2$

Sehingga dipakai D8-200 = $251,33 \text{ mm}^2$

Penulangan Pelat Bordes

Tinggi Efektif Pelat



$$\begin{aligned} d_y &= t - \text{decking} - \phi_{\text{tulangan}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

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

$$M_u = 2178,2 \text{ Kg-m}$$

$$M_u = 21782000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{21782000 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 24202727,1 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{24202727,1 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} (123,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,59 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,69 \times 1,59 \frac{N}{\text{mm}^2}}{400 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\
 &= 0,0041
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0035 < 0,0041 < 0,0229$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0041 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123,5 \text{ mm} \\
 &= 506,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq 2h \\
 &\leq 2 \times 150 \text{ mm} \\
 &\leq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)

Tulangan yang dipakai $\emptyset 13 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}^2} \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal 10.5.1)

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &< A_{S_{\text{pakai}}} \\
 506,21 \text{ mm}^2 &< 663,66 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

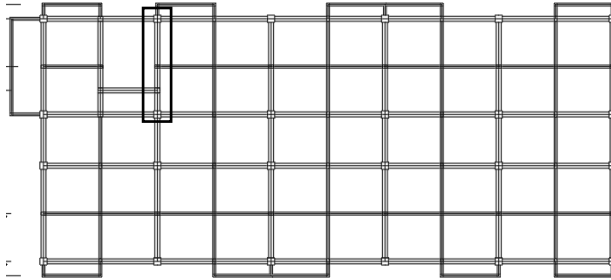
$$20\% \times \text{Tulangan Utama } (A_s \text{ pakai}) = 0,2 \times 557,17 \text{ mm}^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai D8-200 = 251,33 mm²

4.2.2.4 Struktur Balok

1. Balok Induk

Berikut ini adalah data perencanaan balok induk (35/70) berdasarkan gambar denah pemalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari Analisa SAP2000 selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar 4. 6 Denah Balok yang Ditinjau

Data-data perencanaan:

- | | |
|---|-----------|
| a. Tipe balok | = BI |
| b. Bentang balok (L) | = 6700 mm |
| c. Dimensi balok (B_{balok}) | = 350 mm |
| d. Dimensi balok (H_{balok}) | = 700 mm |
| e. Mutu Beton (f_c') | = 30 MPa |
| f. Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | = 400 MPa |
| g. Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) | = 240 MPa |
| h. Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | = 240 MPa |
| i. Diameter tulangan lentur (D) | = 25 mm |
| j. Diameter tulangan geser (\emptyset) | = 10 mm |
| k. Diameter tulangan puntir (D) | = 10 mm |
| l. Spasi antar tulangan sejajar
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | = 25 mm |

- m. Tebal selimut beton (decking)
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c)) = 40 mm
- n. Faktor β_1
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3) = 0,85
- o. Faktor reduksi kekuatan lentur
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1) = 0,9
- p. Faktor reduksi kekuatan geser
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3) = 0,75
- q. Faktor reduksi kekuatan torsi
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3) = 0,75

Perhitungan Tulangan Balok:

➤ Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} dx &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2}\phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 25 \text{ mm} \\ &= 637,5 \text{ mm} \\ d'' &= h - d \\ &= 700 \text{ mm} - 637,5 \text{ mm} \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil Output SAP2000

Setelah dilakukan Analisa menggunakan program bantu struktur SAP2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam pada frame 200. Hasil dari program bantu struktur SAP2000 dapat digunakan pada proses perhitungan kg-m penulangan balok.

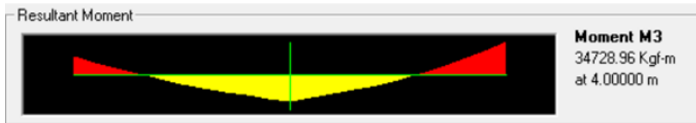
➤ Hasil Output Torsi



Gambar 4. 7 Output Torsi Balok Balok BI

Kombinasi : $0,9D+1EX+0.3EY$
 Momen Puntir : $-2659,68 \text{ kg-m}$

➤ Hasil Output Momen Lentur



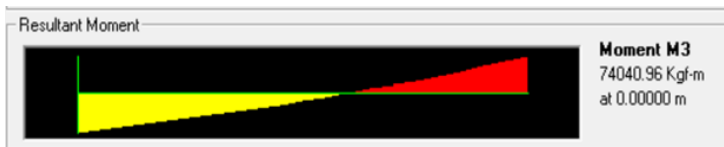
Gambar 4. 8 Output Momen Lapangan Balok BI

Kombinasi : $1,2D+1EX+1L+0.3EY$
 Momen Lentur Lapangan : $34728,96 \text{ kg-m}$



Gambar 4. 9 Output Momen Tumpuan Kanan Balok BI

Kombinasi : $0,9D+1EX+0.3EY$
 Momen Lentur Tumpuan : $-71626,49 \text{ kg-m}$



Gambar 4. 10 Output Momen Tumpuan Kiri Balok BI

Kombinasi : $0,9D+1EX+0.3EY$
 Momen Lentur Tumpuan : $74040,96 \text{ kg-m}$

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton:

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 350 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 245000 \text{ mm}^2$$

Parameter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 \text{ mm} + 700 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2100 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})$$

$$A_{oh} = (350 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 158600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(350 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1740 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan hasil Analisa struktur SAP2000 diperoleh momen puntir sebesar

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 26596800 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{26596800 \text{ Nmm}}{0,75} = 35462400 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor **Tu** besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.1 (a))

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{245000^2}{2100} \right)$$

$$= 9745695,931 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal **Tu** dapat diambil sebesar:

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 (a))

$$= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{245000^2}{2100} \right)$$

$$= 3874794,768 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh momen puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$T_u > T_u \text{ min}$

$35462400 \text{ Nmm} > 9745695,931 \text{ Nmm}$ (tulangan puntir diperlukan)

➤ Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **(SNI 03-2847 pasal 11.5.3.7)** direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2$$

Dengan At/s dihitung sesuai dengan (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6) berasal dari persamaan berikut

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

$$\begin{aligned} \text{Dengan } Ao &= 0,85 \times Aoh \\ &= 0,85 \times 158600 \text{ mm}^2 \\ &= 134810 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \cdot Ao \cdot Fyt \cdot Cot \phi} \\ \frac{At}{s} &= \frac{35462400 \text{ Nmm}}{2 \cdot 134810 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Nmm} \cdot Cot 45} \\ \frac{At}{s} &= 0,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned} Al &= \frac{At}{s} \times Poh \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \times cot^2 \phi \\ Al &= 0,55 \text{ mm} \times 1740 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times cot^2 45 \\ Al &= 572,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3) tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan:

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &\geq \frac{0,175 \times bw}{Fyt} \\ 0,55 \text{ mm} &\geq \frac{0,175 \times 300 \text{ mm}}{240} \end{aligned}$$

$$0,55 \text{ mm} \geq 0,255 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil = 0,55 mm

Cek nilai Al min dengan persamaan:

$$\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times Acp}{Fy} - \frac{At}{s} \times Poh \times \left(\frac{Fyt}{Fy}\right)$$

Maka nilai Al min :

$$\frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 245000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 0,55 \times 1740 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$

$$Al_{\min} = 455,44 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan Al dengan 2 kondisi yakni

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\min}$ maka menggunakan Al_{\min}

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\min}$ maka menggunakan Al_{perlu}

Maka:

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\min}$

$$572,14 \text{ mm}^2 \geq 455,44 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al_{perlu} sebesar $572,14 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga:

$$\frac{At}{4} = \frac{572,14 \text{ mm}^2}{4} = 143,04 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya:

a. Pada sisi atas: disalurkan pada tulangan tarik balok

b. Pada sisi bawah: disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka pada masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $286,08 \text{ mm}^2$. Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{At}{4} = 286,08 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{At}{\text{luas tulangan}} = \frac{286,08 \text{ mm}^2}{0,25\pi 10 \text{ mm}^2}$$

$$n = 3,64 = 4 \text{ buah}$$

Kontrol Al pasang $>$ Al perlu

$$Al_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luas D puntir}$$

$$= 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi (10^2)\right)$$

$$= 314,16 \text{ mm}^2$$

Maka = Alpasang > Alperlu

$$= 314,16 \text{ mm}^2 > 286,07 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, kanan dan lapangan dipasang sebesar $4\phi 10$.

Perhitungan Tulangan Lentur

Garis Netral dalam kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600+f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600+400} \times 637,5 \text{ mm} \\ &= 382,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 376,8 \text{ mm} \\ &= 286,875 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d'' \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 125 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 125 \text{ mm}$$

$$C_c' = 948281,25 \text{ N}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{f_y} = \frac{948281,25 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}}$$

$$= 2370,703 \text{ mm}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2370,703 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(637,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 125 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 554151855,5 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

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

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

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0325$$

$$= 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 30}$$

$$= 15,686$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 0,9D+1EX+0,3 EY .

$$M_u = 716264900 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{716264900 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 795849889 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 795849889 \text{ Nmm} - 554151855 \text{ Nmm}$$

$$Mns = 241698033 \text{ Nmm}$$

$$Mns > 0$$

Sehingga perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur rangkap.

Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{795849889 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (637,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 5,595 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 5,595}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,0160$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,0160 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$Cs' = T2 = \frac{Mn - Mnc}{(d - d'')}$$

$$= \frac{795849889 \text{ mm}^2 - 554151855,5 \text{ mm}^2}{(637,5 - 62,5)}$$

$$= 420344 \text{ N}$$

$$fs' = \left(1 - \frac{d''}{x} \right) \cdot 600$$

$$= \left(1 - \frac{62,5}{125} \right) \cdot 600$$

$$= 300 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} = \text{tidak leleh sehingga}$$

digunakan nilai fs'

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \frac{C_s t}{f_s' - 0,85 f_{c t}} \\
 &= \frac{420344 \text{ N}}{300 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}} \\
 &= 1531,31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Tarik Tambahan

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{420344 \text{ N}}{400 \text{ MPa}} = 1050,86 \text{ mm}^2$$

Tulangan Tarik Perlu:

$$A_{sc} = 2370,7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_{sc} + A_{ss} \\
 &= 2370,7 \text{ mm}^2 + 1050,86 \text{ mm}^2 \\
 &= 3421,56 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\
 &= 3421,56 \text{ mm}^2 + 143,04 \text{ mm}^2 \\
 &= 3564,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25)^2 \\
 &= 490,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D25 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{luas tulangan}} \\
 &= \frac{3564,6 \text{ mm}^2}{490,63 \text{ mm}^2} \\
 &= 7,26 = 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 8-D25

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tulangan tarik}}} \\
 &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2
 \end{aligned}$$

$$= 3926,99 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$A_{S\text{pasang}} \geq A_{S\text{perlu}}$$

$$3926,99 \text{ mm}^2 \geq 3564,6 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (8 \times 25 \text{ mm})}{8 - 1} \\ &= 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$7 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \text{ (susun 2 lapis)}$$

Lapis 1 = 4 buah tulangan

Lapis 2 = 4 buah tulangan

Luasan tulangan tekan perlu:

$$A_{s'} = 1531,31 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\ &= 1531,31 \text{ mm}^2 + 143,04 \text{ mm}^2 \\ &= 1674,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan}} \\ &= \frac{1674,34}{490,87} \\ &= 3,4 \text{ buah} \\ &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 4-D25

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= n \times A_s \text{ tulangan tekan} \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 1963,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\
 1963,5 \text{ mm}^2 &> 1674,34 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 25 \text{ mm})}{4 - 1} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$50 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk untuk daerah tumpuan

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4-D25

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$\bullet M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 8-D25

$$A_s \text{ pasang} = n \times A_s \text{ tulangan Tarik}$$

$$= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2$$

$$= 3926,99 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan 4-D25

$$As' \text{ pasang} = n \times As \text{ tulangan tekan}$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2$$

$$= 1963,5 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 3926,99 \text{ mm}^2$$

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq 1309 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$As_{\text{pasang}} \text{ tulangan tarik 8-D25} = 3926,99 \text{ mm}^2$$

$$Mn = (0,85 f_c' \beta_1 \times b \left(d - \frac{\beta_1 \times x}{2} \right) + As' f_s' (d-d''))$$

$$= (0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 125 \cdot 350 \left(637,5 - \frac{0,85 \cdot 125}{2} \right) +$$

$$1531,31 \cdot 300 (637,5-62,5))$$

$$= 892854813,4 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

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

$$892854813,4 \text{ Nmm} > 795849889 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk 35/70 dengan bentang 6,7 m untuk daerah tumpuan kiri adalah :

$$\text{Tulangan lentur Tarik 2 lapis} = 8\text{-D25}$$

$$\text{Tulangan lentur tekan 1 lapis} = 4\text{-D25}$$

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 0,9D+1EX+0,3 EY .

$$Mu = 740409600 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{740409600 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 822677333 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 822677333 \text{ Nmm} - 554151855 \text{ Nmm}$$

$$Mns = 268525478 \text{ Nmm}$$

$$Mns > 0$$

Sehingga perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur rangkap.

Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{822677333 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (637,5 \text{ mm})^2} \\ &= 5,784 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 5,784}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0166 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$0,0035 < 0,0166 < 0,0243$ (memenuhi)

$$\begin{aligned} C_s' = T_2 &= \frac{Mn - Mnc}{(d - d'')} \\ &= \frac{822677333 \text{ mm}^2 - 554151855,5 \text{ mm}^2}{(637,5 - 62,5)} \\ &= 467000,83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \left(1 - \frac{d''}{x}\right) \cdot 600 \\ &= \left(1 - \frac{62,5}{125}\right) \cdot 600 \\ &= 300 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} = \text{tidak leleh sehingga} \\ &\quad \text{digunakan nilai } f_s' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85 f_{c'}} \\ &= \frac{467000,83 \text{ N}}{300 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}} \\ &= 1701,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Tarik Tambahan

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{467000,83 \text{ N}}{400 \text{ MPa}} = 1167,5 \text{ mm}^2$$

Tulangan Tarik Perlu:

$$A_{sc} = 2370,7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_{sc} + A_{ss} \\ &= 2370,7 \text{ mm}^2 + 1167,5 \text{ mm}^2 \\ &= 3538,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\ &= 3538,2 \text{ mm}^2 + 143,04 \text{ mm}^2 \\ &= 3681,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25)^2 \\ &= 490,63 \text{ mm}^2 \text{ Jumlah tulangan Tarik} \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{luas tulangan}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3681,24 \text{ mm}^2}{490,63 \text{ mm}^2} \\
 &= 7,49 = 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 8-D25

$$\begin{aligned}
 A_{\text{spasang}} &= n \times A_{\text{Stulangan tarik}} \\
 &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 3926,99 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}
 A_{\text{spasang}} &\geq A_{\text{Sperlu}} \\
 3926,99 \text{ mm}^2 &\geq 3538,2 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 \text{Smaks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (8 \times 25 \text{ mm})}{8 - 1} \\
 &= 7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar}$$

$$7 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \text{ (susun 2 lapis)}$$

$$\text{Lapis 1} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Lapis 2} = 4 \text{ buah}$$

Luasan pasang (A_s') Tulangan Lentur Tekan

$$A_s' = 1701,28 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Sperlu}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\
 &= 1701,28 \text{ mm}^2 + 143,04 \text{ mm}^2 \\
 &= 1844,31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1844,31}{490,87} \\
 &= 3,76 \text{ buah} \\
 &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 4-D25

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &= n \times As \text{ tulangan tekan} \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 1963,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

$1963,5 \text{ mm}^2 > 1323,09 \text{ mm}^2$ (OK)

Kontrol tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 Smaks &= \frac{b - (2 \times decking) - (2 \times \emptyset geser) - (\text{jumlah tul.} \times D \text{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 25 \text{ mm})}{4 - 1} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$Smaks \geq S$ sejajar

$50 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok induk untuk daerah tumpuan kiri yaitu:

Tulangan Lentur tarik susun 2 lapis = 8-D25

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 4-D25

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak

boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 8-D25

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 3926,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 4-D25

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \times \text{As tulangan tekan} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 3926,99 \text{ mm}^2$$

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq 1309 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As}_{\text{pasang}} \text{ tulangan tarik 8-D25} = 3926,99 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_n &= (0,85 f_c' \beta_1 \times b \left(d - \frac{\beta_1 \times x}{2} \right) + \text{As}' f_s' (d-d'')) \\ &= (0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 125 \cdot 350 \left(637,5 - \frac{0,85 \cdot 125}{2} \right) + \\ &\quad 1701,28 \cdot 300 (637,5-62,5)) \\ &= 892854813,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

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

$$892854813,4 \text{ Nmm} > 822677333 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk 35/70 dengan bentang 6,7 m untuk daerah tumpuan kiri adalah :

Tulangan lentur Tarik 2 lapis = 8-D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 4-D25

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok induk menggunakan momen terbesar.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 347289600 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{347289600 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 385877333 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 385877333 \text{ Nmm} - 554151855 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -168274522 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{385877333 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (637,5 \text{ mm})^2} \\ &= 2,713 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 2,713}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0093\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

0,0035 > 0,0093 < 0,0243 (memenuhi)

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0093 \times 350 \times 637,5 \\ &= 2084,73 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}A_{S\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 2084,73 \text{ mm}^2 + 143,04 \text{ mm}^2 \\ &= 2227,77 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D25 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{2227,77 \text{ mm}^2}{490,873 \text{ mm}^2} \\ &= 4,54 = 5 \text{ buah}\end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 5-D25

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 2455,36 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 2455,36 \text{ mm}^2 &\geq 2227,77 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s &= 0,3 \times A_s \text{ perlu} \\ &= 0,3 \times 2227,77 \text{ mm}^2 \\ &= 668,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 668,33 + 143,04 \\ &= 811,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{811,37 \text{ mm}^2}{490,874 \text{ mm}^2} \\ &= 1,65 = 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 2-D25

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \times A_{s\text{tulangan tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 982,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &\geq A_s' \text{ perlu} \\ 982,14 \text{ mm}^2 &\geq 811,37 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun lebih dari Satu}$$

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (5 \times 25 \text{ mm})}{5 - 1} \\ &= 31,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

$31,25 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul. } x \text{ Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 25 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

$200 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok induk 35/70 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis : 5-D25

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 2-D25

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 5-D25

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{pasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 2455,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 2-D25

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{pasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 982,14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$982,14 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 2455,36 \text{ mm}^2$$

$$982,14 \text{ mm}^2 \geq 818,45 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah lapangan dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 5-D25

Tulangan tekan : 2-D25

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s\text{pasang}} \text{ tulangan tarik } 5\text{-D}25 = 2455,36 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{2455,36 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 400 \text{ mm}} \\
 &= 110,04 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = (A_s \cdot f_y \times (d - \frac{a}{2}))$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (2455,36 \times 400 \times (637,5 - \frac{110}{2})) \text{ Nmm} \\
 &= 572076598 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}}$$

$$572076598 \text{ Nmm} > 385877333 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk 35/70 dengan bentang 8m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis : 5-D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 2-D25

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut

As pakai tulangan tarik 8-D25 = 3928,57 mm²

As pakai tulangan tekan 4-D25 = 1963,5 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{3928,57 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 350 \text{ mm}} \\ &= 176,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 3928,57 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(637,5 \text{ mm} - \frac{176,07 \text{ mm}}{2}\right) \\ &= 863444664 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

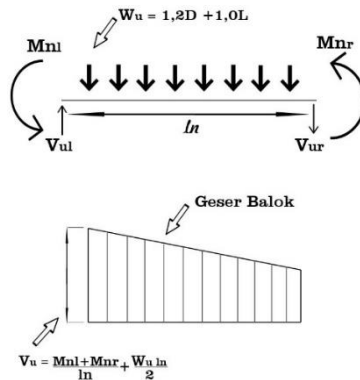
As pakai tulangan tarik 8-D25 : 3926,99 mm²

As pakai tulangan tekan 4-D25 : 1963,5 mm²

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{3926,99 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 350 \text{ mm}} \\
 &= 176,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_r} &= A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 3926,99 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(637,5 \text{ mm} - \frac{176,07}{2}\right) \\
 &= 863444663,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4



Gambar 4. 11 Geser Desain Balok untuk SRPMM

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.1 (a))

Keterangan:

W_u = beban terfaktor

V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kiri)

M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kanan)

l_n : Panjang balok bersih

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2 \left(\frac{1}{2} \times b_{\text{kolom}} \right) \\ &= 8000 \text{ mm} - 2 \left(\frac{1}{2} \times 500 \text{ mm} \right) \\ &= 7500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beban yang bekerja pada balok

Beban sendiri balok (WD)

$$\begin{aligned} &= 0,35 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 588 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (WSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 7,5 \text{ m} \\ &= 2160 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SD Pelat} &= 191,7 \text{ kg/m}^2 \times 7,5 \text{ m} \\ &= 1437,75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dinding} &= 580 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup (WL)} &= 192 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$W_u = 1,2D + 1,2SD + 1,6L$$

$$\begin{aligned} &= 1,2(588 \text{ kg/m}) + 1,2(4177,75 \text{ kg/m}^2) + 1,6(192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 705,6 \text{ kg/m} + 5013,3 \text{ kg/m} + 307,2 \text{ kg/m} \\ &= 6026,1 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_{uT} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$V_{uT} = \frac{863444663,6 \text{ Nmm} + 863444663,6 \text{ Nmm}}{6200 \text{ mm}} + \frac{6026,1 \times 6,2}{2}$$

$$V_{uT} = 297211,45 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa (SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.1)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,47 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 350 \text{ mm} \times 637,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 207758 \text{ N}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_s \text{ min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 350 \times 637,5$$

$$= 73631,25 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times 350 \times 637,5$$

$$= 4032945,966 \text{ N}$$

$$2V_s \text{ max} = 0,66 \times \sqrt{30} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 637,5 \\
 &= 806589,931 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

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 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Perhitungan Penulangan Geser Balok

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$V_{uT} = 297211,45 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 \rightarrow tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$
 $297211,45 \text{ N} \geq 77909,25 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. Kondisi Geser 2 \rightarrow tulangan geser minimum
 $0,5 \times \varphi \times V_c < V_u \leq \varphi \times V_c$
 $77909,25 \text{ N} < 297211,45 \text{ N} \geq 155818,51 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. Kondisi Geser 3 \rightarrow tulangan geser minimum
 $\varphi \times V_c < V_u \leq \varphi (V_c + V_{smin})$
 $155818,51 \text{ N} < 297211,45 \text{ N} \geq 211041,95 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
4. Kondisi Geser 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi (V_c + V_{smin}) < V_u \leq \varphi (V_c + V_{smax})$
 $211041,95 \text{ N} < 297211,45 \text{ N} \leq 458289,73 \text{ N}$
 (memenuhi)

Maka selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_{\text{Sperlu}} &= \frac{Vu}{\phi} - Vc \\ &= \frac{297211,45 \text{ N}}{0,75} - 207758 \text{ N} \\ &= 188523,92 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\phi 10$ mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} x \pi x d^2 x n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} x \pi x (10 \text{ mm})^2 x 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga jarak antar sengkang,

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 240 \cdot 637,5}{188523,92} \\ &= 127,42 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4.

$$S_{\text{maks}} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq d/2$$

$$\leq \frac{637,5 \text{ mm}}{2}$$

$$127,42 \text{ mm} \leq 318,75 \text{ mm (OK)}$$

$$127,42 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$$

Digunakan $\emptyset 10$ spasi tulangan 100 mm.

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada 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 50mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
 - b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
 - c. 24 kali diameter Sengkang
 - d. 300 mm
- (SNI 03-2847 2013 pasal 21.3.4.(2))

Cek persyaratan:

- a. $Spakai < d/4$
100 mm < 159,375 (memenuhi)
- b. $Spakai < 8 \times Dlentur$
100 mm < 8 x 25 mm
100 mm < 200 mm (memenuhi)
- c. $Spakai < 24 \times Dgeser$
100 mm < 24 x 10
100 mm < 240 mm (memenuhi)
- d. $Spakai < 300$ mm
100 mm < 300 mm (memenuhi)

Maka digunakan tulangan geser (sengkang) D10-100 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{0,5Ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (0,5Ln - 2h)}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{297211,45 \text{ N} \times (0,5 \cdot 6200 \text{ mm} - 2 \cdot 700 \text{ mm})}{0,5 \cdot 6200 \text{ mm}}$$

$$Vu_2 = 162986,92 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$
 $162986,92 \text{ N} \geq 77909,25 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum
 $0,5 \times \varphi \times V_c < V_u \leq \varphi \times V_c$
 $77909,25 \text{ N} < 162986,92 \text{ N} \geq 155818,51 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
3. Kondisi Geser 3 → tulangan geser minimum
 $\varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi (V_c + V_{smin})$
 $155818,51 \text{ N} < 162986,92 \text{ N} \leq 211041,95 \text{ N}$
 (memenuhi)

Maka selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 3.

Luas penampang geser:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{b_w d}{3} \\ &= \frac{350 \cdot 637,5}{3} \\ &= 74375 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v_{min}} &= \frac{b_w s}{f_y \cdot 3} \\ &= \frac{350 \cdot 200 \text{ mm}}{240 \text{ MPa} \cdot 3} \\ &= 97,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$ dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4.

$$s_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$s_{maks} \leq d/2$$

$$\leq \frac{637,5 \text{ mm}}{2}$$

$$200 \text{ mm} \leq 318,75 \text{ mm (OK)}$$

$$200 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$$

Digunakan spasi tulangan minimum 200 mm.

$A_v \text{ pakai} > A_v \text{ perlu}$

$$157,08 \text{ mm}^2 > 97,22 \text{ mm}^2$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada 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 :

1. Sengkang harus dispasikan tidak melebihi dari $d/2$ sepanjang balok (lapangan)
(SNI 03-2847 2013 pasal 21.3.4.(3))

$$s_{pakai} < d/2$$

$$200 \text{ mm} < 637,5/2 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 318,75 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan geser (sengkang) D10- 200 mm pada daerah lapangan.

Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen 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)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2.

Tabel 4. 12 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau 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	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,12 \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,72 \sqrt{f_c'}} \right) d_b$
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,42 \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,12 \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

Dimana:

l_d = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = Diameter tulangan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan = 1

Ψ_e = faktor pelapis = 1

λ = faktor digunakan agregat normal = 1

1. Perhitungan panjang penyaluran dalam kondisi tarik

$$l_d = \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

(SNI 2847: 2013 pasal 12.2.1)

Maka:

$$\begin{aligned} l_d &= \frac{400 \text{ Nmm} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \times 25 \\ &= 1074 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$1074 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

Reduksi Panjang penyaluran :

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{3853,05 \text{ mm}^2}{3926,99 \text{ mm}^2} \times 1074 \text{ mm}$$

$$l_d \text{ reduksi} = 1053,77 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30}} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 438,19 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \times 400 \text{ Mpa} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 438,19 \text{ mm}$

Reduksi Panjang penyaluran tulangan :

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times I_{dc}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{1321,61 \text{ mm}^2}{1964,28 \text{ mm}^2} \times 438,19 \text{ mm}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = 294,82 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30} \text{ Nmm}} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 438,196 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} 8_{db} &= 8 \times 25 \text{ mm} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$438,196 \text{ mm} > 150 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$l_{dh} > 8_{db}$$

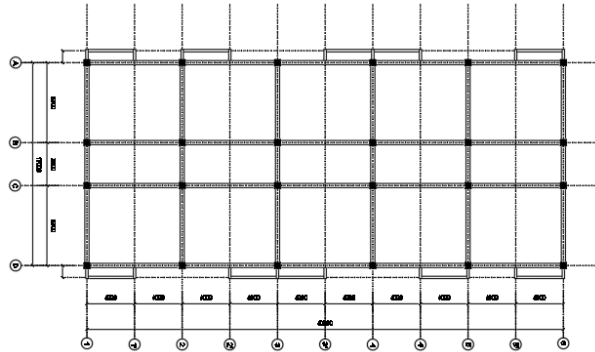
$$438,196,01 \text{ mm} > 200 \text{ mm (memenuhi)}$$

Tabel 4. 13 Rekap Penulangan Balok BI

Balok BI		
Keterangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi (mm)	350/700	350/700
Tulangan Lentur Atas	8D25	2D25
Tulangan Torsi	4Ø16	4Ø16
Tulangan Lentur Bawah	4D25	5D25
Sengkang	Ø10 – 100	Ø10 – 200

2. Balok Atap

Berikut ini adalah data perencanaan balok induk (35/70) berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari Analisa SAP2000 selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar 4. 12 Denah Balok Atap yang Ditinjau

Data-data perencanaan:

- | | |
|---|-----------|
| a. Tipe balok | = B Atap |
| b. Bentang balok (L) | = 8000 mm |
| c. Dimensi balok (B_{balok}) | = 350 mm |
| d. Dimensi balok (H_{balok}) | = 700 mm |
| e. Mutu Beton (f_c') | = 30 MPa |
| f. Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | = 400 MPa |
| g. Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) | = 240 MPa |
| h. Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | = 240 MPa |
| i. Diameter tulangan lentur (D) | = 16 mm |
| j. Diameter tulangan geser (\emptyset) | = 10 mm |
| k. Diameter tulangan puntir (D) | = 10 mm |
| l. Spasi antar tulangan sejajar
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | = 25 mm |

- m. Tebal selimut beton (decking)
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c)) = 40 mm
- n. Faktor β_1
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3) = 0,85
- o. Faktor reduksi kekuatan lentur
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1) = 0,9
- p. Faktor reduksi kekuatan geser
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3) = 0,75
- q. Faktor reduksi kekuatan torsi
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3) = 0,75

Perhitungan Tulangan Balok:

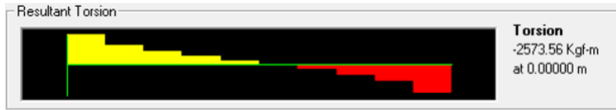
➤ Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned}
 dx &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2}\phi_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\
 &= 642 \text{ mm} \\
 d'' &= h - d \\
 &= 700 \text{ mm} - 642 \text{ mm} \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil Output SAP2000

Setelah dilakukan Analisa menggunakan program bantu struktur SAP2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam pada frame 328. Hasil dari program bantu struktur SAP2000 dapat digunakan pada proses perhitungan kg-m penulangan balok.

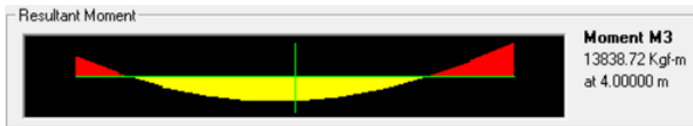
➤ Hasil Output Torsi



Gambar 4. 13 Output Torsi Balok Atap

Kombinasi : 1,2D+1EX+1L+0,3EY
Momen Puntir : 2573.56 kg-m

➤ Hasil Output Momen Lentur



Gambar 4. 14 Output Momen Lapangan Balok Atap

Kombinasi : 1,2D+1,6RL+1L
Momen Lentur Lapangan : 13838,72 kg-m



Gambar 4. 15 Output Momen Tumpuan Kanan Balok Atap

Kombinasi : 1,2D+1,6RL+1L
Momen Lentur Tumpuan : -19887,85 kg-m



Gambar 4. 16 Output Momen Tumpuan Kiri Balok

Kombinasi : 1,2D+1,6RL+1L
 Momen Lentur Tumpuan : 11942,47 kg-m

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton:

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 350 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 245000 \text{ mm}^2$$

Parameter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 \text{ mm} + 700 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2100 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})$$

$$A_{oh} = (350 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 158600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(350 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1740 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan hasil Analisa struktur SAP2000 diperoleh momen puntir sebesar

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 25735600 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{25735600 \text{ Nmm}}{0,75} = 34314133,3 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor **Tu** besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.1 (a))

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{245000^2}{2100} \right)$$

$$= 9745695,931 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal **Tu** dapat diambil sebesar:

$$T_u \text{ max} = \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 (a))

$$= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{245000^2}{2100} \right)$$

$$= 3874794,768 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh momen puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$$T_u > T_u \text{ min}$$

25735600 Nmm > 9745695,931 Nmm (tulangan puntir diperlukan)

➤ Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **(SNI 03-2847 pasal 11.5.3.7)** direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \times \cot^2 \theta$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)** berasal dari persamaan berikut

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot F_{yt} \cdot \cot \theta}$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 158600 \text{ mm}^2 \\ &= 134810 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot F_{yt} \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{34314133,3 \text{ Nmm}}{2 \cdot 134810 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Nmm} \cdot \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,53 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \times \cot^2 \theta$$

$$A_l = 0,53 \text{ mm} \times 1740 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times \cot^2 45$$

$$A_l = 553,62 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3)** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan:

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times bw}{Fyt}$$

$$0,53 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 300 \text{ mm}}{240}$$

$$0,53 \text{ mm} \geq 0,255 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil = 0,53 mm

Cek nilai Al min dengan persamaan:

$$\frac{0,42 \times \sqrt{fc'} \times Acp}{Fy} - \frac{At}{s} \times Poh \times \frac{Fyt}{Fy}$$

Maka nilai Al min :

$$\frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 245000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 0,53 \times 1740 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$

$$Al_{\text{min}} = 486,32 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan Al dengan 2 kondisi yakni

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\text{min}}$ maka menggunakan Al_{min}

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\text{min}}$ maka menggunakan Al_{perlu}

Maka:

$$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\text{min}}$$

$$553,62 \text{ mm}^2 \geq 486,32 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al_{perlu} sebesar $553,62 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga:

$$\frac{At}{4} = \frac{553,62 \text{ mm}}{4} = 138,404 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya:

a. Pada sisi atas: disalurkan pada tulangan tarik balok

b. Pada sisi bawah: disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka pada masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $276,81 \text{ mm}$. Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{At}{4} = 276,81 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{At}{\text{luas tulangan}} = \frac{276,81 \text{ mm}^2}{0,25\pi \cdot 10 \text{ mm}^2}$$

$$n = 3,52 = 4 \text{ buah}$$

Kontrol Al pasang > Al perlu

Alpasang = n pasang x luasan D puntir

$$= 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi (10^2)\right)$$

$$= 314,16 \text{ mm}^2$$

Maka = Alpasang > Alperlu

$$= 314,16 \text{ mm}^2 > 276,81 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, kanan dan lapangan dipasang sebesar 4Ø10.

Perhitungan Tulangan Lentur

Garis Netral dalam kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + fy} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \times 642 \text{ mm} \\ &= 385,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 385,2 \text{ mm} \\ &= 288,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d'' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 125 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \frac{N}{mm^2} \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 125 \text{ mm}$$

$$C_c' = 948281,25 \text{ N}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c'}{f_y} = \frac{948281,25 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}} \\ &= 2370,703 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2370,703 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{mm^2} \times \left(642 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 125 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 558419121,1 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0243 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,686 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 1,2D+1,6RL+1L .

$$Mu = 198878500 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{198878500 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 220976111 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 220976111 \text{ Nmm} - 558419121,1 \text{ Nmm}$$

$$Mns = -337443010 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{220976111 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (642 \text{ mm})^2} \\ &= 1,532 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 1,532}{400} \right)} \right) \\ &= 0,004 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$0,0035 < 0,004 < 0,0243$ (memenuhi)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004 \times 350 \times 642 \\ &= 888,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 888,02 \text{ mm}^2 + 138,404 \text{ mm}^2 \\ &= 1026,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{1026,43 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 5,1 = 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 6-D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1206,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 1206,86 \text{ mm}^2 &\geq 1026,43 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s &= 0,3 \times A_s \text{ perlu} \\ &= 0,3 \times 1026,43 \text{ mm}^2 \\ &= 307,93 \text{ mm}^2 \\ A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 307,93 \text{ mm}^2 + 138,404 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 446,33 \text{ mm}^2$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{446,33 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 2,22 = 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 3-D16

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tulangan tekan}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &\geq As'_{\text{perlu}} \\ 603,43 \text{ mm}^2 &\geq 446,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun lebih dari Satu}$$

Kontrol tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (6 \times 16 \text{ mm})}{6 - 1} \\ &= 31 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$31 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok atap untuk daerah tumpuan

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 6-D16

Kontrol tulangan Tekan

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b-(2 \times \text{decking})-(2 \times \text{geser})-(\text{jumlah tul. x Dlentur})}{\text{jumlah tulangan}-1} \\ &= \frac{350 \text{ mm}-(2 \times 40\text{mm})-(2 \times 10 \text{ mm})-(3 \times 16 \text{ mm})}{3-1} \\ &= 101 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

Smaks \geq Ssejajar

101 mm \geq 25 mm (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok atap untuk daerah tumpuan

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 3-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

- $M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 6-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1206,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 3-D16

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \times \text{As tulangan tekan} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 603,43 \text{ mm}^2$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq 201,14 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{S_{\text{pasang}}} \text{ tulangan tarik 6-D16} = 1206,86 \text{ mm}^2$$

$$M_n = (0,85 f_c' \beta_1 x b (d - \frac{\beta_1 x}{2}) + A_s' f_s' (d - d''))$$

$$= (0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 125 \cdot 350 (642 - \frac{0,85 \cdot 125}{2}) +$$

$$1206,86 \cdot 300 (642 - 58)$$

$$= 296865414,8 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$M_{n_{\text{pasang}}} > M_{n_{\text{perlu}}}$$

$$296865414,8 \text{ Nmm} > 220976111 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok atap 35/70 dengan bentang 8 m untuk daerah tumpuan kanan adalah :

$$\text{Tulangan lentur Tarik 2 lapis} = 6\text{-D16}$$

$$\text{Tulangan lentur tekan 1 lapis} = 3\text{-D16}$$

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 1,2D+1,6RL+1L .

$$M_u = 119424700 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{119424700 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 132694111 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 132694111 \text{ Nmm} - 558419121,1 \text{ Nmm}$$

$$Mns = -425725010 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{132694111 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (642 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,92}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,0023$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 > 0,0023 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$As = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 350 \times 642$$

$$= 786,45 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$AS_{\text{perlu}} = As + \frac{Al}{4}$$

$$= 786,45 \text{ mm}^2 + 138,404 \text{ mm}^2$$

$$= 924,85 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{As\ \text{perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{924,85\ \text{mm}^2}{201,06\ \text{mm}^2} \\ &= 4,59 = 5\ \text{buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 5-D16

$$\begin{aligned} As\ \text{pasang} &= n \times As\ \text{tulangan Tarik} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16\ \text{mm})^2 \\ &= 1005,71\ \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} As\ \text{pasang} &\geq As\ \text{perlu} \\ 1005,71\ \text{mm}^2 &\geq 924,85\ \text{mm}^2\ (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} As &= 0,3 \times As\ \text{perlu} \\ &= 0,3 \times 924,85\ \text{mm}^2 \\ &= 277,46\ \text{mm}^2 \\ As_{\text{perlu}} &= As + \frac{Al}{4} \\ &= 277,46\ \text{mm}^2 + 138,404\ \text{mm}^2 \\ &= 415,86\ \text{mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As\ \text{perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{415,86\ \text{mm}^2}{201,06\ \text{mm}^2} \\ &= 2,06 = 3\ \text{buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 3-D16

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tulangan tekan}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16\ \text{mm})^2 \end{aligned}$$

$$= 603,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$A_s'_{\text{pasang}} \geq A_s'_{\text{perlu}}$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq 415,86 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun lebih dari Satu}$$

Kontrol tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul. } x \text{ Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (5 \times 16 \text{ mm})}{5 - 1} \\ &= 43 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$43 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok atap untuk daerah tumpuan

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 5-D16

Kontrol tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul. } x \text{ Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (3 \times 25 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 42,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk untuk daerah tumpuan kiri yaitu:

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 5-D25

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 3-D25

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 5-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1005,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 3-D16

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \times \text{As tulangan tekan} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1005,71 \text{ mm}^2$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq 335,24 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pasang}}$ tulangan tarik 5-D16 = 1005,71 mm²

$$\begin{aligned} M_n &= (0,85 f_c' \beta_1 x b (d - \frac{\beta_1 x}{2}) + A_s f_s' (d - d')) \\ &= (0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 125 \cdot 350 (642 - \frac{0,85 \cdot 125}{2}) + \\ &\quad 1005,71 \cdot 300 (642 - 58) \\ &= 249201109,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$M_{n_{pasang}} > M_{n_{perlu}}$$

249201109,5 Nmm > 132694111 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk 35/70 dengan bentang 8 m untuk daerah tumpuan kiri adalah :

Tulangan lentur Tarik 1 lapis = 5-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 3-D16

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok induk menggunakan momen terbesar.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 138387200 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{138387200 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 153763556 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 153763556 \text{ Nmm} - 558419121,1 \text{ Nmm}$$

$$Mns = -404655566 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{153763556 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (642 \text{ mm})^2} \\ &= 1,066 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 1,066}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0027 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0027 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 350 \times 642 \\ &= 786,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} AS_{\text{perlu}} &= As + \frac{Al}{4} \\ &= 786,45 \text{ mm}^2 + 138,404 \text{ mm}^2 \\ &= 924,85 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{luas tulangan}}$$

$$= \frac{924,85 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2}$$

$$= 4,59 = 5 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan Tarik 5-D16

$$\text{As pasang} = n \times \text{As tulangan Tarik}$$

$$= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 1005,71 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

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

$$1005,71 \text{ mm}^2 \geq 924,85 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\text{As} = 0,3 \times \text{As perlu}$$

$$= 0,3 \times 924,85 \text{ mm}^2$$

$$= 277,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{perlu}} = \text{As} + \frac{A_l}{4}$$

$$= 277,46 + 138,404$$

$$= 415,86 \text{ mm}^2$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan}}$$

$$= \frac{415,86 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2}$$

$$= 2,07 = 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan 3-D16

$$\text{As}'_{\text{pasang}} = n \times \text{As}_{\text{tulangan tekan}}$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 603,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$\text{As}'_{\text{pasang}} \geq \text{As}'_{\text{perlu}}$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq 415,86 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = mm \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = mm \rightarrow$ susun lebih dari Satu

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times decking) - (2 \times \emptyset geser) - (jumlah tul. \times Dlentur)}{jumlah tulangan - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (5 \times 16 \text{ mm})}{5 - 1} \\ &= 42,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times decking) - (2 \times \emptyset geser) - (jumlah tul. \times Dlentur)}{jumlah tulangan - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (3 \times 16 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 101 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

$101 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok atap 35/70 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis : 5-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 3-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 5-D16

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1005,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 3-D16

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1005,71 \text{ mm}^2$$

$$603,43 \text{ mm}^2 \geq 335,24 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah lapangan dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 5-D16

Tulangan tekan : 3-D16

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{\text{spasang}} \text{ tulangan tarik 5-D16} = 1005,71 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{1005,71 \times 400 \frac{N}{mm^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{mm^2} \cdot 400mm}$$

$$= 45,07 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \cdot f_y \times (d - \frac{a}{2}))$$

$$M_n = (1005,71 \times 400 \times (642 - \frac{45,07}{2})) \text{ Nmm}$$

$$= 249201109,5 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$M_{n_{pasang}} > M_{n_{perlu}}$$

$$249201109,5 \text{ Nmm} > 153763556 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok atap 35/70 dengan bentang 8m untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis : 5-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 3-D16

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik 5-D16} = 1005,71 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan 3-D16} = 603,43 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \\
 &= \frac{1005,71 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 350 \text{ mm}} \\
 &= 45,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_l &= As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1005,71 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(642 \text{ mm} - \frac{45,07 \text{ mm}}{2}\right) \\
 &= 249201109,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

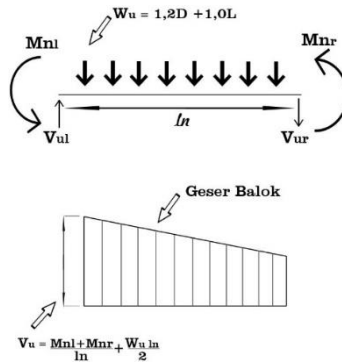
As pakai tulangan tarik 6-D16 : 1026,43 mm²

As pakai tulangan tekan 3-D16 : 603,43 mm²

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \\
 &= \frac{1026,43 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 350 \text{ mm}} \\
 &= 54,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_r &= As' \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1026,43 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(642 \text{ mm} - \frac{54,08}{2}\right) \\
 &= 296865414,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4



Gambar 4. 17 Geser Desain Balok untuk SRPMM

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari

$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.1 (a))

Keterangan:

W_u = beban terfaktor

V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan

M_{n1} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : Panjang balok bersih

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2 \left(\frac{1}{2} \times b_{\text{kolom}} \right) \\ &= 8000 \text{ mm} - 2 \left(\frac{1}{2} \times 500 \text{ mm} \right) \\ &= 7500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beban yang bekerja pada balok

Beban sendiri balok (WD)

$$= 0,35 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 588 \text{ kg/m}$$

Beban mati tambahan (WSD)

$$\text{Berat sendiri pelat} = 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 7,5 \text{ m}$$

$$= 2160 \text{ kg/m}$$

$$\text{SD Pelat} = 94,05 \text{ kg/m}^2 \times 7,5 \text{ m}$$

$$= 705,37 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban hidup (WL)} = 125,4 \text{ kg/m}^2$$

$$W_u = 1,2D + 1,2SD + 1,6L$$

$$= 1,2(588 \text{ kg/m}) + 1,2(2865,37 \text{ kg/m}^2) +$$

$$1,6(125,4 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 705,6 \text{ kg/m} + 3438,44 \text{ kg/m} + 200,64 \text{ kg/m}$$

$$= 4344,68 \text{ kg/m}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_{uT} = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{W_u \cdot ln}{2}$$

$$V_{uT} = \frac{249201109,5 \text{ Nmm} + 296865414,8 \text{ Nmm}}{7500 \text{ mm}} + \frac{4344,68 \times 7,5}{2}$$

$$V_{uT} = 89101,42 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.1)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,47 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$\lambda = 1$, untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}} \times 350 \text{ mm} \times 637,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 207758 \text{ N}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 350 \times 642 \\ &= 74151 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 350 \times 642 \\ &= 406141,75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{30} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 642 \\ &= 812283,507 \text{ N} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

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 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Perhitungan Penulangan Geser Balok

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$V_{uT} = 89101,42 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$89101,42 \text{ N} \geq 78459,2 \text{ N (tidak memenuhi)}$$

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$78459,2 \text{ N} \leq 89101,42 \text{ N} \leq 156918,4 \text{ N (memenuhi)}$$

Maka selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 2.

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\phi 10$ mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2.

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \leq d/2$$

$$\leq \frac{637,5 \text{ mm}}{2}$$

$$100 \text{ mm} \leq 318,75 \text{ mm (OK)}$$

$$100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$$

Digunakan spasi tulangan minimum 100 mm.

Luas penampang geser:

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= \frac{b_w S}{3 \cdot f_y} \\ &= \frac{300 \cdot 100}{3 \cdot 400} \\ &= 29,17 \end{aligned}$$

$A_v \text{ pakai} > A_v \text{ perlu}$

$$157,08 \text{ mm}^2 > 29,17 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada 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 50mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- e. $d/4$
 - f. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
 - g. 24 kali diameter Sengkang
 - h. 300 mm
- (SNI 03-2847 2013 pasal 21.3.4.(2))

Cek persyaratan:

- e. $Spakai < d/4$
100 mm < 159,375 (memenuhi)
- f. $Spakai < 8 \times D_{lentur}$
100 mm < 8 x 25 mm
100 mm < 200 mm (memenuhi)
- g. $Spakai < 24 \times D_{geser}$
100 mm < 24 x 10
100 mm < 240 mm (memenuhi)
- h. $Spakai < 300$ mm
100 mm < 300 mm (memenuhi)

Maka digunakan tulangan geser (sengkang) D10-100 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{0,5Ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (0,5Ln - 2h)}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{89101,42 \text{ N} \times (0,5 \cdot 7500 \text{ mm} - 2 \cdot 700 \text{ mm})}{0,5 \cdot 7500 \text{ mm}}$$

$$Vu_2 = 55836,89 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

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

$$55836,89 \text{ N} \leq 78459,2 \text{ N (memenuhi)}$$

Maka selanjutnya menggunakan sengkang minimum pada balok atap yaitu Ø10-200.

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada 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 :

1. Sengkang harus dispasikan tidak melebihi dari $d/2$ sepanjang balok (lapangan)

$$\text{(SNI 03-2847 2013 pasal 21.3.4.(3))}$$

$$\text{Spakai} < d/2$$

$$200 \text{ mm} < 637,5/2 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 318,75 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan sengkang D10- 200 mm pada daerah lapangan.

Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen 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)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2.

Tabel 4. 14 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau 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 bersih 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	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

Dimana:

ℓ_d = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = Diameter tulangan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan = 1

Ψ_e = faktor pelapis = 1

λ = faktor digunakan agregat normal = 1

1. Perhitungan panjang penyaluran dalam kondisi tarik

$$\ell_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

(SNI 2847: 2013 pasal 12.2.1)

Maka:

$$l_d = \frac{400 \text{ Nmm} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \times 16$$

$$= 687,43 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$687,43 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

Reduksi Panjang penyaluran :

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{1026,43 \text{ mm}^2}{1206,86 \text{ mm}^2} \times 687,43 \text{ mm}$$

$$l_d \text{ reduksi} = 584,41 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran dalam kondisi tekan

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

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 280,8 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \times 400 \text{ Mpa} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 280,8 \text{ mm}$

Reduksi Panjang penyaluran tulangan :

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times I_{dc}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{446,33 \text{ mm}^2}{603,43 \text{ mm}^2} \times 280,8 \text{ mm}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = 207,69 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30} \text{ Nmm}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 280,44 \text{ mm}$$

$$8_{db} = 8 \times 16 \text{ mm}$$

$$= 128 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$280,44 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$l_{dh} > 8_{db}$$

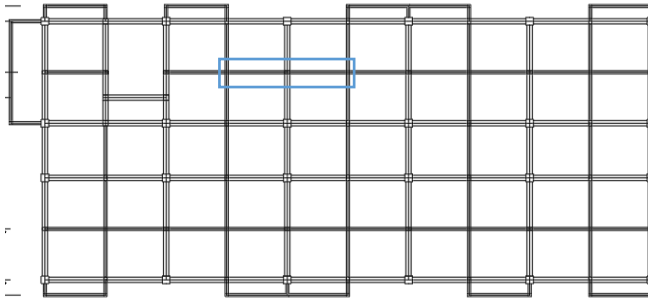
$$280,44 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Tabel 4. 15 Rekap Penulangan Balok Atap

Balok Atap		
Keterangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi (mm)	350/700	350/700
Tulangan Lentur Atas	6D16	3D16
Tulangan Torsi	4Ø10	4Ø10
Tulangan Lentur Bawah	3D16	5D16
Sengkang	Ø10 – 100	Ø10 – 200

3. Balok Anak

Berikut ini adalah data perencanaan balok anak (20/40) berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari Analisa SAP2000 selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar 4. 18 Denah Balok Anak yang Ditinjau

Data-data perencanaan:

- | | |
|--|-----------|
| a. Tipe Balok | = BA |
| b. Bentang balok (L) | = 8000 mm |
| c. Dimensi balok (B_{balok}) | = 200 mm |
| d. Dimensi balok (H_{balok}) | = 400 mm |
| e. Mutu Beton (f_c') | = 30 MPa |
| f. Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | = 400 MPa |
| g. Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) | = 240 MPa |
| h. Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | = 240 MPa |
| i. Diameter tulangan lentur (D) | = 16 mm |
| j. Diameter tulangan geser (\emptyset) | = 10 mm |
| k. Diameter tulangan puntir (D) | = 10 mm |
| Spasi antar tulangan sejajar
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | = 25 mm |
| l. Tebal selimut beton (decking) | = 40 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c)) | |

- m. Faktor β_1 = 0,85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
- n. Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)
- o. Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
- p. Faktor reduksi kekuatan torsi = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Perhitungan Tulangan Balok:

Tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} dx &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 8 \text{ mm} \\ &= 342 \text{ mm} \\ d'' &= h - d \\ &= 400 \text{ mm} - 342 \text{ mm} \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil Output SAP2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

➤ Hasil Output Torsi



Gambar 4. 19 Output Torsi Balok BA

Kombinasi : 1,2D+1EX+1L+0,3EY
 Momen Torsi : 196,18 kg-m

➤ Hasil Output Momen Lentur



Gambar 4. 20 Momen Lapangan Balok BA

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5RL
 Momen Lentur Lapangan: 2784,47 kg-m



Gambar 4. 21 Momen Tumpuan Kiri Balok BA

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5RL
 Momen Lentur Tumpuan Kiri : -6521,39 kg-m



Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5RL
 Momen Lentur Tumpuan Kanan: -3076,69 kg-m

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton:

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 80000 \text{ mm}^2$$

Parameter luar irisan penampang beton p_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (200 \text{ mm} + 400 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1200 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})$$

$$A_{oh} = (200 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 34100 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(200 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 840 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan hasil Analisa struktur SAP2000 diperoleh momen puntir sebesar.

Momen puntir ultimate :

$$T_u = 1961800 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{1961800 \text{ Nmm}}{0,75} = 2615733,33 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$\begin{aligned} T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.1 (a)}) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{80000^2}{1200} \right) \\ &= 1818438,891 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal T_u dapat diambil sebesar:

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 (a)}) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{80000^2}{1200} \right) \\ &= 722993,77 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$$\begin{aligned} T_u &> T_u \text{ min}, \\ 2615733,33 \text{ Nmm} &> 1818438,891 \text{ Nmm} \\ (\text{memerlukan tulangan puntir}) \end{aligned}$$

➤ Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **(SNI 03-2847 pasal 11.5.3.7)** direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)** berasal dari persamaan berikut

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

$$\begin{aligned}
 \text{Dengan } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 34100 \text{ mm}^2 \\
 &= 28985 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 \frac{At}{s} &= \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot F_{yt} \cdot \cot \emptyset} \\
 \frac{At}{s} &= \frac{2615733,33 \text{ Nmm}}{2 \cdot 28985 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Nmm} \cdot \cot 45} \\
 \frac{At}{s} &= 0,188 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{At}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \emptyset \\
 A_l &= 0,188 \text{ mm} \times 840 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times \cot^2 45 \\
 A_l &= 94,76 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3)** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan:

$$\begin{aligned}
 \frac{At}{s} &\geq \frac{0,175 \times b_w}{F_{yt}} \\
 0,188 \text{ mm} &\geq \frac{0,175 \times 200 \text{ mm}}{240}
 \end{aligned}$$

$$0,188 \text{ mm} \geq 0,145 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil = 0,188 mm

Cek nilai A_l min dengan persamaan:

$$\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{At}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right)$$

Maka nilai A_{lmin} :

$$\begin{aligned}
 &\frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 80000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} \\
 &\quad - 0,188 \times 840 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}
 \end{aligned}$$

$$Al_{min} = 302,16 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan Al dengan 2 kondisi yakni

Alperlu \leq Al min maka menggunakan Almin

Alperlu \geq Almin maka menggunakan Alperlu

Maka:

$$Al_{perlu} \leq Al_{min}$$

$$94,76 \text{ mm}^2 \leq 302,16 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Almin sebesar 302,16 mm²

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi

merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga:

$$\frac{At}{4} = \frac{302,16 \text{ mm}^2}{4} = 75,54 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya:

1. Pada sisi atas: disalurkan pada tulangan tarik balok
 2. Pada sisi bawah: disalurkan pada tulangan tekan balok
- Maka pada masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 151,08 mm². Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{At}{4} = 151,08 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{Al}{\text{luas tulangan}} = \frac{151,08 \text{ mm}^2}{0,25\pi (10 \text{ mm})^2}$$

$$n = 1,92 = 2 \text{ buah}$$

Kontrol Al pasang $>$ Al perlu

$$Al_{pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luas D puntir}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \pi (10)^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Maka = Alpasang $>$ Alperlu

$$= 157,08 \text{ mm}^2 > 151,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri dan kanan sebesar $2\emptyset 10$.

Perhitungan Tulangan Lentur

Garis Netral dalam kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \times 342 \text{ mm} \\ &= 205,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 205,2 \text{ mm} \\ &= 153,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 125 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 0,85 \times 125 \text{ mm}$$

$$C_c' = 541875 \text{ N}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c'}{f_y} = \frac{541875 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}} \\ &= 1354,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1354,68 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(342 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 125 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 156534140,6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0243 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,686 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 1,2D+1,6L+0,5RL:

$$M_u = 30766900 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{30766900 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 34185444 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 34185444 \text{ Nmm} - 156534140,6 \text{ Nmm}$$

$$Mns = -122348696 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{34185444 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm} \times (342 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,461 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 1,461}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,0038$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,0038 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Asperlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0038 \times 200 \times 342$$

$$= 257 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\text{As perlu} = \text{As} + \frac{A_t}{4}$$

$$= 257 \text{ mm}^2 + 75,54 \text{ mm}^2$$

$$= 333,04 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\
 &= \frac{333,04 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,66 = 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 3-D16

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 603,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\
 603,43 \text{ mm}^2 &\geq 333,04 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 \text{As' perlu} &= 0,3 \times \text{As perlu} \\
 (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1}) \\
 &= 0,3 \times 333,04 \text{ mm}^2 \\
 &= 99,91 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\
 &= \frac{99,91 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\
 &= 0,49 = 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 2-D16

$$\begin{aligned}
 \text{As' pasang} &= n \times \text{As tulangan tekan} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 402,28 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{As' pasang} &\geq \text{As' perlu} \\
 402,28 \text{ mm}^2 &\geq 99,91 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

Smaks \geq Ssejajar = mm \rightarrow susun 1 lapis

Smaks \leq Ssejajar = mm \rightarrow susun lebih dari Satu

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b-(2 \times \text{decking})-(2 \times \emptyset \text{geser})-(\text{jumlah tul. } x \text{ Dlentur})}{\text{jumlah tulangan}-1} \\ &= \frac{300 \text{ mm}-(2 \times 40\text{mm})-(2 \times 10 \text{ mm})-(3 \times 16 \text{ mm})}{3-1} \\ &= 26 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

Smaks \geq Ssejajar

26 mm \geq 25 mm (susun 1 lapis)

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b-(2 \times \text{decking})-(2 \times \emptyset \text{geser})-(\text{jumlah tul. } x \text{ Dlentur})}{\text{jumlah tulangan}-1} \\ &= \frac{200 \text{ mm}-(2 \times 40\text{mm})-(2 \times 10 \text{ mm})-(2 \times 16 \text{ mm})}{2-1} \\ &= 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

Smaks \geq Ssejajar

62 mm \geq 25 mm (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok anak 20/40 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis : 3-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 2-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 3-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 603,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 2-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$402,28 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 603,43 \text{ mm}^2$$

$$402,28 \text{ mm}^2 \geq 201,14 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kanan dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 3-D16

Tulangan tekan : 2-D16

Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As}_{\text{pasang}} \text{ tulangan tarik 3-D16} = 603,43 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{603,43 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 400 \text{ mm}} \\ &= 47,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= (\text{As} \cdot f_y \times (d - \frac{a}{2})) \\ &= (603,43 \text{ mm}^2 \times 400 \times (342 \text{ mm} - \frac{47,33 \text{ mm}}{2})) \\ &= 76837247,54 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

Mnpasang > Mu

$$0,8 \times 76837247,54 \text{ Nmm} > 30766900 \text{ Nmm}$$

$$61469798,03 \text{ Nmm} > 30766900 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak 20/40 untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis : 3-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 2-D16

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri balok yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 1,2D+1,6L+0,5RL:

$$Mu = 65213900 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{65213900 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 72459889 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$Mns > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$Mns = 72459889 \text{ Nmm} - 156534140,6 \text{ Nmm}$$

$$Mns = -84074252 \text{ Nmm}$$

$$Mns < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{72459889 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm} \times (342 \text{ mm})^2}$$

$$= 3,098 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 3,098}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,0083$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,0083 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{As}_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0083 \times 200 \times 342$$

$$= 566,47 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\text{As}_{\text{perlu}} = \text{As} + \frac{At}{4}$$

$$= 566,47 \text{ mm}^2 + 75,54 \text{ mm}^2$$

$$= 642,01 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$n = \frac{\text{As}_{\text{perlu}}}{\text{luas tulangan}}$$

$$= \frac{642,01 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,19 = 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan Tarik 4-D16

$$\text{As}_{\text{pasang}} = n \times \text{As}_{\text{tulangan Tarik}}$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 804,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 804,57 \text{ mm}^2 &\geq 642,01 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= 0,3 \times \text{As perlu} \\ (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1}) \\ &= 0,3 \times 642,01 \text{ mm}^2 \\ &= 192,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{192,6 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 0,96 = 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 2-D16

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \times \text{As tulangan tekan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &\geq \text{As' perlu} \\ 402,28 \text{ mm}^2 &\geq 192,6 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = \text{mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = \text{mm} \rightarrow$ susun lebih dari Satu

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 16 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

Smaks \geq Ssejajar

12 mm \leq 25 mm (susun 2 lapis)

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{200 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 16 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

Smaks \geq Ssejajar

68 mm \geq 25 mm (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok anak 20/40 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis : 4-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 2-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 4-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 2-D16

As pasang = n x As tulangan Tarik

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 402,28 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$402,28 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 804,57 \text{ mm}^2$$

$$402,28 \text{ mm}^2 \geq 268,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 4-D16

Tulangan tekan : 2-D16

Kontrol kemampuan penampang

Aspasang tulangan tarik 4-D16 = 804,57 mm²

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 200 \text{ mm}}$$

$$= 63,1 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \cdot f_y \times (d - \frac{a}{2}))$$

$$= (804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \times (342 \text{ mm} - \frac{63,1 \text{ mm}}{2}))$$

$$= 99911094,04 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$M_{\text{npasang}} > M_u$

$0,8 \times 99911094,04 \text{ Nmm} > 65213900 \text{ Nmm}$

$79928875,23 \text{ Nmm} > 65213900 \text{ Nmm}$ (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak 20/40 untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik 2 lapis : 4-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 2-D16

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan balok induk menggunakan momen terbesar.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 27844700 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{27844700 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 30938556 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 30938556 \text{ Nmm} - 156534140,6 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -125595585 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{30938556 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm} \times (342 \text{ mm})^2} \\ &= 1,323 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 1,323}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0034 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$, maka ρ diperbesar sebesar 30%.

$$\rho = 0,0044$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0044 \times 200 \times 342 \\ &= 302,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 302,05 \text{ mm}^2 + 75,54 \text{ mm}^2 \\ &= 377,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{377,59 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 1,87 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 4-D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 804,57 \text{ mm}^2 &\geq 377,59 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s &= 0,3 \times A_s \text{ pasang} \\ &= 0,3 \times 377,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 113,28 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{113,28 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 0,56 = 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 2-D16

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times As_{\text{tulangan tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 402,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &\geq As'_{\text{perlu}} \\ 402,28 \text{ mm}^2 &\geq 113,28 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu}$$

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{ geser}) - (\text{jumlah tul.} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{200 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 16 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$12 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \text{ (susun 2 lapis)}$$

$$\text{Lapis 1} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Lapis 2} = 2 \text{ buah}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 \text{Smaks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{200 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 16 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar}$

$68 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur balok anak 20/40 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik susun 2 lapis : 4-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 2-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 4-D16

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Spasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 804,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 2-D16

$$A_{\text{Spasang}} = n \times A_s \text{ tulangan Tarik}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 402,28 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$402,28 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 804,57 \text{ mm}^2$$

$$402,28 \text{ mm}^2 \geq 268,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah lapangan dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 4-D16

Tulangan tekan : 2-D16

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s\text{pakai}} \text{ tulangan tarik 4-D16} = 804,57 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$= \frac{804,57 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 200\text{mm}}$$

$$= 63,10 \text{ mm}$$

$$M_n = (As \cdot fy \times (d - \frac{a}{2}))$$

$$M_n = (804,57 \times 400 \times (342 - \frac{63,10}{2})) \text{ Nmm}$$

$$= 99911094,04 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}}$$

$$0,8 \times 99911094,04 \text{ Nmm} > 27844700 \text{ Nmm}$$

$$79928875,23 \text{ Nmm} > 27844700 \text{ Nmm}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak 20/40 untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 2 lapis : 4-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 2-D16

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok anak. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut

As pakai tulangan tarik 4-D16 = 804,57 mm²

As pakai tulangan tekan 2-D16 = 402,28 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 200 \text{ mm}} \\ &= 63,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(342 \text{ mm} - \frac{63,1 \text{ mm}}{2}\right) \\ &= 99911094,04 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

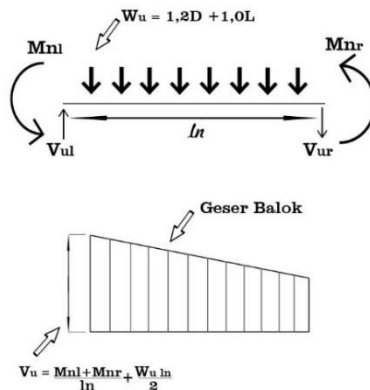
As pakai tulangan tarik 3-D16 : 603,43 mm²

As pakai tulangan tekan 2-D16 : 402,28 mm²

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{603,43 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 200 \text{ mm}} \\
 &= 47,33 \text{ mm} \\
 M_{n_r} &= A_{s'} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 603,43 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(342 \text{ mm} - \frac{47,33 \text{ mm}}{2}\right) \\
 &= 76837247,54 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4



Gambar 4. 23 Geser Desain Balok untuk SRPMM

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.1 (a))

Keterangan:

W_u : beban terfaktor

V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kiri)

M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kanan)

l_n : Panjang balok bersih

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2 \left(\frac{1}{2} \times b_{\text{kolom}} \right) \\ &= 8000 \text{ mm} - 2 \left(\frac{1}{2} \times 500 \text{ mm} \right) \\ &= 7500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beban yang bekerja pada balok

Beban sendiri balok (WD)

$$\begin{aligned} &= 0,2 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 192 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (WSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 7,5 \text{ m} \\ &= 2160 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SD Pelat} &= 191,7 \text{ kg/m}^2 \times 7,5 \text{ m} \\ &= 1437,75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Dinding} = 580 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban hidup (WL)} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$W_u = 1,2D + 1,2SD + 1,6L$$

$$\begin{aligned} &= 1,2(192 \text{ kg/m}) + 1,2(4177,75 \text{ kg/m}^2) + 1,6(192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 230,4 \text{ kg/m} + 5013,3 \text{ kg/m} + 307,2 \text{ kg/m} \\ &= 5550,9 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_{uT} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$V_{uT} = \frac{99911094 \text{ Nmm} + 76837247,5 \text{ Nmm}}{7500 \text{ mm}} + \frac{5550,9 \cdot 7,5}{2}$$

$$V_{uT} = 44382,32 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.1)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,47 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 200 \text{ mm} \times 342 \text{ mm}$$

$$V_c = 63689,18 \text{ N}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_s \text{ min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 200 \times 342$$

$$= 22572 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times 200 \times 342$$

$$= 123631,94 \text{ N}$$

$$2V_s \text{ max} = 0,66 \times \sqrt{30} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 200 \times 342$$

$$= 247263,87 \text{ N}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

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 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Perhitungan Penulangan Geser Balok

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$V_{u1} = 116026,11 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 \rightarrow Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$$

$$44382,32 \text{ N} \geq 23883,44 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

2. Kondisi Geser 2 \rightarrow Tulangan geser minimum

$$0,5 \times \varphi \times V_c < V_u \leq \varphi \times V_c$$

$$23883,44 \text{ N} < 44382,32 \text{ N} \leq 47766,88 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Maka selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 2.

$$\begin{aligned} V_{S_{\min}} &= \frac{b_w d}{3} \\ &= \frac{200 \cdot 637,5}{3} \\ &= 22800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v f_y d}{V_s} \\ &= \frac{27,78 \cdot 27,78 \cdot 342}{22800} \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= \frac{b_w S}{3 \cdot f_y} \\ &= \frac{200 \cdot 80}{3 \cdot 240} \\ &= 22,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\phi 10$ mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10\text{mm})^2 \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2.

Digunakan spasi tulangan minimum 80 mm

$$S_{\text{maks}} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq d/2$$

$$80 \text{ mm} \leq \frac{342 \text{ mm}}{2}$$

$$80 \text{ mm} \leq 171 \text{ mm (OK)}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$$

$A_v \text{ pakai} > A_v \text{ perlu}$

$$157,08 \text{ mm}^2 > 22,22 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada 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 50mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

1. $d/4$
2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
3. 24 kali diameter Sengkang
4. 300 mm

(SNI 03-2847 2013 pasal 21.3.4.(2))

Cek persyaratan:

1. $S_{\text{pakai}} < d/4$

- 80 mm < 85,5 mm (memenuhi)
2. Spakai < 8 x Dlentur
80 mm < 8 x 16 mm
80 mm < 128 mm (memenuhi)
 3. Spakai < 24 x Dgeser
80 mm < 24 x 10
80 mm < 240 mm (memenuhi)
 4. Spakai < 300 mm
80 mm < 300 mm (memenuhi)

Maka digunakan tulangan geser (senggang) D10-80 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan balok anak.

Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{0,5Ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (0,5Ln - 2h)}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{44382,32 \text{ N} \times (0,5 \cdot 7500 \text{ mm} - 2 \cdot 400 \text{ mm})}{0,5 \cdot 7500 \text{ mm}}$$

$$Vu_2 = 34914,09 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser
 $Vu \leq 0,5 \times \varphi \times Vc$
34914,09 N \geq 23883,44 N (tidak memenuhi)
2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum
 $0,5 \times \varphi \times Vc < Vu \leq \varphi \times Vc$
23883,44 N < 34914,09 N \leq 47766,88 N (memenuhi)

Maka selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 2.

$$\begin{aligned}
 V_{S_{\min}} &= \frac{b_w d}{3} \\
 &= \frac{200 \cdot 637,5}{3} \\
 &= 22800 \text{ N} \\
 A_{V_{\min}} &= \frac{b_w S}{3 \cdot f_y} \\
 &= \frac{200 \cdot 150}{3 \cdot 240} \\
 &= 41,67 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_v f_y d}{V_s} \\
 &= \frac{27,78 \cdot 27,78 \cdot 342}{22800} \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 - 150$ mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2.

Digunakan spasi tulangan minimum 150 mm

$$S_{\max} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$150 \text{ mm} \leq \frac{342 \text{ mm}}{2}$$

$$150 \text{ mm} \leq 171 \text{ mm (OK)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$$

Luas penampang geser:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{bw s}{3 f_y} \\ &= \frac{200 \cdot 150 \text{ mm}}{3 \cdot 400 \text{ MPa}} \\ &= 25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_v \text{ pakai} > A_v \text{ perlu}$

$$157,08 \text{ mm}^2 > 25 \text{ mm}^2$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada 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 :

1. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan).

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)

Cek persyaratan:

1. $s_{pakai} < d/2$
 $150 \text{ mm} < 342/2$
 $150 \text{ mm} < 171 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan geser (sengkang) D10- 150 mm pada daerah lapangan.

1. Perhitungan panjang penyaluran dalam kondisi tarik

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

(SNI 2847: 2013 pasal 12.2.1)

Maka:

$$\begin{aligned} l_d &= \frac{400 \text{ Nmm} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \times 16 \\ &= 687,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$687,36 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

Reduksi Panjang penyaluran :

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{642,01 \text{ mm}^2}{804,57 \text{ mm}^2} \times 687,36 \text{ mm}$$

$$l_d \text{ reduksi} = 548,48 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran dalam kondisi tekan

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

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 280,43 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \times 400 \text{ Mpa} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 280,43 \text{ mm}$

Reduksi Panjang penyaluran tulangan :

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times I_{dc}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{192,6 \text{ mm}^2}{402,28 \text{ mm}^2} \times 280,43 \text{ mm}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = 134,26 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30} \text{ Nmm}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 280,43 \text{ mm}$$

$$8_{db} = 8 \times 16 \text{ mm}$$

$$= 128 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$280,43 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$l_{dh} > 8_{db}$$

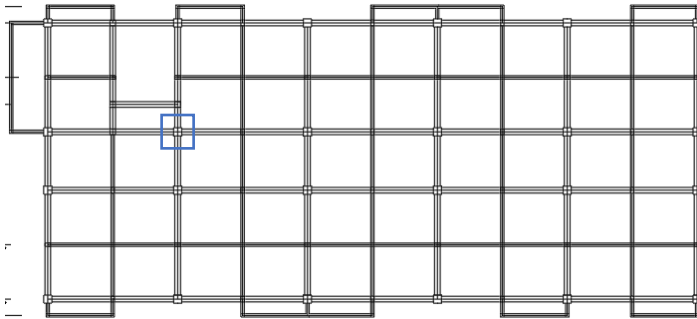
$$280,43 \text{ mm} > 128 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Tabel 4. 16 Rekap Hasil Penulangan Balok Anak

Balok BA		
Keterangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi (mm)	200/400	200/400
Tulangan Lentur Atas	4D16	2D16
Tulangan Torsi	2Ø10	2Ø10
Tulangan Lentur Bawah	2D16	4D16
Sengkang	Ø10 – 100	Ø10 – 150

4.2.2.5 Struktur Kolom

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan penulangan kolom jenis K1(500x500) mm pada lantai 1 berdasarkan beban aksial ultimate terbesar (P_u). Perhitungan berikut berdasarkan data perencanaan dan hasil analisis program SAP2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan menggunakan metode SRPMM.



Gambar 4. 24 Denah Kolom K1 yang Ditinjau

Data-data perencanaan:

Tipe Kolom	: K1
Tinggi kolom atas	: 4000 mm
Tinggi kolom bawah	: 0 mm
B kolom	: 500 mm
H kolom	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Modulus Elastisitas beton (E_c)	: 23500 MPa
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 (D)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 10 mm

Tebal selimut	: 40 mm
Jarak spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,9
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
Faktor reduksi kekuatan torsi	: 0,75

Perhitungan Penulangan Kolom :

Maka lebar efektif kolom :

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} \\ &= 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 \\ &= 437,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} \\ &= 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 - \frac{1}{2} 500 \\ &= 187,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 500 \times 500 \\ &= 250000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Akibat Beban Aksial

Berdasarkan hasil output SAP2000 frame 68 didapatkan diagram Analisa sebagai berikut :

Kombinasi : 1,2 D + 1,6L + 0,5RL

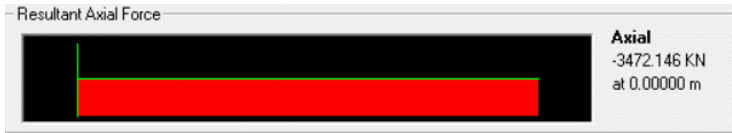
Nilai : 2532454 N



Gambar 4. 25 Output Pu1 kombinasi 1,2 D + 1,6L + 0,5RL

Kombinasi : 1,2D+1EX+1L+0,3EY

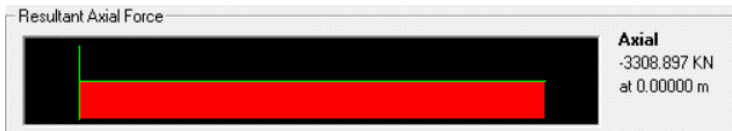
Nilai : 3472146 N



Gambar 4. 26 Output Pu2 kombinasi 1,2D+1EX+1L+0,3EY

Kombinasi : 1,2D+1EY+1L+0,3EX

Nilai : 3308897 N



Gambar 4. 27 Output Pu3 kombinasi 1,2D+1EY+1L+0,3EX

Kombinasi : 1,4D

Nilai : 2343284 N



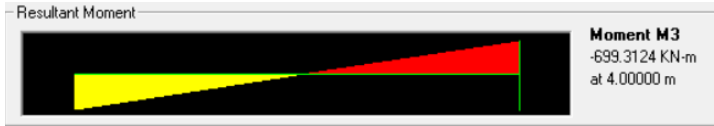
Gambar 4. 28 Output Pu4 kombinasi 1,4D

Momen arah sumbu X

Akibat Pengaruh Beban Gempa

Kombinasi : 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Nilai M_{1s} : 699312400 Nmm



Gambar 4. 29 Output M1s kombinasi 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Kombinasi : 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Nilai M_{2s} : 719365900 Nmm

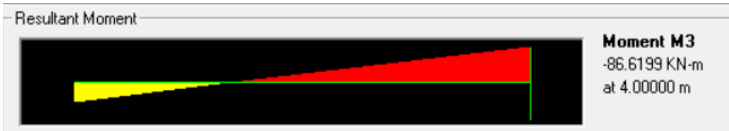


Gambar 4. 30 Output M2s kombinasi 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Akibat Pengaruh Beban Gravitasi

Kombinasi : 1,2D + 1,6L+0,5RL

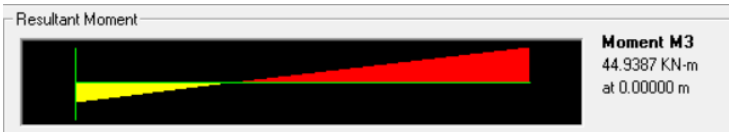
Nilai M_{1ns} : 86619900 Nmm



Gambar 4. 31 Output M1ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL

Kombinasi : 1,2D + 1,6L+0,5RL

Nilai M_{2ns} : 44938700 Nmm



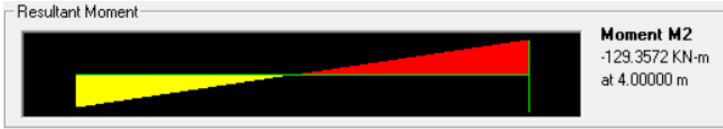
Gambar 4. 32 Output M2ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL

Momen arah sumbu Y

Akibat Pengaruh Beban Gempa

Kombinasi : 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Nilai M_{1s} : 129357200 Nmm



Gambar 4. 33 Output M1s kombinasi 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Kombinasi : 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Nilai M_{2s} : 116446400 Nmm

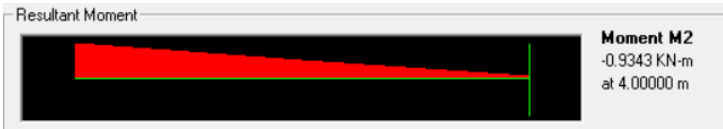


Gambar 4. 34 Output M2s kombinasi 1,2D + 1EX + 1L+0,3EY

Akibat Pengaruh Beban Gravitasi

Kombinasi : 1,2D + 1,6L+0,5RL

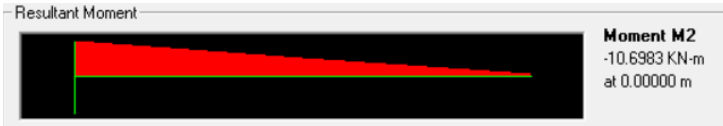
Nilai M_{1ns} : 934300 Nmm



Gambar 4. 35 Output M1ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL

Kombinasi : 1,2D + 1,6L+0,5RL

Nilai M_{2ns} : 10698300 Nmm



Gambar 4. 36 Output M2ns kombinasi 1,2D + 1,6L+0,5RL

Keterangan :

M_{1s} : momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam satuan Nmm.

M_{2s} : momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam satuan Nmm.

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

M_{2ns} : Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi dari persamaan $A_g f_c / 10$, bila P_u lebih besar maka perhitungan menggunakan SRPMM.

$$\frac{A_g f_c'}{10} < P_u$$

$$\frac{250000 \cdot 30}{10} < P_u$$

$$750000 \text{ N} < 2216436 \text{ N}$$

Perhitungan tulangan lentur

Menghitung kontrol kelangsingan kolom

$$\begin{aligned} \beta d &= \frac{P_u \text{ (akibat beban gravitasi)}}{P_u \text{ (akibat beban gempa)}} \\ &= \frac{2532454 \text{ N}}{3472146 \text{ N}} \\ &= 0,729 \end{aligned}$$

Keterangan:

βd = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

EI kolom (50/50)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times lg}{1 + \beta d} \text{ (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)}$$

$$\begin{aligned} Ig &= 0,7 \frac{1}{12} b h^3 \\ &= 0,7 \frac{1}{12} 500 500^3 \\ &= 3645833333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= 4700 \sqrt{Fc'} \\ &= 4700 \sqrt{30 \text{ MPa}} \\ &= 25742,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Elk &= \frac{0,4 \times Ec \times lg}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3645833333}{1 + 0,729} \\ &= 21708468440612 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

EI balok induk memanjang (35/70)

$$\begin{aligned} Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times lg}{1 + \beta d} \\ Ig &= 0,35 \frac{1}{12} b h^3 \\ &= 0,35 \frac{1}{12} 350 700^3 \\ &= 3501458333 \text{ mm}^4 \\ Ec &= 25742,96 \text{ Nmm} \\ Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times lg}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3501458333}{1 + 0,729} \\ &= 20848813090364 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

EI balok induk melintang (35/70)

$$\begin{aligned} Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times lg}{1 + \beta d} \\ Ig &= 0,35 \frac{1}{12} b h^3 \\ &= 0,35 \frac{1}{12} 350 700^3 \\ &= 3501458333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 25742,96 \text{ Nmm} \\
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3501458333}{1 + 0,729} \\
 &= 20848813090364 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

EI balok sloof memanjang (30/60)

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 I_g &= 0,35 \frac{1}{12} b h^3 \\
 &= 0,35 \frac{1}{12} 300 \ 600^3 \\
 &= 18900000000 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 25742,96 \text{ Nmm} \\
 E_{ls} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 18900000000}{1 + 0,729} \\
 &= 11253670039613 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

EI balok sloof melintang (30/60)

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 I_g &= 0,35 \frac{1}{12} b h^3 \\
 &= 0,35 \frac{1}{12} 300 \ 600^3 \\
 &= 18900000000 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 25742,96 \text{ Nmm} \\
 E_{ls} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 18900000000}{1 + 0,729} \\
 &= 11253670039613 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, menghitung faktor panjang tekuk kolom (k) dengan persamaan sebagai berikut:

Kekakuan kolom atas

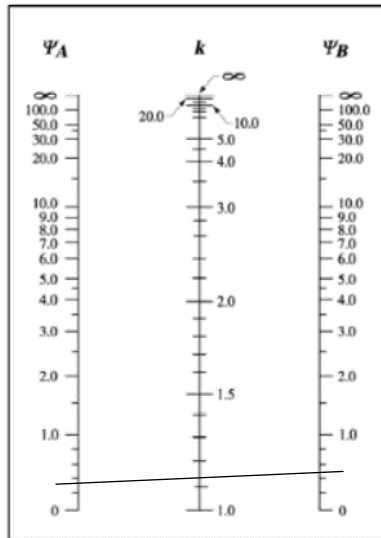
$$\psi_a = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom\ atas}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1}}$$

$$\psi_a = 0,260$$

Kekakuan kolom bawah

$$\psi_b = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom\ bawah}}{(EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1}}$$

$$\psi_b = 0,482$$



Gambar 4. 37 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k).

Dari nomogram diatas didapatkan nilai $k = 1,12$

Menghitung jari-jari inersia (r)

$$\begin{aligned} r &= 0,2887 h \\ &= 0,2887 \cdot 500 \\ &= 144,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kelangsingan

$$\lambda = \frac{k \cdot lu}{r} \leq 22 \text{ (pengaruh langsing diabaikan)}$$

$$\lambda = \frac{1,12 \times 4000}{144,35} \leq 22$$

$$31,036 > 22$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10 maka kolom termasuk langsing

Peninjauan kolom akibat momen arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP2000 diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

Akibat kombinasi beban gempa (1,2D+1EX+0,3EY+1L)

$$M_{1s} = 699312400 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 719365900 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (1,2D + 1,6L + 0,5RL)

$$M_{1ns} = 86619900 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 44938700 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 21708468440612}{(1,12 \cdot 4000)^2} \\ &= 10683718,54 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_c &= n \times P_c \\ &= 24 \times 10683718,54 \text{ N} \\ &= 256409245 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum P_u &= n \times P_u \\ &= 24 \times 3472146 \text{ N} \\ &= 83331504 \text{ N}\end{aligned}$$

Menghitung pembesaran momen (δs)

$$\delta s = \frac{1}{1 - Q} \geq 1$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta s = 1,76 \geq 1 \text{ (SNI 2847-2013, pasal 10.10.7.4)}$$

Maka dipakai $\delta s = 1,76$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah X (M_{33})

$$\begin{aligned}M_1 &= M_{1ns} + \delta s M_{1s} \\ &= 86619900 + (1,76) 699312400 \text{ Nmm} \\ &= 1320683612 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= M_{2ns} + \delta s M_{2s} \\ &= 44938700 + (1,76) 719365900 \text{ Nmm} \\ &= 1314390454 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 1320683612 Nmm

Menentukan ρ_{perlu} diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel perhitungan Perhitungan Beton Bertulang.

Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{500} = 0,125$$

Sumbu vertikal:

$$v = \frac{Pu}{b \cdot h \cdot fc'}$$

$$= \frac{3472146}{500 \cdot 500 \cdot 30}$$

$$= 0,46$$

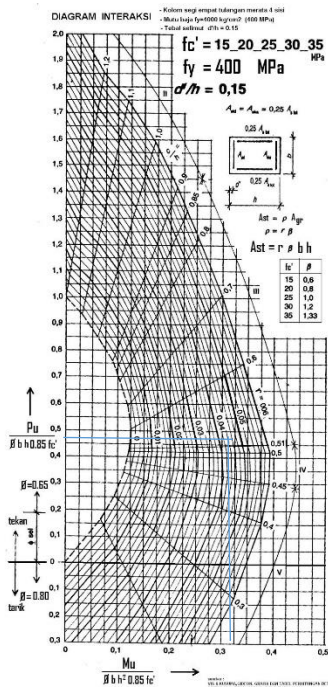
Sumbu horizontal

$$h = \frac{Mu}{fc' \cdot b \cdot h^2}$$

$$h = \frac{1320683612}{30 \cdot 500 \cdot 500^2}$$

$$= 0,35$$

Maka didapatkan $\rho_{perlu} = 0,036$



Gambar 4. 38 Diagram Interaksi Kolom Arah X

Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.

$$= 0,036 \times 500 \times 500$$

$$= 9000 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D25, maka luas tulangan:

$$\text{Luas tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 490,87 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{luas tulangan D25}}$$

$$n = \frac{9000}{490,87}$$

$$n = 18,3 \rightarrow \text{pasang 20 buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 20 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 9817 \text{ mm}^2$$

Kontrol tulangan:

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$9817 \text{ mm}^2 > 9000 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Persentase tulangan terpasang:

$$\text{Persentase} = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\text{Persentase} = \frac{9817}{500 \times 500} \times 100\%$$

$$\text{Persentase} = 4\% < 8\%$$

Mencari nilai e min dan e perlu

$$P_n = \frac{pu}{0,65}$$

$$P_n = \frac{3472146 \text{ N}}{0,65}$$

$$P_n = 5341763,08 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{Mu}{0,65}$$

$$M_n = \frac{1320683612 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$M_n = 2031820942 \text{ Nmm}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{2031820942}{5341763,08}$$

$$e \text{ perlu} = 380,37 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03h)$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03 \times 500)$$

$$e \text{ min} = 30,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance

Syarat:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$x_b = \frac{600}{600 + 400} 437,5$$

$$x_b = 262,5 \text{ mm}$$

$$A_b = \beta_1 x_b$$

$$= 0,85 \cdot 262,5 \text{ mm}$$

$$= 223,13 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

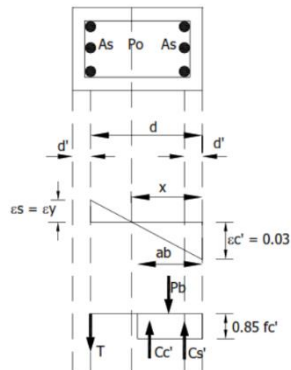
$$= 9817 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 3676645,15 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x_b$$

$$= 0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 262,5 \text{ mm}$$

$$= 2844844 \text{ N}$$



$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 9817 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \\ &= 3926990,82 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P_b &= 2844844 \text{ N} + 3676645,15 \text{ N} - 3926990,82 \text{ N} \\ &= 2594498 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= C_c'(d - d'' - 1/2ab) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 2844844 \text{ N}(437,5 - 187,5 - 1/2 \cdot 223,1) + 3676645,15 \text{ N} \\ &\quad (437,5 - 187,5 - 62,5) + 3926990,82 \cdot 187,5 \\ &= 1819514801 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_b &= M_b / P_b \\ &= \frac{1819514801}{2594498} \\ &= 701,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (tekan menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (tarik menentukan)

maka:

$30,24 \text{ mm} < 380,37 \text{ mm} < 701,3 \text{ mm}$ (kondisi tekan menentukan)

Kontrol kondisi tekan menentukan

Syarat

$e < e_b$

$380,37 \text{ mm} < 701,3 \text{ mm}$ (OK)

$P > P_b$

$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$

Mencari nilai x

$$a = 0,54d$$

$$0,85 \cdot x = 236,25$$

$$x = 277,94 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 277,94 \text{ mm}$$

$$= 236,25 \text{ mm}$$

Syarat:

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{437,5}{277,94} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{437,5}{276,7} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = 344,4 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400}{200000}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,0017 < 0,002 \text{ (OK)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,44 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa (OK)}$$

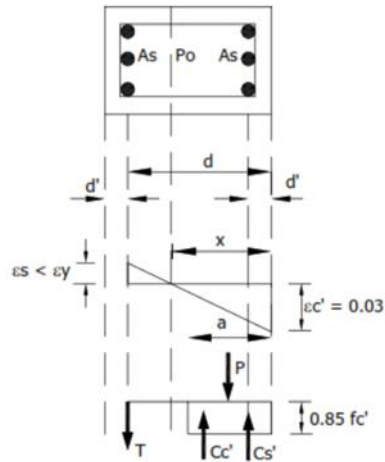
$$C_s' = A_s \cdot (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 9817 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 3676645,15 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 277,94 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 &= 3012187,5 \text{ N} \\
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 9817 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \\
 &= 3926990,82 \text{ N} \\
 \sum V &= 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\
 P &= 3012187,5 + 3676645,15 \text{ N} - 3926990,82 \text{ N} \\
 &= 2761842 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$P > P_b$$

$$2761842 \text{ N} > 2594498 \text{ N (OK)}$$

Mn terpasang:

$$\begin{aligned}
 &= C_c' (d-d''-1/2 ab) + C_s'(d-d''-d')+T \cdot d'' \\
 &= 3012187,5 \text{ N} (437,5-187,5 \cdot 1/2 \cdot 223,13) + \\
 &\quad 3676645,15 \text{ N} (437,5-187,5-62,5) + \\
 &\quad 3926990,82 \cdot 187,5 \\
 &= 1807509926 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$M_n \text{ terpasang} = M_n$$

$$1807509926 \text{ Nmm} > 2031820942 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka digunakan penulangan lentur sesuai momen kolom arah X sebesar 20D25

Peninjauan kolom akibat momen arah Y (M22)

Berdasarkan output analisis menggunakan SAP2000, diperoleh hasil gaya dalam arah Y sebagai berikut.

Akibat kombinasi beban gempa (1,2D+1,6L+0,5RL)

$$M_{1s} = 129357200 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 116446400 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (1,2D+1EX+1L+ 0,3EY)

$$M_{1ns} = 934300 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 10698300 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 21708468440612}{(1,12 \cdot 4000)^2} \\ &= 10683718,54 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_c &= n \times P_c \\ &= 24 \times 10683718,54 \text{ N} \\ &= 256409245 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_u &= n \times P_u \\ &= 24 \times 3472146 \text{ N} \\ &= 83331504 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung pembesaran momen (δ_s)

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - Q} \geq 1 \\ \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1 \end{aligned}$$

$$\delta_s = 1,76 \geq 1 \text{ (SNI 2847-2013, pasal 10.10.7.4)}$$

Maka dipakai $\delta_s = 1,76$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah Y (M_{22})

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 934300 \text{ Nmm} + (1,76) 129357200 \text{ Nmm} \\ &= 229208568,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 10698300 \text{ Nmm} + (1,76) 116446400 \text{ Nmm} \\ &= 216189117,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar 229208568,3 Nmm

Menentukan ρ_{perlu} diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ perlu untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel perhitungan Perhitungan Beton Bertulang. Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{500} = 0,125$$

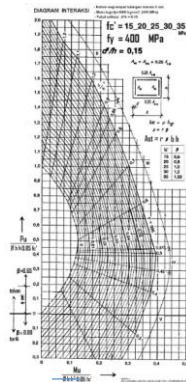
Sumbu vertikal:

$$\begin{aligned} v &= \frac{Pu}{b \cdot h \cdot f'c'} \\ &= \frac{3472146}{500 \cdot 500 \cdot 30} \\ &= 0,463 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal

$$\begin{aligned} h &= \frac{Mu}{f'c' \cdot b \cdot h^2} \\ h &= \frac{229208568,3}{30 \cdot 500 \cdot 500^2} \\ &= 0,061 \end{aligned}$$

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 0,01$



Gambar 4. 39 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.

$$= 0,01 \times 500 \times 500$$

$$= 2500 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D25, maka luas tulangan:

$$\text{Luas tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 490,87 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan D25}}$$

$$n = \frac{2500}{490,87}$$

$$n = 5,09 \rightarrow \text{pasang 6 buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$A_{S\text{pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 2945 \text{ mm}^2$$

Kontrol tulangan:

$$A_{S\text{pasang}} > A_{S\text{perlu}}$$

$$2945 \text{ mm}^2 > 2500 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Persentase tulangan terpasang:

$$\text{Persentase} = \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\text{Persentase} = \frac{2945}{500 \times 500} \times 100\%$$

$$\text{Persentase} = 1\% < 8\%$$

Mencari nilai e min dan e perlu

$$P_n = \frac{pu}{0,65}$$

$$P_n = \frac{3472146 \text{ N}}{0,65}$$

$$P_n = 5341763,08 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{Mu}{0,65}$$

$$M_n = \frac{229208568,3 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$M_n = 352628566,7 \text{ Nmm}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{352628566,7}{5341763,08}$$

$$e \text{ perlu} = 66,014 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03h)$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03 \times 500)$$

$$e \text{ min} = 30,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance

Syarat:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$x_b = \frac{600}{600 + 400} 437,5$$

$$x_b = 262,5 \text{ mm}$$

$$A_b = \beta_1 x_b$$

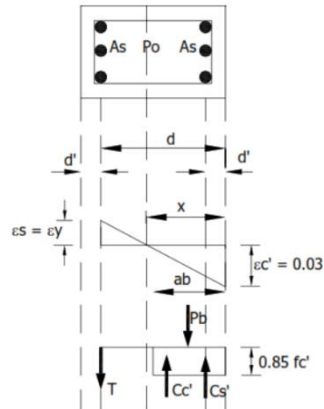
$$= 0,85 \cdot 262,5 \text{ mm}$$

$$= 223,13 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 2945 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 1102993,55 \text{ N}$$



$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x_B \\ &= 0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 262,5 \text{ mm} \\ &= 2844844 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 2945 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \\ &= 1178097,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow P_b = Cc' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P_b &= 2844844 \text{ N} + 1102993,55 \text{ N} - 1178097,25 \text{ N} \\ &= 2769740 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= Cc'(d - d'' - 1/2ab) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 2844844 \text{ N}(437,5 - 187,5 - 1/2 \cdot 223,13) + \\ &\quad 1102993,55 \text{ N}(437,5 - 187,5 - 62,5) + 1178097,25 \text{ N} \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &187,5 \\ &= 1119970606 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_b &= M_b / P_b \\ &= \frac{1119970606}{2769740} \\ &= 404,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (tekan menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (tarik menentukan)

maka:

$30,24 \text{ mm} < 66,01 \text{ mm} < 404,4 \text{ mm}$ (kondisi tekan menentukan)

Kontrol kondisi tekan menentukan

Syarat

$e < e_b$

$66,01 \text{ mm} < 404,4 \text{ mm}$ (OK)

$P > P_b$

$\epsilon_s \leftrightarrow f_s < f_y$

Mencari nilai x

$a = 0,54d$

$$0,85 \cdot x = 236,25$$

$$x = 277,94 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 277,94 \text{ mm}$$

$$= 236,25 \text{ mm}$$

Syarat:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{437,5}{277,94} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{437,5}{277,94} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = 344,4 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400}{200000}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

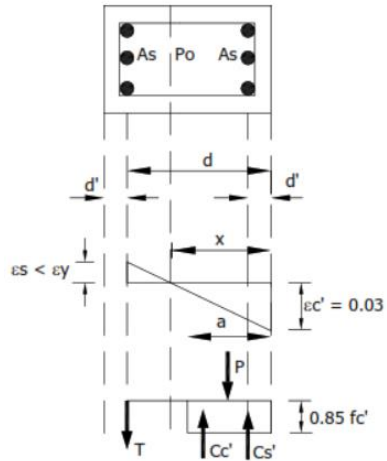
$$0,0017 < 0,002 \text{ (OK)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,44 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa (OK)}$$

$$C_s' = A_s \cdot (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 2945 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$



$$\begin{aligned}
 &= 1102993,55 \text{ N} \\
 Cc' &= 0,85 f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x \\
 &= 0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,85 \cdot 277,94 \text{ mm} \\
 &= 3012187,5 \text{ N} \\
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 2945 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \\
 &= 1178097,25 \text{ N} \\
 \sum V &= 0 \rightarrow P_b = Cc' + Cs' - T \\
 P &= 3012187,5 \text{ N} + 1102993,55 \text{ N} - 1178097,25 \text{ N} \\
 &= 2937084 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$P > P_b$$

$$2937084 \text{ N} > 2769740 \text{ N (OK)}$$

Mn terpasang:

$$\begin{aligned}
 &= Cc' (d-d''-1/2 ab) + Cs' (d-d''-d') + T \cdot d'' \\
 &= 3012187,5 \text{ N} (437,5-187,5 \cdot 1/2 \cdot 223,13) + \\
 &\quad 1102993,55 \text{ N} (437,5-187,5-62,5) + \\
 &\quad 1178097,25 \text{ N} \cdot 187,5 \\
 &= 824936749,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$824936749,8 \text{ Nmm} > 229208568,3 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka digunakan penulangan lentur sesuai momen kolom arah X sebesar 20-D25

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\
 &= \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (20 \times 25)}{20-1}
 \end{aligned}$$

= 49,2 > 40 mm (OK)
 (maka tulangan lentur disusun 1 lapis)

-Perhitungan Tulangan Geser

Data perencanaan

hkolom	: 500 mm
bkolom	: 500 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 4000 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	: 25 mm
Diameter tulangan geser	: 12 mm
Faktor reduksi	: 0,75

Berdasarkan hasil analisis program SAP2000, maka diperoleh beban aksial pada kolom K1 sebagai berikut:

$$P_u = 3472146 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$= \frac{9817,477 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500}$$

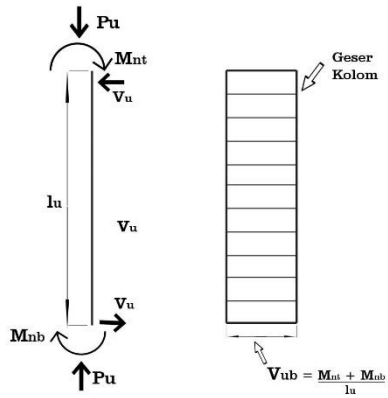
$$= 440 \text{ mm}$$

$$M_{nt} = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 9817,477 \cdot 400 \left(437,5 - \frac{440}{2} \right)$$

$$= 854122523 \text{ Nmm}$$

$M_{nb} = 854122523 \text{ Nmm}$ (karena tulangan lentur yang dipasang di atas-bawah kolom sama)



Gambar 4. 40 Desain Geser Kolom untuk SRPMM

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

Dimana:

M_{nt} : Momen Nominal atas Kolom

M_{nb} : Momen Nominal bawah kolom

$$\begin{aligned} M_{nt} &: \frac{M_{nt}}{\phi} \\ &: \frac{854122523}{0,75} \\ &: 1138830031 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &: \frac{M_{nb}}{\phi} \\ &: \frac{854122523}{0,75} \\ &: 1138830031 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &: \frac{1138830031 + 1138830031}{3350} \\ &: 509923,89 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton

Nilai $\sqrt{f'c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa sesuai dengan peraturan SNI 03-2847-2013

$$\sqrt{f'c} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,477 \text{ MPa} \leq 8,33 \text{ MPa}$$

Kekuatan geser pada beton:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{30} b_w \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{3472146}{14(250000)} \right) \cdot 1 \cdot 5,477 \cdot 500 \cdot 437,5$$

$$= 405748 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{smin} = 1/3 \times b \times d$$

$$= 1/3 \times 500 \times 437,5$$

$$= 72187,5 \text{ N}$$

$$V_{smax} = 1/3 \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$= 1/3 \times \sqrt{30} \times 500 \times 437,5$$

$$= 395387,22 \text{ N}$$

$$2V_{smax} = 2/3 \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$= 2/3 \times \sqrt{30} \times 500 \times 437,5$$

$$= 790774,44 \text{ N}$$

Cek kondisi

1. Kondisi 1 \rightarrow tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq \frac{1}{2} \varphi V_c$$

$$509923,89 \text{ N} \leq 152155 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

2. Kondisi 2 \rightarrow tulangan geser minimum

$$\frac{1}{2} \varphi V_c < V_u \leq \varphi V_c \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$152155 \text{ N} < 509923,89 \text{ N} \leq 304311 \text{ N}$$

3. Kondisi Geser 3 → Tidak memerlukan tulangan geser
 $\phi \times Vc < Vu \leq \phi (Vc + V_{smin})$
 $304311 \text{ N} < 509923,89 \text{ N} \geq 358451 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
4. Kondisi Geser 4 → memerlukan tulangan geser
 $\phi (Vc + V_{smin}) < Vu \leq \phi (Vc + V_{smax})$
 $358451 \text{ N} < 509923,89 \text{ N} \leq 600851 \text{ N}$ (memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser kolom menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser minimum. Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4.

$$S_{\text{maks}} \leq d/2 \text{ dan } S_{\text{maks}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm} \leq 122,25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$S = 150 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$

Cek syarat 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. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi

S_o	$\leq 8 \times D_{\text{lentur}}$	
150 mm	$\leq 8 \times 25 \text{ mm}$	
150 mm	$\leq 200 \text{ mm}$	(memenuhi)

- b. 24 kali diameter batang tulangan begel
- $$S_o \leq 24 \times D_{\text{geser}}$$
- $$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$
- $$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$
- c. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- $$S_o \leq \frac{1}{2} \times b_w$$
- $$150 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 500 \text{ mm}$$
- $$150 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$
- d. $S_o \leq 300 \text{ mm}$
- $$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$
- $$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi dan S_{pakai} menggunakan 150 mm. Maka dipakai S_o sebesar $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$.

Panjang L_o tidak boleh kurang dari yang terbesar diantara syarat dibawah yaitu:

- Seperenam bentang bersih kolom
$$L_o = \frac{1}{6} \cdot (3350)$$

$$L_o = 558,33 \text{ mm}$$
 - Dimensi terbesar penampang kolom
$$L_o = 500 \text{ mm}$$
 - $L_o = 450 \text{ mm}$
2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok-kolom
3. Spasi Sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 400$ MPa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \times 25 \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 710 mm.

Perhitungan sambungan tulangan kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D25 harus ditentukan menggunakan persamaan:

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right)$$

Keterangan:

ψ_t adalah tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dibawah panjang penyaluran atau sambungan, $\psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya $\psi_t = 1$.

ψ_e adalah untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\psi_e = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (di galvanis), $\psi_e = 1,0$.

Akan tetapi, hasil $\psi_t \psi_e$ perlu lebih besar dari 1,7.

ψ_s adalah untuk batang tulangan atau kawat ulir D19 atau yang lebih kecil, $\psi_s = 0,8$. Untuk batang tulangan D22 dan yang lebih besar, $\psi_s = 1,0$.

λ adalah bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi **0,75** kecuali jika f_{cr} ditetapkan. Bila berat beton normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

Maka,

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{fy \psi t \psi e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c'}} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{400 \cdot 1.1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = 42,96$$

$$ld = 42,96 \times 25 \text{ mm}$$

$$ld = 1074 \text{ mm}$$

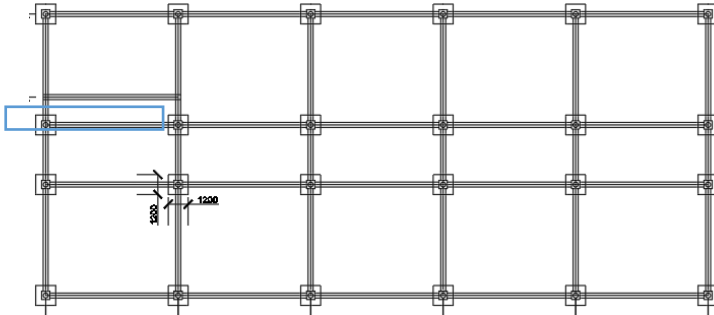
Rekap Penulangan Kolom

Tabel 4. 17 . Rekapitulasi Tulangan Kolom

Tipe Kolom	Panjang Kolom	Tul. Lentur		Tul. Geser	
K1	4 m	20	D25	D10	150

4.2.2.7 Sloof

Berikut ini adalah data perencanaan Sloof (30/60) berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari Analisa SAP2000 selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar Denah Sloof

Data-data perencanaan:

- | | |
|--|-----------|
| a. Tipe sloof | = BS |
| b. Bentang sloof (L) | = 8000 mm |
| c. Dimensi sloof (B_{sloof}) | = 300 mm |
| d. Dimensi sloof (H_{sloof}) | = 600 mm |
| e. Mutu Beton (f_c') | = 30 MPa |
| f. Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | = 400 MPa |
| g. Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) | = 240 MPa |
| h. Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | = 240 MPa |
| i. Diameter tulangan lentur (D) | = 16 mm |
| j. Diameter tulangan geser (\emptyset) | = 10 mm |
| k. Diameter tulangan puntir (D) | = 13 mm |
| Spasi antar tulangan sejajar | = 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | |
| l. Tebal selimut beton (decking) | = 40 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c)) | |
| m. Faktor β_1 | = 0,85 |

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)

n. Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,9

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)

o. Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

p. Faktor reduksi kekuatan torsi = 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Perhitungan Tulangan Sloof:

Tinggi efektif sloof:

$$\begin{aligned} dx &= h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 8 \text{ mm} \\ &= 542 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= h - d \\ &= 600 \text{ mm} - 542 \text{ mm} \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil Output SAP2000

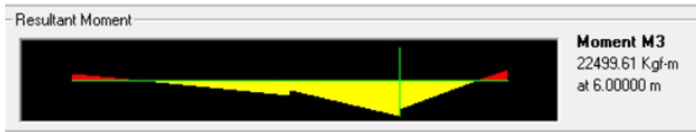
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan sloof.

➤ Hasil Output Torsi



Gambar 4. 41 Output Torsi Sloof S1A
 Kombinasi : 0,9D+1EX+0,3EY
 Momen Torsi : -4391,58 kg-m

➤ Hasil Output Momen Lentur



Gambar 4. 42 Momen Lapangan Sloof S1A
Kombinasi : 1,2D+1EX+1L+0,3EY
Momen Lentur Lapangan: 22499,61 kg-m



Gambar 4. 43 Momen Tumpuan Kiri Sloof S1A
Kombinasi : 1,2D+1EX-0,3EY+1L
Momen Lentur Tumpuan Kiri : -4653,37 kg-m



Gambar 4. 44 Momen Tumpuan Kanan Sloof S1
Kombinasi : 1,2D+1EX-0,3EY+1L
Momen Lentur Tumpuan Kanan: -7384,31 kg-m

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton:

$$A_{cp} = b_{sloof} \times h_{sloof}$$

$$A_{cp} = 300 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 180000 \text{ mm}^2$$

Parameter luar irisan penampang beton p_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{sloof} + h_{sloof})$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 \text{ mm} + 600 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1800 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$A_{oh} = (b_{sloof} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset geser) \times (h_{sloof} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset geser)$$

$$A_{oh} = (300 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (600 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 107100 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan Sengkang:

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{sloof} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset geser) + (h_{sloof} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset geser)]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(300 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (600 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1440 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan hasil Analisa struktur SAP2000 diperoleh momen puntir sebesar.

Momen puntir ultimate :

$$T_u = 43915800 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{43915800 \text{ Nmm}}{0,75} = 58554400 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.1 (a))

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{180000^2}{1800} \right)$$

$$= 6137231,257 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal Tu dapat diambil sebesar:

$$Tu_{\max} = \emptyset 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 (a))

$$= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{180000^2}{1800} \right)$$

$$= 2440103,994 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh momen puntir

Tu < Tu min , maka tulangan puntir diabaikan

Tu > Tu min, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$$Tu > Tu_{\min},$$

$$43915800 \text{ Nmm} > 6137231,257 \text{ Nmm}$$

(memerlukan tulangan puntir)

➤ Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **(SNI 03-2847 pasal 11.5.3.7)** direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)** berasal dari persamaan berikut

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot F_{yt} \cdot \cot \emptyset}$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 107100 \text{ mm}^2 \\ &= 91035 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot F_{yt} \cdot \cot \emptyset}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{58554400 \text{ Nmm}}{2 \cdot 91035 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Nmm} \cdot \text{Cot } 45}$$

$$\frac{At}{s} = 1,34 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$Al = \frac{At}{s} \times \text{Poh} \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \times \text{cot}^2 \phi$$

$$Al = 1,34 \text{ mm} \times 1440 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times \text{cot}^2 45$$

$$Al = 1157,77 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3)** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan:

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times bw}{F_{yt}}$$

$$1,34 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 300 \text{ mm}}{240}$$

$$1,34 \text{ mm} \geq 0,218 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil = 1,34 mm

Cek nilai Al min dengan persamaan:

$$\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{At}{s} \times \text{Poh} \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right)$$

Maka nilai Al min :

$$\frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 180000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 1,34 \times 1440 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$

$$Al_{\text{min}} = -894,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan Al dengan 2 kondisi yakni

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\text{min}}$ maka menggunakan Al_{min}

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\text{min}}$ maka menggunakan Al_{perlu}

Maka:

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\text{min}}$

$$1157,77 \text{ mm}^2 \geq -894,43 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Almin sebesar $1157,77 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang sloof sehingga:

$$\frac{At}{4} = \frac{1157,77 \text{ mm}^2}{4} = 289,44 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya:

3. Pada sisi atas: disalurkan pada tulangan tarik sloof

4. Pada sisi bawah: disalurkan pada tulangan tekan sloof

Maka pada masing-masing sisi atas dan bawah sloof mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $578,89 \text{ mm}^2$. Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{At}{4} = 578,89 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{At}{\text{luas tulangan}} = \frac{578,89 \text{ mm}^2}{0,25\pi 10 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,88 = 4 \text{ buah}$$

Kontrol Al pasang > Al perlu

Alpasang = n pasang x luasan D puntir

$$= 4 \times \frac{1}{4} \pi (16)^2$$

$$= 804,25 \text{ mm}^2$$

Maka = Alpasang > Alperlu

$$= 804,25 \text{ mm}^2 > 578,89 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri dan kanan sebesar $4\emptyset 16$.

Perhitungan Tulangan Lentur

Garis Netral dalam kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600+400} \times 542 \text{ mm}$$

$$= 325,2 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 325,2 \text{ mm}$$

$$= 243,9 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d''$$

$$= 58 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 125 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 300 \text{ mm} \times 0,85 \times 125 \text{ mm}$$

$$C_c' = 812812,5 \text{ N}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$\text{Asc} = \frac{C_c'}{f_y} = \frac{812812,5 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}}$$

$$= 2032,03 \text{ mm}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = \text{Asc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2032,03 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(542 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 125 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 397363710,9 \text{ Nmm}$$

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

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$P_b = \left(\frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600+400} \right) \\
 &= 0,0325 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0243 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,686
 \end{aligned}$$

DAERAH TUMPUAN KANAN

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan sloof menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 1,2D+1EX+1L+0,3EY

$$M_u = 73843100 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{73843100 \text{ Nmm}}{0,9} \\
 &= 82047889 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 82047889 \text{ Nmm} - 397363710,9 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -315315822 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{82047889 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm} \times (542 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,931 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,931}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,0024$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 > 0,0024 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 300 \times 542$$

$$= 569,1 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$A_{\text{s perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$= 569,1 \text{ mm}^2 + 289,44 \text{ mm}^2$$

$$= 858,54 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan sloof

Jumlah tulangan Tarik

$$n = \frac{A_{\text{s perlu}}}{\text{luas tulangan}}$$

$$= \frac{829,54 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2}$$

$$= 4,27 = 6 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan Tarik 6-D16

$$A_{\text{pasang}} = n \times A_s \text{ tulangan Tarik}$$

$$= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 1206,86 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

As pasang \geq As perlu

$$1206,86 \text{ mm}^2 \geq 858,54 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\text{As' perlu} = 0,3 \times \text{As perlu}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$= 0,3 \times 858,54 \text{ mm}^2$$

$$= 257,56 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\text{As perlu} = \text{As} + \frac{A_l}{4}$$

$$= 257,56 \text{ mm}^2 + 289,44 \text{ mm}^2$$

$$= 547,01 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan}}$$

$$= \frac{743,2 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,69 = 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan 4-D16

$$\text{As' pasang} = n \times \text{As tulangan tekan}$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2$$

$$= 804,571 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

As' pasang \geq As' perlu

$$804,571 \text{ mm}^2 \geq 547,01 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

Smaks \geq Ssejajar = mm \rightarrow susun 1 lapis

Smaks \leq Ssejajar = mm \rightarrow susun lebih dari Satu

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b-(2 \times \text{decking})-(2 \times \emptyset \text{geser})-(\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan}-1} \\ &= \frac{300 \text{ mm}-(2 \times 40 \text{ mm})-(2 \times 10 \text{ mm})-(6 \times 16 \text{ mm})}{6-1} \\ &= 21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar}$$

$$21 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \text{ (susun 2 lapis)}$$

Lapis 1 : 3 buah

Lapis 1 : 3 buah

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b-(2 \times \text{decking})-(2 \times \emptyset \text{geser})-(\text{jumlah tul.} \times \text{Dlentur})}{\text{jumlah tulangan}-1} \\ &= \frac{300 \text{ mm}-(2 \times 40 \text{ mm})-(2 \times 10 \text{ mm})-(4 \times 16 \text{ mm})}{4-1} \\ &= 45,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar}$$

$$45,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur sloof 30/60 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik susun 2 lapis : 6-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 4-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada sloof

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 6-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1206,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 4-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,571 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$804,571 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1206,86 \text{ mm}^2$$

$$804,571 \text{ mm}^2 \geq 402,29 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kanan dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 6-D16

Tulangan tekan : 4-D16

Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As}_{\text{pasang}} \text{ tulangan tarik 6-D16} = 1206,86 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm}} \\ &= 63,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= (\text{As} \cdot f_y \times (d - \frac{a}{2})) \\ &= (1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \times (542 \text{ mm} - \frac{63,1 \text{ mm}}{2})) \\ &= 246415212 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

Mnpasang > Mu

$0,8 \times 246415212 \text{ Nmm} > 73843100 \text{ Nmm}$

$197132170 \text{ Nmm} > 73843100 \text{ Nmm}$ (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof 30/60 untuk daerah tumpuan kanan adalah:

Tulangan lentur tarik 2 lapis : 6-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 4-D16

DAERAH TUMPUAN KIRI

Perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri sloof yang didapat dari SAP2000 dari kombinasi 1,2D+1EX+1L+0,3EY:

$M_u = 46533700 \text{ Nmm}$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{46533700 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 51704111 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$M_{ns} = M_n - M_{nc}$

$M_{ns} = 51704111 \text{ Nmm} - 397363710,9 \text{ Nmm}$

$M_{ns} = -345659600 \text{ Nmm}$

$M_{ns} < 0$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{51704111 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm} \times (542 \text{ mm})^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,59 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,59}{400} \right)} \right) \\
 &= 0,0015
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 > 0,0015 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As}_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 300 \times 542 \\
 &= 569,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 \text{As}_{\text{perlu}} &= \text{As} + \frac{At}{4} \\
 &= 569,1 \text{ mm}^2 + 289,44 \text{ mm}^2 \\
 &= 858,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan sloof

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As}_{\text{perlu}}}{\text{luas tulangan}} \\
 &= \frac{858,54 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\
 &= 4,27 = 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 6-D16

$$\begin{aligned}
 \text{As}_{\text{pasang}} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\
 &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 1206,86 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\text{As}_{\text{pasang}} \geq \text{As}_{\text{perlu}}$$

$$1206,86 \text{ mm}^2 \geq 858,54 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' \text{ perlu} &= 0,3 \times As \text{ perlu} \\ (\text{SNI } 03-2847-2013 \text{ pasal } 21.3.4.1) \\ &= 0,3 \times 858,54 \text{ mm}^2 \\ &= 257,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= As + \frac{At}{4} \\ &= 257,56 \text{ mm}^2 + 289,44 \text{ mm}^2 \\ &= 547,01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{547,01 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 2,72 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 4-D16

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times As \text{ tulangan tekan} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &\geq As' \text{ perlu} \\ 804,57 \text{ mm}^2 &\geq 547,01 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = \text{mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = \text{mm} \rightarrow$ susun lebih dari satu

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul. } \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (6 \times 16 \text{ mm})}{6 - 1} \\ &= 21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

21 mm \leq 25 mm (susun 2 lapis)

Lapis 1 : 3 buah

Lapis 1 : 3 buah

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times decking) - (2 \times \emptyset geser) - (\text{jumlah tul.} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 16 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 45,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

45,33 mm \geq 25 mm (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur sloof 30/60 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis : 6-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 4-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada sloof

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 6-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1206,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 4-D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan Tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$804,57 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1206,86 \text{ mm}^2$$

$$804,57 \text{ mm}^2 \geq 402,29 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 6-D16

Tulangan tekan : 4-D16

Kontrol kemampuan penampang

Aspasang tulangan tarik 6-D16 = 1206,86 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \\ &= \frac{1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm}} \\ &= 63,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= (As \cdot fy \times (d - \frac{a}{2})) \\ &= (1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \times (542 \text{ mm} - \frac{63,1 \text{ mm}}{2})) \\ &= 246415212,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

Mnpasang > Mu

$$0,8 \times 246415212,5 \text{ Nmm} > 46533700 \text{ Nmm}$$

$$197132170 \text{ Nmm} > 46533700 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk sloof 30/60 untuk daerah tumpuan kiri adalah:

Tulangan lentur tarik 2 lapis : 6-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 4-D16

DAERAH LAPANGAN

Perhitungan tulangan lentur lapangan sloof menggunakan momen terbesar.

Momen lentur ultimate:

$$M_u = 224996100 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{224996100 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 249995667 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat:

$M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 249995667 \text{ Nmm} - 397363710,9 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -147368044 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga tidak perlu menggunakan tulangan lentur tekan dan perencanaan selanjutnya menggunakan tulangan lentur tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{249995667 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm} \times (542 \text{ mm})^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,837 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m Rn}{fy} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,686 \cdot 2,837}{400} \right)} \right) \\
 &= 0,0075
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,0075 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0075 \times 300 \times 542 \\
 &= 1225,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 1225,57 \text{ mm}^2 + 289,44 \text{ mm}^2 \\
 &= 1515,01 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 mm untuk tulangan tarik dan tulangan tekan sloof

Jumlah tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{luas tulangan}} \\
 &= \frac{1515,01 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\
 &= 7,53 = 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Tarik 8-D16

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\
 &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 1609,14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$1609,14 \text{ mm}^2 \geq 1515,01 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jumlah tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s &= 0,3 \times A_s \text{ Perlu} \\ &= 0,3 \times 1515,01 \text{ mm}^2 \\ &= 454,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 454,5 \text{ mm}^2 + 289,44 \text{ mm}^2 \\ &= 743,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \\ &= \frac{743,95 \text{ mm}^2}{201,06 \text{ mm}^2} \\ &= 3,7 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tekan 4-D16

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tulangan tekan}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &\geq A_s'_{\text{perlu}} \\ 804,57 \text{ mm}^2 &\geq 743,2 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pasang

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = \text{mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu}$$

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul.} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (8 \times 16 \text{ mm})}{8-1}$$

$$= 10,28 \text{ mm}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

$10,28 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$ (susun 2 lapis)

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{geser}) - (\text{jumlah tul. } \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 16 \text{ mm})}{4-1}$$

$$= 45,3 \text{ mm}$$

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$

$45,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (susun 1 lapis)

Maka dipakai tulangan lentur sloof 30/60 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik susun 2 lapis : 8-D16

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis : 4-D16

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan persamaan diatas dilakukan pengecekan dan peninjauan terhadap tulangan pasang:

Tulangan Tarik 8-D16

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 1609,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan 4-D16

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_s \text{ tulangan Tarik} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$804,57 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1609,14 \text{ mm}^2$$

$$804,57 \text{ mm}^2 \geq 536,38 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah lapangan dipasang tulangan:

Tulangan Tarik : 8-D16

Tulangan tekan : 4-D16

Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pakai}}$ tulangan tarik D16 = 804,57 mm²

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{1609,14 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm}} \\ &= 84,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n = (A_s \cdot f_y \times (d - \frac{a}{2}))$$

$$\begin{aligned} M_n &= (1609,14 \times 400 \times (542 - \frac{84,14}{2})) \text{ Nmm} \\ &= 321784098,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$0,8 \cdot M_{n_{pasang}} > M_{n_{perlu}}$$

257427278,7 Nmm > 247944444 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof 30/60 untuk daerah lapangan adalah:

Tulangan lentur tarik 2 lapis : 8-D16

Tulangan lentur tekan 1 lapis : 4-D16

Perhitungan Tulangan Geser

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri sloof. Luasan tulangan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut

As pakai tulangan tarik 6-D16 = 1206,86 mm²

As pakai tulangan tekan 4-D16 = 804,57 mm²

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \\
 &= \frac{1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm}} \\
 &= 63,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_1 &= As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(542 \text{ mm} - \frac{63,1 \text{ mm}}{2}\right) \\
 &= 246415212 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 6-D16 : 1206,86 mm²

As pakai tulangan tekan 4-D16 : 804,57 mm²

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b}$$

$$= \frac{1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \cdot 30 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 300 \text{ mm}}$$

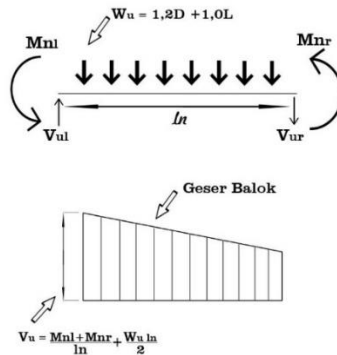
$$= 63,1 \text{ mm}$$

$$Mn_r = As' \cdot fy \cdot x \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1206,86 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{N}{\text{mm}^2} \times \left(542 \text{ mm} - \frac{63,1 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 246415212,5 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4



Gambar 4. 45 Geser Desain untuk SRPMM

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.1 (a))

Keterangan:

W_u : beban terfaktor

V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan

M_{n1} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kiri)

M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan
(kanan)

l_n : Panjang balok bersih

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2 \left(\frac{1}{2} \times b_{\text{kolom}} \right) \\ &= 8000 \text{ mm} - 2 \left(\frac{1}{2} \times 500 \text{ mm} \right) \\ &= 7500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beban yang bekerja pada balok

$$\begin{aligned} \text{Beban sendiri balok (WD)} &= 0,3 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 432 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (WSD)

$$\text{Dinding} = 580 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban hidup (WL)} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2D + 1,2SD + 1,6L \\ &= 1,2(432 \text{ kg/m}) + 1,2(580 \text{ kg/m}^2) + 1,6(192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 518,4 \text{ kg/m} + 696 \text{ kg/m} + 307,2 \text{ kg/m} \\ &= 1521,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan:

$$V_{uT} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$V_{uT} = \frac{246415212,5 \text{ Nmm} + 246415212,5 \text{ Nmm}}{7500 \text{ mm}} + \frac{1521,6 \cdot 7,5}{2}$$

$$V_{uT} = 71416,72 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.1)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,47 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 300 \text{ mm} \times 542 \text{ mm}$$

$$V_c = 151401,5 \text{ N}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 300 \times 542 \\ &= 53658 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 300 \times 542 \\ &= 293896,97 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{30} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 542 \\ &= 587793,94 \text{ N} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

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 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Perhitungan Penulangan Geser Sloof

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$V_{u1} = 71416,72 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 \rightarrow Tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$
 $71416,72 \text{ N} \geq 56775,55 \text{ N}$ (tidak memenuhi)
2. Kondisi Geser 2 \rightarrow Tulangan geser minimum
 $0,5 \times \varphi \times V_c < V_u \leq \varphi \times V_c$
 $56775,55 \text{ N} < 71416,72 \text{ N} \leq 113551,1 \text{ N}$ (memenuhi)

Maka selanjutnya perhitungan penulangan geser sloof induk menggunakan persyaratan kondisi 2.

$$\begin{aligned} V_{S\min} &= \frac{b_w d}{3} \\ &= \frac{300 \cdot 542}{3} \\ &= 54200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{V\min} &= \frac{b_w S}{3 \cdot f_y} \\ &= \frac{200 \cdot 100}{3 \cdot 240} \\ &= 41,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v f_y d}{V_s} \\ &= \frac{41,67 \cdot 240 \cdot 542}{54200} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

tulangan geser $\phi 10$ mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2.

Digunakan spasi tulangan minimum 100 mm

$$S_{\text{maks}} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq d/2$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{542 \text{ mm}}{2}$$

$$100 \text{ mm} \leq 271 \text{ mm (OK)}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$$

A_v pakai $>$ A_v perlu

$$100 \text{ mm}^2 > 41,67 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada sloof

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 50mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter Sengkang
- d. 300 mm

(SNI 03-2847 2013 pasal 21.3.4.(2))

Cek persyaratan:

- a. Spakai < d/4
100 mm < 135 mm (memenuhi)
- b. Spakai < 8 x Dlentur
100 mm < 8 x 16 mm
100 mm < 128 mm (memenuhi)
- c. Spakai < 24 x Dgeser
100 mm < 24 x 10
100 mm < 240 mm (memenuhi)
- d. Spakai < 300 mm
100 mm < 300 mm (memenuhi)

Maka digunakan tulangan geser (sengkang) Ø10-100 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan sloof.

Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{0,5Ln - 2h} = \frac{Vu_1}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (0,5Ln - 2h)}{0,5Ln}$$

$$Vu_2 = \frac{71416,72 \text{ N} \times (0,5 \cdot 7500 \text{ mm} - 2 \cdot 600 \text{ mm})}{0,5 \cdot 7500 \text{ mm}}$$

$$Vu_2 = 48563,37 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser
 $Vu \leq 0,5 \times \varphi \times Vc$
48563,37 N ≤ 56775,55 N (memenuhi)

Sehingga perhitungan penulangan geser sloof daerah lapangan tidak perlu dihitung hanya menggunakan tulangan minimum.

1. Perhitungan panjang penyaluran dalam kondisi tarik

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

(SNI 2847: 2013 pasal 12.2.1)

Maka:

$$\begin{aligned} l_d &= \frac{400 \text{ Nmm} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \times 16 \\ &= 687,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$687,36 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Reduksi Panjang penyaluran :

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{858,54 \text{ mm}^2}{1206,86 \text{ mm}^2} \times 687,36 \text{ mm}$$

$$l_d \text{ reduksi} = 488,97 \text{ mm}$$

2. Panjang penyaluran dalam kondisi tekan

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

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 280,43 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \times 400 \text{ Mpa} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $l_{dc} = 280,43 \text{ mm}$

Reduksi Panjang penyaluran tulangan :

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times I_{dc}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = \frac{547,01 \text{ mm}^2}{804,57 \text{ mm}^2} \times 280,43 \text{ mm}$$

$$I_{dc} \text{ reduksi} = 190,66 \text{ mm}$$

3. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30} \text{ Nmm}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 280,43 \text{ mm}$$

$$8_{db} = 8 \times 16 \text{ mm}$$

$$= 128 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$280,43 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$l_{dh} > 8_{db}$$

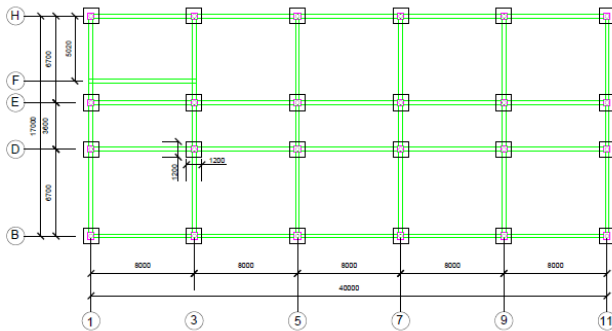
$$280,43 \text{ mm} > 128 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Gambar 4. 46 Rekap Hasil Penulangan Sloof (BS)

Sloof (BS)		
Keterangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi (mm)	300/600	300/600
Tulangan Lentur Atas	6D16	4D16
Tulangan Torsi	4Ø13	4Ø13
Tulangan Lentur Bawah	4D16	8D16
Sengkang	Ø10 – 100	Ø10 – 200

4.2.2.8 Pondasi

Pada perhitungan struktur pondasi, dimensi dari poer dan jumlah tiang pancang dihitung berdasarkan besarnya gaya yang terjadi pada titik yang ditinjau, sehingga akan menghasilkan pondasi yang efisien. Untuk denah pondasi rencana adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 47 Denah Pondasi

Daya dukung tanah dihitung menggunakan rumus Meyerhof (1976). Berdasarkan nilai N-SPT, daya dukung tanah secara empiris dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{(40.N_b.A_p + 0,2.N.A_s)}{SF}$$

(Meyerhof 1976)

N_b = Nilai SPT di sekitar dasar tiang, dihitung dari 10D di atas dasar tiang s.d 4D di bawah dasar tiang.

A_p = Luas penampang dasar tiang (m^2)

N = Harga N-SPT rata - rata

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

SF = Safety Factor

Perhitungan Daya Dukung Tanah

1. Data perencanaan

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 (Ap)	: 0,09 m ²
Luas selimut tiang (As)	: 24 m ²
Mutu beton (fc')	: 30 MPa
Safety factor (SF)	: 3

2. Data tanah

Tabel 4. 18 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

$$Q_{ijin} = \frac{(40 \cdot 22,2 \cdot 0,09 \text{ m}^2 + 0,2 \cdot 16,7 \cdot 24 \text{ m}^2)}{3}$$

$$Q_{ijin} = 53,36 \text{ ton}$$

3. Kebutuhan jumlah tiang (Output SAP 2000)

$$P_{maks} = 169,1 \text{ ton (1D+1L)}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 4,4 \text{ tm (1D+1L)} \\ M_{uy} &= 5,5 \text{ tm (1D+1L)} \\ n &= \frac{P_{maks}}{P_{ijin}} = \frac{169,1 \text{ ton}}{53,36 \text{ ton}} = 3,17 \rightarrow 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Bahan (*Pile*)


Berdasarkan brosur tiang pancang Smartindo Cahaya Gemilang, didapatkan kemampuan bahan sebagai berikut:

Tabel 4. 19 Spesifikasi Tiang Pancang

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	4.8	9.6	145
			13-15	5.5	10.7	152
40x40	400	1600	16-18	5.8	10.8	151
			6-12	6.0	12.5	205
40x40	400	1600	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 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

$$\begin{aligned} Q \text{ ijin tiang} &> Q \text{ ijin tanah} \\ 115 \text{ ton} &> 53,36 \text{ ton (OK)} \end{aligned}$$

Perencanaan Pile Cap

1. Data Perencanaan

$$\begin{aligned} \text{BJ beton} &: 2,4 \text{ t/m}^3 \\ Q \text{ ijin} &: 53,36 \text{ ton} \\ \text{Lebar kolom} &: 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tul. utama	: 16 mm
Tul. susut	: 12 mm
Mutu beton	: 30 Mpa
Mutu baja	: 400 Mpa
Selimit beton	: 75 mm
Tebal pile cap	: 500 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.a)

2. Perencanaan dimensi pile cap.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam menghitung jarak antar tiang pancang (S) menurut “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa – Jilid 2 (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)” menyebutkan bahwa:

a. Jarak antar tiang pancang (S)

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \geq 2,5 \times 0,3 \text{ m}$$

$$S \geq 0,75 \text{ m}$$

Dipakai jarak: 0,75 m

b. Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap (S')

$$S' \geq 1,5 D$$

$$S' \geq 1,5 \times 0,3 \text{ m}$$

$$S' \geq 0,45 \text{ m}$$

Dipakai jarak : 0,45 m

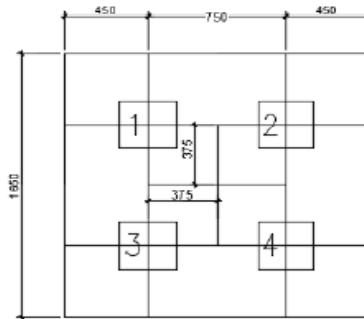
Sehingga didapatkan total lebar pile cap

$$b = S' + S + S'$$

$$= 0,45 \text{ m} + 0,75 \text{ m} + 0,45 \text{ m}$$

$$= 1,65 \text{ m}$$

$$b = h = 1,65 \text{ m}$$



Gambar Dimensi Pilecap

Pengecekan Ulang Kebutuhan Pile

Pemeriksaan ulang kebutuhan tiang setelah didapat dimensi pile cap dan diasumsikan tebal pile cap.

$$\begin{aligned} \text{Berat pile cap} &= \text{Volume pile cap} \cdot \text{BJ Beton} \\ &= 0,5 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ t/m}^3 \\ &= 3,27 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah} &= (\text{Apilecap-Akolom}) \text{ tebal} \cdot \text{Bjtanah} \\ &= (1,65\text{m}^2 - 0,50^2) \cdot 1\text{m} \cdot 1,68 \text{ t/m}^3 \\ &= 4,15 \text{ ton} \end{aligned}$$

P akibat beban pondasi

$$\begin{aligned} \text{Berat pile cap} &= 3,27 \text{ ton} \\ \text{Berat tanah di atas pilecap} &= 4,15 \text{ ton} \\ \text{P aksial} &= \frac{169,1 \text{ ton}}{4} + \\ &= 176,52 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$n = \frac{P_{total}}{P_{tiang}} = \frac{176,52 \text{ ton}}{53,36 \text{ ton}} = 3,31 \text{ ton} \rightarrow 4 \text{ buah}$$

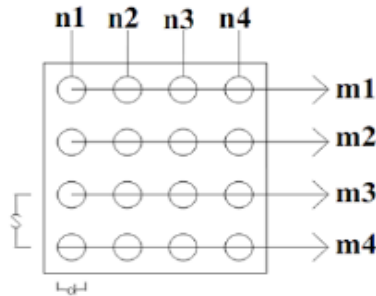
Efisiensi Daya Dukung Kelompok Tiang

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.

Rumus efisiensi,,,,,,,,,,,,,

$$\eta = 1 - \text{Arctag} \left(\frac{D}{S} \right) \left[\frac{(m-1)n+(n-1)m}{90 mn} \right]$$



(Converse Labarre)

- 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:

$$\eta = 1 - \text{Arctag} \left(\frac{0,3m}{0,75m} \right) \left[\frac{(2-1)2+(2-1)2}{90.2.2} \right]$$

$$\eta = 0,996$$

$$P \text{ ijin kelompok} = \eta \cdot P_{\text{tiang}}$$

$$= 0,996 \times 53,36 \text{ ton}$$

$$= 53,12 \text{ ton}$$

Perhitungan Beban Maks. yang diterima tiang

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. Maka rumus yang dipakai adalah sebagai 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 sumbu X dan Y

x, y : Jarak dari sumbu x dan y ke tiang

$\Sigma x^2, \Sigma y^2$: Momen inersia dari kelompok tiang

V : jumlah beban vertikal total

N : Jumlah tiang kelompok

P : reaksi tiang atau beban axial tiang

Tabel 4. 20 Jarak Tiang Pancang ke Pusat Kolom

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

(Output SAP 2000)

1. Ditinjau dari kombinasi beban tetap

(1D + 1L)

M_{ux} = 4,4 tm

M_{uy} = 5,5 tm

$$V = P_{total} = 176,52 \text{ ton}$$

$$n = 4$$

$$\begin{aligned} P \text{ tiang 1} &= \frac{P_{total}}{n_{total}} + \frac{Mux.Y \text{ max}}{\Sigma y^2} + \frac{Muy.X \text{ max}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{176,52 \text{ ton}}{4} + \frac{4,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} + \frac{5,5 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\ &= 48,22 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ tiang 2} &= \frac{P_{total}}{n_{total}} + \frac{Mux.Y \text{ max}}{\Sigma y^2} - \frac{Muy.X \text{ max}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{176,52 \text{ ton}}{4} + \frac{4,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} - \frac{5,5 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\ &= 45,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ tiang 3} &= \frac{P_{total}}{n_{total}} - \frac{Mux.Y \text{ max}}{\Sigma y^2} + \frac{Muy.X \text{ max}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{176,52 \text{ ton}}{4} - \frac{4,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} + \frac{5,5 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\ &= 42,36 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ tiang 4} &= \frac{P_{total}}{n_{total}} - \frac{Mux.Y \text{ max}}{\Sigma y^2} - \frac{Muy.X \text{ max}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{176,52 \text{ ton}}{4} - \frac{4,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} - \frac{5,5 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\ &= 40,04 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Ditinjau dari kombinasi beban sementara

$$(1,2D + 1L + 1 Ex + 1 Ey)$$

$$Mux = 7,4 \text{ tm}$$

$$Muy = 3,9 \text{ tm}$$

$$V = P_{total} = 179,28 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} P \text{ tiang 1} &= \frac{P_{total}}{n_{total}} + \frac{Mux.Y \text{ max}}{\Sigma y^2} + \frac{Muy.X \text{ max}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{179,28 \text{ ton}}{4} + \frac{7,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} + \frac{3,9 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\ &= 50,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ tiang 2} &= \frac{P_{total}}{n_{total}} + \frac{Mux.Y \text{ max}}{\Sigma y^2} - \frac{Muy.X \text{ max}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{179,28 \text{ ton}}{4} + \frac{7,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} - \frac{3,9 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\ &= 48,93 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ tiang } 3 &= \frac{P_{total}}{n_{total}} - \frac{Mux.Y_{max}}{\Sigma y^2} + \frac{Muy.X_{max}}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{179,28 \text{ ton}}{4} - \frac{7,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} + \frac{3,9 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\
 &= 40,71 \text{ ton} \\
 P \text{ tiang } 4 &= \frac{P_{total}}{n_{total}} - \frac{Mux.Y_{max}}{\Sigma y^2} - \frac{Muy.X_{max}}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{179,28 \text{ ton}}{4} - \frac{7,4 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} - \frac{3,9 \text{ tm} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,5625} \\
 &= 39,1 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka $P_{maks} = 50,6 \text{ ton}$

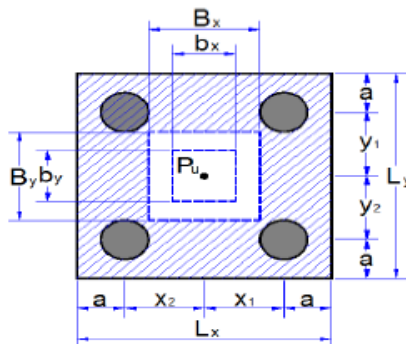
Syarat

$P_{maks} < P \text{ ijin kelompok}$

$50,6 \text{ ton} < 53,12 \text{ ton (OK)}$

Pemeriksaan Terhadap Geser Dua Arah

Perhitungan geser pons bertujuan untuk mengetahui apakah tebal pile cap cukup kuat untuk menahan beban terpusat yang terjadi. Bidang kritis untuk perhitungan geser pons dapat dianggap tegak lurus bidang pelat yang terletak pada jarak $0,5d$ dari keliling beban reaksi terpusat tersebut, dimana d adalah tinggi efektif pelat.



Gambar 4. 48 Ilustrasi Geser 2 Arah

1. Geser dua arah akibat kolom.

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pile cap} - \text{selimut} - \emptyset \text{ tul.} \\ &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 22/2 \text{ mm} \\ &= 414 \text{ mm} \end{aligned}$$

Daerah kritis berada pada jarak $d/2$ dari muka kolom

$$d/2 = \frac{414 \text{ mm}}{2} = 207 \text{ mm}$$

Sehingga, dimensi area kritis:

$$\begin{aligned} B_x &= b_x + d \\ &= 500 \text{ mm} + 414 \text{ mm} \\ &= 914 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_y &= b_y + d \\ &= 500 \text{ mm} + 414 \text{ mm} \\ &= 914 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 2 (B_x + B_y) \\ &= 2 (914 \text{ mm} + 914 \text{ mm}) \\ &= 3.656 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_x = 1650 \text{ mm}$$

$$L_y = 1650 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_t &= (L_x \times L_y) - (B_x \times B_y) \\ &= (1650 \text{ mm} \times 1650 \text{ mm}) - (914 \text{ mm} \times 914 \text{ mm}) \\ &= 1.887.104 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha_s = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_c &= L_x/L_y \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\lambda = 1$$

$$\begin{aligned} V_u &= P_{\text{kolom}} \\ &= 1691,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka, untuk nilai V_c yang dipakai adalah yang terkecil diantara tiga pers. berikut.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1 (a),(b), dan (c))

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+\lambda}{\beta_c} \right) \lambda f_c^{0,5} b_0 d = 4.228.023 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{a_s d}{b_0} \right) \lambda f_c^{0,5} b_0 d = 4.492.912 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda f_c^{0,5} b_0 d = 2.735.780 \text{ N (Menentukan)}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 2.735.780 \text{ N}$$

$$= 2.051.835 \text{ N} = 2.051,84 \text{ kN}$$

$$= 2.051,84 \text{ kN} > V_u (1.691,32 \text{ kN}) \text{ (OK)}$$

2. Geser dua arah akibat tiang pancang

$$\phi + d = 300 \text{ mm} + 414 = 714 \text{ mm}$$

$$b_0 = 4 (714 \text{ mm}) = 2.856 \text{ mm}$$

Diketahui beban terpusat tiang pancang

$$V_u = P_u = 50,575 \text{ ton}$$

$$= 505,75 \text{ kN}$$

Maka, untuk nilai V_c yang dipakai adalah yang terkecil diantara tiga pers. berikut.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1 (a),(b), dan (c))

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \lambda f_c^{0,5} b_0 d = 3.302.853,7 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{a_s d}{b_0} \right) \lambda f_c^{0,5} b_0 d = 4.191.778 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda f_c^{0,5} b_0 d = 2.137.140 \text{ N (Menentukan)}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 2.137.140 \text{ N}$$

$$= 1.602.855 \text{ N} = 1.602,86 \text{ kN}$$

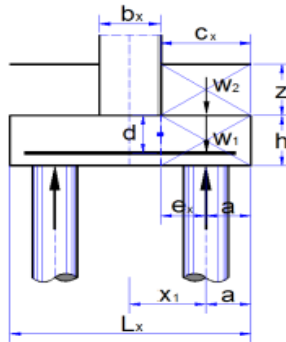
$$1.602,86 \text{ kN} > V_u (505,75 \text{ kN}) \text{ (OK)}$$

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.

Data perencanaan penulangan :

F_c'	= 30 Mpa
F_y	= 400 Mpa
Decking	= 75 mm
D tulangan	= 22 mm
D	= 414 mm
BJ beton	= 2,4 t/m ³
BJ tanah	= 1,68 t/m ³



Gambar 4. 49 Ilustrasi beban yang bekerja pada pondasi

C_x (jarak dari ujung poer ke tepi kolom) = 0,575 m

e_x (jarak dari as pancang ke tepi kolom) = 0,288 m

z = 1 m

h = 0,5 m

L_y = 1,65 m

Q diatas bidang ditinjau = berat poer (W_1) dan tanah (W_2)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= C_x \cdot h \cdot L_y \cdot \text{BJ beton} \\
 &= 0,575 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ t/m}^3 \\
 &= 1,1385 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= C_x \cdot z \cdot L_y \cdot \text{BJ tanah} \\
 &= 0,575 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 1,68 \text{ t/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,59 \text{ ton} \\
 Q &= W1 + W2 \\
 &= 2,73 \text{ ton} \\
 P &= P_{\text{maks}} \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 50,6 \text{ ton} \times 2 \\
 &= 101,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

1. Tulangan Arah X

$$\begin{aligned}
 Mu &= Mp - Mq \\
 &= (P \cdot e_x) - (0,5 \cdot Qu \cdot b l^2) \\
 &= (101,2 \times 0,288) - (0,5 \times 2,73 \times 0,575^2) \\
 &= 286.436.968,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{286.436.968,8}{0,9 \cdot 1650414^2}$$

$$Rn = 1,125 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot 1,125}{400}} \right) \\
 &= 0,0029
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan

$$\rho > \rho_{\text{min}}$$

Karena $\rho_{\text{min}} > \rho$, maka ρ ditambah 30% dari ρ . Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1,3 \times \rho \\
 &= 1,3 \times 0,0029 \\
 &= 0,0037
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0037 \cdot 1650 \cdot 544 \\
 &= 2556,15 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan D22-200 dengan As pakai = 3136,1 mm²

2. Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned} Mu &= Mp - Mq \\ &= (P \cdot e_x) - (0,5 \cdot Qu \cdot b^2) \\ &= (101,2 \times 0,288) - (0,5 \times 2,73 \times 0,575^2) \\ &= 286.436.968,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{286.436.968,8}{0,9 \cdot 1650414^2}$$

$$Rn = 1,125 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot 1,125}{400}} \right) \\ &= 0,0029 \end{aligned}$$

Cek persyaratan

$$\rho > \rho_{\min}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$, maka ρ ditambah 30% dari ρ .

Sehingga :

$$\begin{aligned} \rho &= 1,3 \times \rho \\ &= 1,3 \times 0,0029 \\ &= 0,0037 \end{aligned}$$

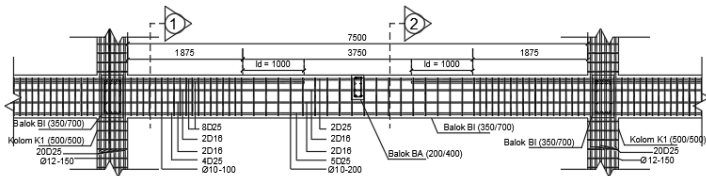
$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0037 \cdot 1650 \cdot 544 \\ &= 2556,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan D22-200 dengan As pakai = 3136,1 mm²

4.2.2.9 Perhitungan Volume Satu Segmen Portal

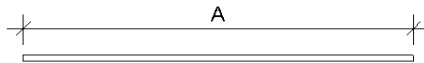
Perhitungan volume pembesian satu segmen portal terdiri dari volume pembesian balok induk, balok induk atap, sloof dan kolom. Berikut ini adalah contoh perhitungan volume pembesian balok induk:

- Perhitungan Volume



Gambar 4. 50 Detail Penulangan Balok

- Tulangan tumpuan kiri & kanan (tarik)

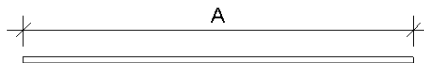


Gambar 4. 51 Potongan Tulangan Tumpuan Kiri dan Kanan (Tarik)

$$\begin{aligned} A &= \text{panjang segmen} + (l_{dh}) \\ &= 2125 \text{ mm} + 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang total} = 3125 \text{ mm}$$

- Tulangan tumpuan kiri & kanan (tekan)

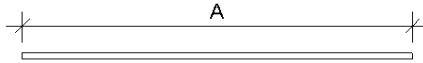


Gambar 4. 52 Potongan Tulangan Tumpuan Kiri & Kanan (Tekan)

$$\begin{aligned} A &= \text{panjang segmen} + (l_{dh}) \\ &= 2125 \text{ mm} + 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang total = 3125 mm

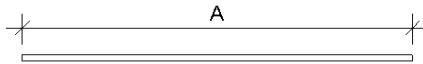
- Tulangan Torsi 1 (sepanjang tumpuan)



Gambar 4. 53 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Tumpuan)

A = 2125 mm

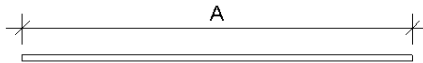
- Tulangan Torsi 2 (sepanjang tumpuan)



Gambar 4. 54 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Tumpuan)

A = 2125 mm

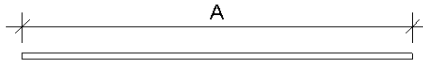
- Tulangan Lapangan (Tekan)



Gambar 4. 55 Potongan Tulangan Lapangan (Tekan)

A = 1750 mm

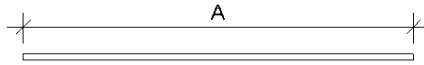
- Tulangan Lapangan (Tarik)



Gambar 4. 56 Potongan Tulangan Lapangan (Tarik)

A = 1750 mm

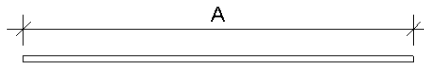
- Tulangan Torsi 1 (sepanjang lapangan)



Gambar 4. 57 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Lapangan)

$$A = 3750 \text{ mm}$$

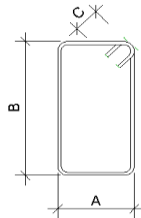
- Tulangan Torsi 2 (sepanjang lapangan)



Gambar 4. 58 Potongan Tulangan Balok Torsi (Sepanjang Lapangan)

$$A = 3750 \text{ mm}$$

- Tulangan Geser Tumpuan Kanan dan Kiri



Gambar 4. 59 Potongan Tulangan Balok Geser Tumpuan

$$A = 270 \text{ mm}$$

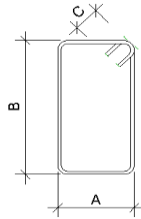
$$B = 620 \text{ mm}$$

$$C = 75 \text{ mm}$$

$$A+B+C = 975 \text{ mm}$$

Jumlah = 38 buah

- Tulangan Geser Lapangan



Gambar 4. 60 Potongan Tulangan Balok Geser Lapangan

A = 270 mm

B = 620 mm

C = 75 mm

A+B+C = 975

Jumlah = 18 buah

Tabel 4. 21 Rekapitulasi Volume Tulangan Balok

Type	Jumlah	Total Panjang (m)	Berat (kg)
Balok Induk Tengah (35/70)	9	1564,6 meter	3781,28 kg
Balok Induk Tepi (35/70)	6	1151,1 meter	2883,57 kg
Balok Atap Tengah (35/70)	3	468,15 meter	489,4 kg
Balok Atap Tepi	2	309,61 meter	334,98 kg

(35/70)			
Sloof Tengah (30/60)	3	576,3 meter	725,19 kg
Sloof Tepi (30/60)	2	401,49 meter	508,34 kg

Tabel 4. 22 Rekapitulasi Volume Tulangan Kolom

Tipe	Total Panjang (m)	Total Berat (kg)
Kolom (50/50)	840,7 meter	3130,19 kg

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Volume Tulangan Pelat

Tipe	Jumlah	Total Panjang (m)	Total Berat (kg)
Pelat (4x3,35)	30	7876,92 meter	4857,434 kg
Pelat (8x6,7)	10	5133,14 meter	3165,44 kg

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- i. Hasil perhitungan struktur gedung Apartemen The Rosebay yang telah diuraikan, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Balok (35/70)

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Penulangan Balok (35/70)

Tipe Balok	Bentang (cm)	Torsi	Lentur				Geser	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
			Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BI	800	4D16	8D25	4D25	5D25	2D25	Ø10-100	Ø10-200
BP	800	4D10	6D16	3D16	5D16	3D16	Ø10-100	Ø10-200

2. Balok (30/60)

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Penulangan Balok (30/60)

Tipe Balok	Bentang (cm)	Torsi	Lentur				Geser	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
			Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BS	800	4D13	6D16	4D16	8D16	4D16	Ø10-100	Ø10-200

3. Balok (20/40)

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Penulangan Balok (20/40)

Tipe Balok	Bentang (cm)	Torsi	Lentur				Geser	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
			Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BA	800	4D10	4D16	2D16	4D16	2D16	Ø10-80	Ø10-150
BK	100	-	3D13	2D13	3D13	2D13	Ø10-100	Ø10-100

4. Kolom (50/50)

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe Balok	Tinggi (cm)	Tul. Lentur	Tul. Geser
K1	400	20D25	Ø12-150

5. Pelat Dua Arah

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Pelat Dua Arah

Tipe Pelat	Dimensi (cm)	Susut	Tul. Arah X		Tul. Arah Y	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
P1	400x335	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200
P2	400x360	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200
P6	800x670	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200
P7	800x360	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200

6. Pelat Satu Arah

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Pelat Satu Arah

Tipe Pelat	Dimensi (cm)	Susut	Tulangan Arah X		
			Tump. Kiri	Lapangan	Tump. Kanan
P3	400x168	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200
P4	400x100	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Volume Tulangan Balok

Tipe	Jumlah	Total Panjang (m)	Berat (kg)
Balok Induk Tengah (35/70)	9	1564,6 meter	3781,28 kg
Balok Induk Tepi (35/70)	6	1151,1 meter	2883,57 kg
Balok Atap Tengah (35/70)	3	468,15 meter	489,4 kg
Balok Atap Tepi (35/70)	2	309,61 meter	334,98 kg
Sloof Tengah (30/60)	3	576,3 meter	725,19 kg

Sloof Tepi (30/60)	2	401,49 meter	508,34 kg
-----------------------	---	--------------	-----------

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Volume Tulangan Kolom

Tipe	Total Panjang (m)	Total Berat (kg)
Kolom (50/50)	840,7 meter	3130,19 kg

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Volume Tulangan Pelat

Tipe	Jumlah	Total Panjang (m)	Total Berat (kg)
Pelat (4x3,35)	30	7876,92 meter	4857,434 kg
Pelat (8x6,7)	10	5133,14 meter	3165,44 kg

5.2 Saran

1. Diusahakan dalam pengumpulan data perencanaan didapatkan dengan lengkap mulai gambar arsitek dan struktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.
2. Untuk proses perhitungan perencanaan digunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang dipelajari dari semester 1 sampai 6.
3. Proses analisa gaya dalam harus divalidasi sesuai dengan gaya mekanika.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013). Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013). Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Jakarta.

Setiawan, Agus. 2016. Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013. Jakarta: Erlangga.

Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik. 2016. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB Press.

LAMPIRAN

1. Brosur Acian Dinding dan Plester



DINDING



◆ Plester D200

- Dipergunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata; ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebar/tek \pm 2-2.5 m²/10mm



40kg

Acian dinding dan plester



◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk expose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/tek \pm 10-12 m²/2mm

30kg





◆ Acian NP S450

- Warna casing
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/tek \pm 10-12 m²/2mm
- 5-7 hari bisa langsung di cat

30kg



Acian dinding plester dan beton



◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/tek 9-12 m²/30 kg

30kg



◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk elapas dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa primer dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/tek 9-11 m²/20 kg

20kg



◆ Thinbed 101 TB101

- Pelekat bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar/tek \pm 10-11 m²/3mm (40 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Cepat dalam pengeringannya

40kg

◆ Plester Ringan 1.6 S150

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester islah ringan
- Daya sebar/tek \pm 4.5-6.5 m²/5-8mm (50 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekejaan



50kg



Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perbaiki bonding dinding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi terasos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm



25kg
40kg

◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

◆ Bonding Agent L.007

Bonding untuk beton dan mortar



1L

2. Brosur Acian Dinding dan Plester

PT. TIGA MITRA MADIUN

JAMINAN HARGA TERMURAH!

INFO HARGA & PEMESANAN :
HUBUNGI HP/WA :
085 807 499 333
0812 7853 677

SNI

3Mitra CITICON

BATA RINGAN
Pengganti Bata Merah
Ekonomis & Kuat

Spesifikasi Bata Ringan

Dimensi Bata Ringan		Karakteristik	
Panjang	: 60 cm	Berat jenis kering	: 500 kg/m ³
Keluar	: 20 cm	Berat jenis basah	: 600 kg/m ³
Ketebalan	: 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm, 15 cm, 17,5 cm, 20 cm	Kuat tekan	: 40 kg/cm ²
		Daya hantar panas	: 0.195 W/m ²

Ketebalan	Isi/m ³		Luas Dinding	
	Cm	Pieces	M ²	M ²
7,5	111	13		
10	83	10		
12,5	66	8		
15	35	6,67		
17,5	47	5,71		
20	41	5		

BATA RINGAN
Pengganti bata merah, Ekonomis & Kuat
Kuat ringan, tahan terhadap kebakaran dan gempa
Insulasi panas dan suara yang baik
Permukaan rata dan kering
Mudah dimobilisasi
Pemasangan cepat, akurat dan presisi

3. Brosur Tiang Pancang

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	5.0	9.0	155
			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 $f_c' = 42.3$ Mpa (Cube 500 kg/cm³)
 - Joint system : Welded at steel joint plate
 - Type of shoe : Pencil (Standard Product)



SMARTINDO CAHAYA GEMILANG
JUAL TIANG PANCANG PONDASI BETON

4. Brosur ASCE-7 Table C3-1

MINIMUM DESIGN LOADS

Table C3-1 Minimum Design Dead Loads ^a	
Component	Load (psf)
CEILING	
Aconitcal fiber board	1
Gypsum board (per 1/8-in. thickness)	0.55
Mechanical duct allowance	4
Plaster on tile or concrete	5
Plaster on wood lath	8
Suspended steel channel system	2
Suspended metal lath and cement plaster	15
Suspended metal lath and gypsum plaster	10
Wood furring suspension system	2.5
COVERINGS, ROOF, AND WALL	
Asbestos-cement shingles	4
Asphalt shingles	2
Cement tile	16
Clay tile (for mortar add 10 psf)	
Book tile, 2-in.	12
Book tile, 3-in.	20
Ludowici	10
Roman	12
Spanish	19
Composition:	
Three-ply ready roofing	1
Four-ply felt and gravel	5.5
Five-ply felt and gravel	6
Copper or tin	1
Corrugated asbestos-cement roofing	4
Deck, metal, 20 gage	2.5
Deck, metal, 18 gage	3
Decking, 2-in. wood (Douglas fir)	5
Decking, 3-in. wood (Douglas fir)	8
Fiberboard, 1/2-in.	0.75
Gypsum sheathing, 1/2-in.	2
Insulation, roof boards (per inch thickness)	
Cellular glass	0.7
Fibrous glass	1.1
Fiberboard	1.5
Perlite	0.8
Polystyrene foam	0.2
Urethane foam with skin	0.5
Plywood (per 1/8-in. thickness)	0.4
Rigid insulation, 1/2-in.	0.75
Skylight, metal frame, 3/8-in. wire glass	8
Slate, 1/4-in.	7
Slate, 3/16-in.	10
Waterproofing membranes:	
Bituminous, gravel-covered	5.5
Bituminous, smooth surface	1.5
Liquid applied	1
Single-ply, sheet	0.7
Wood sheathing (per inch thickness)	3
Wood shingles	3
FLOOR FILL	
Cinder concrete, per inch	9

Continued

BIODATA PENULIS I

Arga Djoko Putra lahir di Probolinggo, 02 Maret 1997, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Taman Indria Probolinggo, SD N Tisnonegara n 1 Kota Probolinggo, SMPN 1 Kota Probolinggo, dan SMAN 1 Kota Probolinggo. Setelah lulus dari SMAN tahun 2016, penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi dengan menjadi

mahasiswa Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2016. Penulis aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan. Penulis pernah menduduki posisi sebagai Student Resource Development HMDS ITS dan aktif di berbagai kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh Jurusan maupun Institut.

BIODATA PENULIS II

Ainur Ridho Febrianto dilahirkan di Sampang, 20 Februari 1998, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Kartika Jaya Bangkalan, SDN Kraton 2 Bangkalan, SMPN 2 Bangkalan dan SMAN 1 Bangkalan. Setelah lulus dari SMAN tahun 2016, penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi dengan menjadi

mahasiswa Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2016. Penulis aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan. Penulis pernah menduduki posisi sebagai staff Media and Information HMDS ITS dan aktif di berbagai kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh Jurusan maupun Institut.