



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

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

DEBBY HENDIKA PUTRA
NRP. 3114 030 038

MUHAMMAD DZULFIQAR RIZWANDA PUTRATAMA
NRP. 3114 030 062

Dosen Pembimbing

RADEN BUYUNG ANUGRAHA AFFANDHIE, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

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

**DEBBY HENDIKA PUTRA
NRP. 3114 030 038**

**MUHAMMAD DZULFIQAR RIZWANDA PUTRATAMA
NRP. 3114 030 062**

Dosen Pembimbing

**RADEN BUYUNG ANUGRAHA AFFANDHIE, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL APPLIED PROJECT - RC145501

PLANNING OF STRUCTURE OF BUILDING "B" SURABAYA WITH METHOD OF MEDIUM MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM

**DEBBY HENDIKA PUTRA
NRP. 3114 030 038**

**MUHAMMAD DZULFIQAR RIZWANDA PUTRATAMA
NRP. 3114 030 062**

Consellor Lecturer

**RADEN BUYUNG ANUGRAHA AFFANDHIE, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**CIVIL ENGINEERING DIPLOMA PROGRAM
CIVIL ENGINEERING INFRASTRUCTURE DEPARTEMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

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

TUGAS AKHIR TERAPAN

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

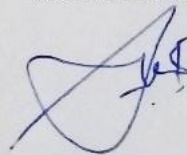
Surabaya, Juli 2017

Mahasiswa I



Debby Hendika P.
NRP. 3114030038

Mahasiswa II



M. Dzulfiqar R.P.
NRP. 3114030062



Disetujui Oleh:
Dosen Pembimbing

17 JUL 2017

17/07/2017

Baden Bayung Anugraha Affandhie, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002



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

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7/6/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Gedung Apartemen "B" Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)		
Nama Mahasiswa 1	Debby Hendika Putra	NRP	3114030038
Nama Mahasiswa 2	M. Dzulfikar Rizwandana P.	NRP	3114030062
Dosen Pembimbing 1	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
- Elevasi Bangs di lengkapi dengan elevasi	
	Ir. Sri Subekti, MT. NIP 19560520 198903 2 001
	Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D. NIP 19730710 199802 1 003
	-
	NIP -
	-
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Sri Subekti, MT.	Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D.	-	-
NIP 19560520 198903 2 001	NIP 19730710 199802 1 003	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	NIP -



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

PROGRAM STUDI DIPLOMA - JURUSAN TEKNIK SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. Muhammad Dzulfqar R.P. 2. Debby Hendika Putra
NRP : 1. 3114030062 2. 3114030092
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Struktur Gedung Apartemen "B" Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Perituk Momen Meneangah (SRPMM)
Dosen Pembimbing : Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
1.	17 Februari 2017	- Denah diperbaiki: ditambah as kolom - Prelim struktur pakai pendekatan 1/2		B C K <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Prelim plat ditambah balok anak supaya tebal plat 12 cm - Prelim kolom harus lebih besar dari pada dimensi balok, dan dimensi kolomnya disamakan setiap lantai nanti yang membedakan tebalnya.		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Lanjutkan perhitungan gempa statik ekuivalen		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.	23 Februari 2017	- Prelim sloof disamakan dengan balok - Beban hidup dibuat sumbu tiap lantai		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Beban plumbing & instalasi listrik disamakan. - Perulangan plat		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.	13 Maret 2017	Plat diberi beban dinding merata, kolom lift cukup dengan 50/50. Beban dinding partisi = beban dinding biasa (bata ringan). Tongga diberi 2.		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

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



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

PROGRAM STUDI DIPLOMA - JURUSAN TEKNIK SIPIL




Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. M. Dzulfizar, R-P 2. Debby Herdika Putra
NRP : 1. 3114030062 2. 3114030082
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Struktur Gedung Apartemen "B" Surabaya Dengan Metode Sistem Bangun Penjual Momen Menengah (SRPMM).
Dosen Pembimbing : Paden Buyung Anugraha Affandhrie, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan						
4.	07-April 2017	Beban angin pada kolom (kg/m) dengan arah angin yang dominan. Tidak menghitung pondasi, kolom pendek dimodelkan di SAP. Menghitung portal tengah (melintang + memanjang). Momen pada plat dihitung menggunakan SNI 2847-2013 untuk plat arah maupun 1 arah.		<table border="1"><tr><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>B</td><td>C</td><td>K</td></tr></table>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B	C	K
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
B	C	K								
5.	25 April 2017	- Perhitungan tol. plat \rightarrow PBI 1971 Balok dan kolom \rightarrow SNI 2847-2013. - Perhitungan tahanan kolom mengacu pada gaya actual - Perhitungan tangga di cek dengan perhitungan manual.		<table border="1"><tr><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>B</td><td>C</td><td>K</td></tr></table>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B	C	K
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
B	C	K								
6.	03 Mei 2017	- Tol. tumpuan dan tumpu dipayang sebesar 2% dari tebal plat per m^2 . - Tol. untuk anjak tangga digunakan tol. tumpuan (tebal rata-rata). - Cek berat besi dalam $1m^3$ beton - Dalam laporan diberi 1 contoh perhitungan yang lain dalam bentuk tabel. - Kolom, min $A_s = 3\% A_c$.		<table border="1"><tr><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>B</td><td>C</td><td>K</td></tr></table>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	B	C	K
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
B	C	K								

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



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama
NRP
Judul Tugas Akhir

: 1. M. Daulqan, R.P
 : 1. 3114030062
 : Perencanaan Struktur Gedung Apartemen "B" Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SEPMEM).

2. Debby Handika Putra
 2. 31140300587

Dosen Pembimbing

: Raden Boyung Anugraha Affanthe, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
7.	10 Mei 2017	- Untuk amniti perletakan tangga dititik pada salah satu sisi laut. - Untuk perhitungan penulangan sloof sama seperti kolom, yang membedakan hanya letak tisi penulangannya. Apabila letak sloof dibelak bangunan maka ditat sloof sama seperti balok.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
8.	19 Mei 2017	- Panjang pengaluran kolom - perhitungan tulangan balok portal mernanjang dan melintang - perhitungan plat parkir dengan plat pengantarng.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
9.	31 Mei 2017	- Perhitungan sloof dikontrol dahulu dominan aksial atau tekane. - Panjang pengaluran diklinik L (90°) - Metode pelatiran - perhitungan bastat 1 portal. - Perhitungan kolom setiap lantai - Perhitungan geser walou besar ditantah laki. - Tangga walou momen besar dikontrol ^{plastik}		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K

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



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 M. Dzulfizar. P.P
 2 Debby Handita Putri
NRP : 1 3114032062
 2 3114032038
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Struktur Gedung Apartemen "B" Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Penikul Menengah (RPMM)
Dosen Pembimbing : Roden Buyung Anugraha Affandhie, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
10.	14 Juni 2017	- Cek ulang hitungan manual tangga manun tangga harus lebih besar dari border.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Cek kolom tebal usah, hanya disipon tumpu manual dibandingan sap.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Untuk barbanding meliputi portal untuk balok kolom. Dan untuk plat		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		meninjau 1 tipe -		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11.	16 Juni 2017	- Penjangkaran tulangan.		
		- Pemas balok sambungan pada kolom		
		- Geser tumpuan lapangan pada kolom di bndahan.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12.	21 Juni 2017	- Gambar detail peris skala garis		
		- Tolisan dimensi di gambar terlalu kecil		
		- Portal di akhir, plat, balok, kolom dahulu.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Portal dikapit, jarak tulangan		
		Denah plat → t. balok, Denah balok → t. balok,		
		Denah plat → t. Plat, tangga dikapit elev.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		= Bab 9 Metode Perhitungan Tekanan		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		Tulangan.		

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

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

Nama Mahasiswa : M. Dzulfiqar Rizwanda Putratama
NRP : 3114.030.062
Nama Mahasiswa : Debby Hendika Putra
NRP : 3114.030.038
Jurusan : Diploma III Infrastruktur Sipil - ITS
Dosen Pembimbing : R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP : 19740203.200212.1.002

ABSTRAK

Penyusunan tugas akhir terapan ini menggunakan bangunan Gedung Apartemen Menara Rungkut yang terletak di kota Surabaya dengan luas bangunan sebesar 495 m^2 . Namun bangunan tersebut telah dimodifikasi dalam perencanaan ini sesuai dengan standar kompetensi dan batasan pada program studi Diploma 3 Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS. Modifikasi bangunan meliputi perubahan denah lantai bangunan yang semula 15 lantai menjadi 6 lantai, sehingga nama bangunan menjadi Gedung Apartemen “B” Surabaya. Perencanaan bangunan gedung Apartemen “B” Surabaya ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Struktur bangunan terdiri dari struktur sekunder berupa pelat dan tangga yang dipikul oleh struktur primer yaitu sloof, balok dan kolom. Material utama penyusun struktur adalah beton bertulang. Untuk perhitungan struktur bangunan mengacu pada SNI 03 – 2847 – 2013: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Perhitungan pembebanan mengacu pada SNI 1727 – 2013. Sedangkan untuk perhitungan gempa mengacu pada SNI 1726-2012 dan Peta *Hazzard* Gempa Indonesia 2010. Metode

untuk perhitungan gempa yang digunakan yaitu analisis statik ekuivalen.

Dari penyusunan tugas akhir terapan ini diperoleh laporan hasil perhitungan struktur bangunan apartemen yang mampu menahan gaya-gaya yang dipikul bangunan termasuk gaya gempa dan juga gambar teknik detail elemen struktur yang terdiri dari dua portal yaitu satu portal memanjang dan satu portal melintang. Menghitung volume tulangan pada satu portal memanjang dan satu portal melintang untuk mengetahui volume tulangan per m³ beton serta merencanakan metode pelaksanaan pada struktur kolom.

Kata kunci : Perencanaan Struktur, Sistem Rangka Pemikul Menengah, Statik Ekuivalen

"PLANNING OF APARTEMENT BUILDING STRUCTURE "B" SURABAYA WITH METHOD OF MEDIUM MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM"

Nama Mahasiswa : M. Dzulfiqar Rizwanda Putratama
NRP : 3114.030.062
Nama Mahasiswa : Debby Hendika Putra
NRP : 3114.030.038
Jurusan : Diploma III Infrastruktur Sipil - ITS
Dosen Pembimbing : R. Buyung Anugraha A., ST., MT.
NIP : 19740203.200212.1.002

ABSTRACT

Preparation of this final application is applied using Menara Rungkut Apartment Building Building located in Surabaya with building area of 495 m². However the building has been modified in this plan in accordance with the competency standards and limits on the Diploma 3 of Civil Infrastructure Engineering, Vocational Faculty, ITS. Building modifications include changing the floor plan of the original building 15 floors to 6 floors, so the name of the building becomes Apartment Building "B" Surabaya. Planning of building building of Apartment "B" Surabaya is using Medium Moment Frame System (SRPMM).

The structure of the building consists of a secondary structure in the form of plates and ladders borne by the primary structure of the sloof, beams and columns. The main material of the structure is the reinforced concrete. For the calculation of building structure refers to SNI 03 - 2847 - 2013: Procedures for Calculation of Concrete Structures for Building Buildings. The calculation of loading refers to SNI 1727 - 2013. As for the calculation of the earthquake refers to the SNI 1726-2012 and Hazzard Map Indonesia Earthquake 2010. Method for the calculation of the earthquake used is static equivalent analysis.

From the preparation of this final assignment is obtained report of calculation result of apartment building structure that able to withstand the style that bears the building including earthquake style and also draw technique detail element of structure consisting of two portal that is one portal elongate and one transverse portal. Calculates the volume of reinforcement on one lengthy portal and one transverse portal to know the volume of reinforcement per m³ of concrete and to plan the implementation method on the column structure.

Keywords: Structure Planning, Medium Bearing Frame System, Static Equivalent

KATA PENGANTAR

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

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

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, sebagai pemberi semangat dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil, terutama doa.
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT. selaku koordinator Program Studi Diploma III Teknik Sipil
3. Bapak R. Buyung A. A., ST., MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan ini.
4. Bapak Prof. Ir. M. Sigit Dharmawan, M.Eng.Sc., PhD. selaku dosen pengampu mata kuliah Praktek Kerja / TA.
5. Bapak Dr. Ridho Bayuaji, ST., MT. dan Ir. Triaswati MN, M.Kes. selaku dosen wali.
6. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terima kasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan tugas akhir terapan ini.

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

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

Penulis,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxvi
DAFTAR NOTASI	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Maksud	3
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat.....	4
1.7 Lokasi Studi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Peraturan yang Digunakan.....	7
2.2 Umum	7
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen	8
2.3.1 Ketentuan Struktur Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).....	9
2.4 Pembebanan.....	11
2.4.1 Beban Mati	11
2.4.2 Beban Hidup	12
2.4.3 Beban Hidup Atap	12
2.4.4 Beban Angin.....	13
2.4.5 Beban Gempa	22
2.4.6 Kombinasi Pembebanan	29
2.5 Daktilitas.....	29
2.6 Perencanaan Struktur Sekunder.....	31
2.6.1 Pelat	31
2.6.1.1 Perencanaan ketebalan pelat.....	31

2.6.1.2	Analisa Gaya Dalam.....	36
2.6.1.3	Perhitungan Penulangan Pelat	36
2.6.2	Tangga	39
2.6.2.1	Perencanaan Dimensi Tangga	39
2.6.2.2	Pembebanan Tangga.....	40
2.6.2.3	Penulangan Struktur Tangga	40
2.7	Perencanaan Struktur Primer.....	40
2.7.1	Balok	40
2.7.1.1	Perencanaan dimensi balok	40
2.7.1.2	Syarat Pelindung Beton	41
2.7.1.3	Perhitungan Momen dan Gaya Dalam pada Balok	41
2.7.1.4	Perhitungan tulangan	42
2.7.1.5	Ketentuan-Ketentuan Perhitungan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (<i>SNI 03-2847- 2013, Pasal 21.3.4</i>).....	48
2.7.2	Kolom.....	49
2.7.2.1	Perencanaan dimensi kolom	49
2.7.2.2	Perhitungan Penulangan Kolom	49
2.7.2.3	Ketentuan – Ketentuan Perhitungan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (<i>SNI 2847- 2013, Pasal 21.3.5</i>).....	55
BAB III METODOLOGI		57
3.1	Pengumpulan Data	57
3.2	Studi Literatur.....	58
3.3	Modifikasi dan Penentuan Kriteria Desain.....	59
3.3.1	Modifikasi Struktur	59
3.3.2	Penentuan Kriteria Desain	63
3.4	Preliminary Desain	63
3.4.1	Penentuan dimensi balok.....	63
3.4.2	Perencanaan dimensi kolom	63
3.4.3	Penentuan dimensi pelat	63
3.4.4	Preliminary Tangga	64
3.5	Perhitungan Pembebanan	64

3.5.1	Beban Mati	64
3.5.2	Beban Hidup.....	64
3.5.3	Beban Angin.....	64
3.5.1	Beban gempa	65
3.6	Pemodelan Struktur	65
3.7	Analisa Gaya Dalam (M,N,D).....	66
3.7.1	Analisa Gaya Dalam Pelat.....	66
3.7.2	Analisa Gaya Dalam Balok	66
3.7.3	Analisa Gaya Dalam Kolom.....	66
3.8	Perhitungan tulangan Struktur	66
3.9	Cek Syarat	66
3.8	Gambar Rencana	67
3.8.1	Gambar Arsitektur	67
3.8.2	Gambar Potongan	67
3.8.3	Gambar Penulangan.....	67
3.8.4	Gambar Detail.....	67
3.8.5	Gambar Struktur	67
3.9	Flow Chart	68
3.9.1	Proses Perencanaan Struktur	68
3.9.2	Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen	70
3.9.3	Gempa.....	71
3.9.4	Pelat	73
3.9.5	Tangga	77
3.9.6	Balok.....	80
3.9.7	Kolom	86
BAB IV PRELIMINARY DAN PEMBEBANAN		93
4.1	Data Desain Preliminary.....	93
4.2	Preliminary Balok.....	93
4.2.1	Preliminary Balok Induk Memanjang (L = 600 cm)	94
4.2.2	Preliminary Balok Induk Melintang (L = 600 cm)	94
4.2.3	Preliminary Balok Anak (L = 600 cm).....	95
4.3	Preliminary Sloof.....	95
4.3.1	Preliminary Sloof Memanjang (L = 600 cm)	95

4.3.2	Preliminary Sloof Melintang ($L = 600 \text{ cm}$)	96
4.4	Preliminary Pelat	96
4.5	Preliminary Kolom	101
4.6	Perencanaan Tangga	101
4.6	Beban Gravitasi	103
4.6.1	Beban Mati (DL)	103
4.6.2	Beban Hidup (LL)	107
4.6.3	Beban Air Hujan (R)	108
4.7	Beban Angin (W)	108
4.8	Beban Gempa	111
4.8.1	Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung	113
4.8.2	Menentukan Faktor Keutamaan Gempa	113
4.8.3	Menentukan Kelas Situs	113
4.8.4	Menentukan Parameter Percepatan Gempa	115
4.8.5	Menentukan Koefisien Situs	116
4.8.6	Menentukan Parameter Percepatan Desain Spektral	116
4.8.7	Menentukan Kategori Desain Seismik	117
4.8.8	Menentukan Parameter Struktur	117
4.8.9	Menentukan Spektrum respons desain	117
4.9	Kombinasi Pembebanan	129
BAB V ANALISA PERMODELAN		131
5.1	Permodelan Struktur Gedung dengan SRPM	131
5.1.1	Pemodelan Komponen Struktur Tangga	132
5.1.2	Besaran Massa	132
5.1.3	Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa	133
5.1.4	Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Statik Ekuivalen SAP 2000 untuk SRPM	133
5.1.5	Kontrol Periode Fundamental SRPM	134
5.1.6	Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur ..	136
5.2	Kontrol Simpangan Antar Lantai	138
5.3	Pengecekan Gaya yang Terjadi	140
5.3.1	Pengecekan Gaya pada Joint Rection	141
5.3.2	Pengecekan Gaya pada Balok	146

BAB VI PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER	149
6.1 Perhitungan Struktur Pelat Lantai.....	149
6.1.1 Pembebanan Struktur Pelat Lantai.....	151
6.1.2 Analisis Struktur Pelat Lantai.....	152
6.1.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat	156
6.1.3.1 Pelat Tipe A (3m x 6m)	156
6.2 Desain Struktur Tangga.....	165
6.2.1 Desain Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes	166
6.2.2 Pembebanan Pada Tangga dan Bordes	167
6.2.3 Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes	168
6.2.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga.....	173
6.2.5 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes.....	174
6.3 Desain Balok Penggantung Lift.....	175
BAB VII PERHITUNGAN STRUKTUR PRIMER	185
7.1 Umum	185
7.2 Desain Struktur Balok Induk	185
7.2.1 Data Perencanaan	186
7.2.2 Gaya yang Terjadi Pada Balok Induk.....	188
7.2.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa	190
7.2.4 Perhitungan Penulangan Puntir.....	192
7.2.5 Perhitungan Penulangan Lentur.....	197
7.2.5.1 Daerah Tumpuan Kiri.....	197
7.2.5.2 Daerah Tumpuan Kanan	203
7.2.5.3 Daerah Lapangan	210
7.2.6 Pehitungan Penulangan Geser	216
7.2.7 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan	224
7.3 Desain Struktur Balok Anak.....	229
7.3.1 Data Perencanaan	230
7.3.2 Gaya yang Terjadi Pada Balok Anak.....	231
7.3.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa	234
7.3.4 Perhitungan Penulangan Puntir.....	237
7.3.5 Perhitungan Penulangan Lentur.....	239

7.3.5.1	Daerah Tumpuan Kiri.....	239
7.3.5.2	Daerah Tumpuan Kanan.....	245
7.3.5.3	Daerah Lapangan.....	251
7.3.6	Pehitungan Penulangan Geser	257
7.3.7	Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan	265
7.4	Desain Struktur Sloof	270
7.4.1	Data Perencanaan	270
7.4.2	Gaya yang Terjadi Pada Sloof.....	272
7.4.3	Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa	274
7.4.4	Perhitungan Penulangan Puntir	276
7.4.5	Perhitungan Penulangan Lentur	281
7.4.5.1	Daerah Tumpuan Kiri.....	281
7.4.5.2	Daerah Tumpuan Kanan.....	287
7.4.5.3	Daerah Lapangan.....	294
7.4.6	Pehitungan Penulangan Geser	300
7.4.7	Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan	308
7.5	Desain Struktur Kolom.....	314
7.5.1	Data Perencanaan	314
7.5.2	Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa	318
7.5.3	Cek Syarat ” <i>Strong Coloumn Weak Beam</i> ”	324
7.5.4	Tentukan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur	328
7.5.4.1	Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X ...	328
7.5.4.2	Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y ...	337
7.5.4.3	Perhitungan Geser Kolom	347
7.5.4.4	Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom.....	353
7.5.4.5	Panjang Penyaluran Tulangan Kolom	354
BAB VIII PERHITUNGAN VOLUME PENULANGAN		357
8.1	Perhitungan Volume Penulangan Kolom	357
8.1.1	Lantai 1-6 (Typikal)	357
8.1.2	Kolom lift	359
8.1.3	Kolom Pendek	362

8.1.4	Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom.....	364
8.2	Perhitungan Volume Penulangan Balok.....	367
8.3	Perhitungan Volume Penulangan Pelat	374
BAB IX KESIMPULAN DAN SARAN.....		381
9.1	KESIMPULAN	381
9.2	SARAN.....	384
DAFTAR PUSTAKA.....		387

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Gedung Apartemen “B” Surabaya	4
Gambar 2. 1 Gaya Lintang Pada Balok Akibat Beban Gravitasi Terfaktor	10
Gambar 2. 2 Gaya Lintang Pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor	11
Gambar 2. 3 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)	21
Gambar 2. 4 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun	24
Gambar 2. 5 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun	25
Gambar 2. 6 Penentuan simpangan antar lantai	30
Gambar 2. 7 Dimensi bidang pelat	32
Gambar 2. 8 Dimensi bidang pelat	33
Gambar 2. 9 Balok tengah	35
Gambar 2. 10 Perpanjangan Minimum untuk Tulangan pada Slab tanpa Balok	38
Gambar 2. 11 Gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM	45
Gambar 2. 12 Faktor kekakuan kolom	51
Gambar 2. 13 Gaya lintang pada kolom	55
Gambar 3. 1 Denah (a), Tampak (b), dan Potongan (c) Eksisting Gedung Apartemen Menara Rungkut Surabaya	61
Gambar 3. 2 Denah (a), Tampak (b), dan Potongan (c) Modifikasi Gedung Apartemen Menara Rungkut Surabaya untuk Proyek Akhir Terapan	62
Gambar 3. 3 Pemodelan Struktur Bangunan	65
Gambar 3. 4 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan	69
Gambar 3. 5 Flow Chart Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen	70
Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Gempa	72
Gambar 3. 7 Flow Chart Perhitungan Pelat	76
Gambar 3. 8 Flow Chart Perhitungan Tangga	79

Gambar 3. 9 Flow Chart Perhitungan Tulangan Torsi Balok.....	81
Gambar 3. 10 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Balok..	83
Gambar 3. 11 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok...	85
Gambar 3. 12 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Kolom	89
Gambar 3. 13 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Kolom	.91
Gambar 4. 1 Pelat Tipe A.....	96
Gambar 4. 2 Lebar Efektif Pelat.....	97
Gambar 4. 3 Mekanika perencanaan tangga.....	102
Gambar 4. 4 Dimensi Elevator Hyundai	105
Gambar 4. 5 Reaksi Akibat Beban Lift	105
Gambar 4. 6 Reaksi pada Pit Lift	106
Gambar 4. 7 Pembebanan Pada Balok Penggantung Lift.....	106
Gambar 4. 8 Pengaruh Angin pada Dinding	110
Gambar 4. 9 Nilai $S_1 = 0,10$ Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik.....	115
Gambar 4. 10 Nilai $S_5 = 0,30$ Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek.....	115
Gambar 5. 1 Permodelan Struktur SRPMM pada SAP 2000 v.14	131
Gambar 5. 2 Input <i>Mass Source</i> pada SAP 2000 v.14.....	133
Gambar 5. 3 Penentuan Simpangan Antar Lantai	138
Gambar 5. 4 Balok yang Ditinjau.....	141
Gambar 5. 5 Balok yang Ditinjau.....	146
Gambar 5. 6 <i>Tributary Area</i> pada Balok yang Ditinjau	146
Gambar 6. 1 Tabel Momen Pelat.....	150
Gambar 6. 2 Ketentuan Pada Analisa Pelat Lantai.....	152
Gambar 6. 3 Pelat Tipe A.....	156
Gambar 6. 4 Penulangan Pelat Tipe A	163
Gambar 6. 5 Denah Penempatan Tangga pada Lantai Dasar	165
Gambar 6. 6 Denah Tangga.....	166
Gambar 6. 7 Beban yang Terjadi pada Pelat Tangga dan Bordes	168
Gambar 6. 8 Free Body Diagram pada Pelat Tangga dan Bordes	170

Gambar 6. 9 Gaya yang Terjadi pada Batang AB	171
Gambar 6. 10 Potongan Batang AB	171
Gambar 6. 11 Diagram Momen Pelat Tangga dan Bordes	172
Gambar 6. 12 Penulangan Pelat Lantai Tangga dan Pelat Bordes	175
Gambar 6. 13 Balok Lift yang Ditinjau dalam Perhitungan	175
Gambar 6. 14 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok	180
Gambar 7. 1 Portal yang Ditinjau; (a) Portal pada Bidang Y-Z; (b) Portal pada Bidang X-Z.....	185
Gambar 7. 2 Balok Induk yang Ditinjau dalam Perhitungan.....	186
Gambar 7. 3 Tinggi Efektif Balok	187
Gambar 7. 4 Diagram Momen Lentur Balok Induk lt.1	188
Gambar 7. 5 Diagram torsi pada balok.....	189
Gambar 7. 6 Diagram momen (-) pada tumpuan kiri dan kanan akibat gravitasi dan gempa	189
Gambar 7. 7 Diagram momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa.....	189
Gambar 7. 8 Diagram geser pada tumpuan	190
Gambar 7. 9 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	191
Gambar 7. 10 Luasan Acp dan Pcp	191
Gambar 7. 11 Penulangan Penampang Balok 35/50 (Frame 250)	197
Gambar 7. 12 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok	218
Gambar 7. 13 <i>Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar</i>	227
Gambar 7. 14 Gambar Penulangan Balok	229
Gambar 7. 15 Gambar Detail Penulangan Balok.....	229
Gambar 7. 16 Balok anak yang ditinjau dalam Perhitungan	230
Gambar 7. 17 Tinggi Efektif Balok	231
Gambar 7. 18 Diagram Momen Lentur Balok Anak lt.1	232
Gambar 7. 19 Diagram torsi pada balok.....	233
Gambar 7. 20 Diagram momen (-) pada tumpuan kiri dan kanan akibat gravitasi dan gempa	233

Gambar 7. 21 Diagram momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa	233
Gambar 7. 22 Diagram geser pada tumpuan	234
Gambar 7. 23 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	235
Gambar 7. 24 Luasan Acp dan Pcp	236
Gambar 7. 25 Penulangan Awal Penampang-penampang Kritis Balok 30/40 (Frame 613)	238
Gambar 7. 26 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok	258
Gambar 7. 27 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar	267
Gambar 7. 28 Gambar Penulangan Balok	269
Gambar 7. 29 Gambar Detail Penulangan Balok	269
Gambar 7. 30 Sloof yang Ditinjau dalam Perhitungan.....	270
Gambar 7. 31 Tinggi Efektif Balok.....	271
Gambar 7. 32 Diagram Momen Lentur Sloof	272
Gambar 7. 33 Diagram torsi pada sloof	273
Gambar 7. 34 Diagram momen (-) pada tumpuan kiri dan kanan akibat gravitasi dan gempa	273
Gambar 7. 35 Diagram momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa	273
Gambar 7. 36 Diagram geser pada tumpuan	274
Gambar 7. 37 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	275
Gambar 7. 38 Luasan Acp dan Pcp	275
Gambar 7. 39 Penulangan Awal Penampang-penampang Kritis Sloof 35/50 (Frame 250)	281
Gambar 7. 40 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok	302
Gambar 7. 41 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar	311
Gambar 7. 42 Gambar Penulangan Sloof.....	313
Gambar 7. 43 Gambar Detail Penulangan Sloof	313
Gambar 7. 44 Tinggi Efektif Kolom	315
Gambar 7. 45 Denah Posisi Kolom K-1 (60/60) Pada As G - 9	315
Gambar 7. 46 Faktor Panjang Efektif (K)	323

Gambar 7. 47 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Bawah.....	326
Gambar 7. 48 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Atas	327
Gambar 7. 49 Diagram Interaksi pada Program pcaColoumn...	328
Gambar 7. 50 Penampang Kolom K1	344
Gambar 7. 51 Grafik Akibat Momen Pada PCACOL	346
Gambar 7. 52 Hasil Output Pada Pcacolumn	346
Gambar 7. 53 Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM.....	348
Gambar 7. 54 Lintang Rencana Untuk SRPMM.....	349
Gambar 7. 55 Penulangan Portal As 2.....	355
Gambar 8. 1 Detai Penulangan Balok	367
Gambar 8. 2 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas	368
Gambar 8. 3 Potongan Tulangan Balok Sisi bawah	368
Gambar 8. 4 Potongan Tulangan tekan Balok tumpuan kiri	369
Gambar 8. 5 Potongan Tulangan tarik tumpuan kiri	370
Gambar 8. 6 Potongan Tulangan tekan Balok Sisi kanan	370
Gambar 8. 7 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas	371
Gambar 8. 8 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas	371
Gambar 8. 9 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas	372

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Peraturan yang digunakan	7
Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es.....	13
Tabel 2. 3 Faktor Arah Angin (Kd)	15
Tabel 2. 4 Faktor Topografi (Kzt)	17
Tabel 2. 5 Koefisien tekanan internal (GC _{pi}).....	18
Tabel 2. 6 Koefisien eksposur tekanan velositas (Kh dan Kz)	19
Tabel 2. 7 Konstanta Eksposur Daratan	20
Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs.....	23
Tabel 2. 9 Koefisien Situs, Fa	26
Tabel 2. 10 Koefisien Situs, Fv	26
Tabel 2. 11 Kategori Resiko	28
Tabel 2. 12 Faktor Keutamaan Gempa.....	28
Tabel 2. 13 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa	28
Tabel 2. 14 Simpangan antar lantai ijin, Δa	31
Tabel 2. 15 Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung	32
Tabel 2. 16 Rasio Penulangan Pelat	36
Tabel 2. 17 Pelindung Beton untuk Tulangan	41
Tabel 2. 18 Rasio Penulangan Balok.....	42
Tabel 2. 19 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir.....	48
Tabel 3. 1 Perbandingan Kondisi Bangunan Eksisting dan Modifikasi.....	59
Tabel 4. 1 Spesifikasi Lift Hyundai Luxen (Lanjutan).....	104
Tabel 4. 2 Spesifikasi Lift Hyundai Luxen (Lanjutan)	105
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Beban Angin pada Setiap Lantai	111
Tabel 4. 4 Perhitungan SPT Rata-rata	114
Tabel 4. 5 Koefisien Situs, Fa	116
Tabel 4. 6 Koefisien Situs, Fv	116
Tabel 5. 1 Nilai Parameter Periode Pendekatan , C _t dan x	134
Tabel 5. 2 Koefisien untuk Batas Atas pada Pada Periode yang Dihitung.....	135

Tabel 5. 3 Berat Struktur Didapatkan dari Base Reaction Fz untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup.....	137
Tabel 5. 4 Base Reaction dari Program SAP 2000 v.14.....	137
Tabel 5. 5 Simpangan Antar Lantai Ijin, Δ_i	139
Tabel 5. 6 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X	140
Tabel 5. 7 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y	140
Tabel 6. 1 Perbandingan Momen yang Terjadi Dihitung Menggunakan SAP 2000 v.14 dan Tabel Koefisien Momen	155
Tabel 6. 2 Tabel Penulangan Plat Lantai.....	164
Tabel 6. 3 Tabel Penyelesaian Cross.....	169
Tabel 6. 4 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Tangga	173
Tabel 6. 5 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Bordes	174
Tabel 7. 1 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir....	225
Tabel 7. 2 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis.....	226
Tabel 7. 3 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir....	265
Tabel 7. 4 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis.....	266
Tabel 7. 5 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir....	309
Tabel 7. 6 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis.....	310
Tabel 7. 7 Rekapitulasi Penulangan Kolom	354
Tabel 8. 1 Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom	364
Tabel 8. 2 Jumlah Tulangan Yang Dibutuhkan.....	365
Tabel 8. 3 Rekapitulasi Jumlah Bengkokan dan Kaitan.....	366
Tabel 8. 4 Rekapitulasi Volume Penulangan Balok.....	373
Tabel 8. 5 Rekapitulasi Volume Penulangan Pelat	379

DAFTAR NOTASI

- A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2
- A_{cv} = Luas efektif bidang geser dalam hubungan balok-kolom (mm^2)
- A_g = Luas bruto penampang (mm^2)
- A_n = Luas bersih penampang (mm^2)
- A_l = Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2)
- A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2)
- A_{oh} = Luas penampang yang dibatasi oleh garis as tulangan sengkang (mm^2)
- A_s = Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
- $A_{s'}$ = Luas tulangan tekan non prategang (mm^2)
- A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2)
- A_v = Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2)
- b = Lebar daerah tekan komponen struktur (mm^2)
- b_w = Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
- C = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (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 pusat tulangan tekan (mm)
- db = Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
- D = Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
- e_x = Jarak kolom ke pusat kekakuan arah x
- e_y = Jarak kolom ke pusat kekakuan arah y
- Ex = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa X

- E_y = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y
 E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
 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)
 f_{vy} = Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
 f_{ys} = Kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)
 h = Tinggi total dari penampang
 h_n = Bentang bersih kolom
 L_n = Bentang bersih balok
 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_{nx} = Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x
 M_{ny} = Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y
 M_{ox} = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x untuk aksial tekan yang nol
 M_{oy} = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y untuk aksial tekan yang nol
 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)

- M1ns = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M2ns = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- M1s = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M2s = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- Nu = Beban aksial terfaktor
- Pcp = keliling luar penampang beton (mm)
- Pb = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
- Pc = Beban kritis (N)
- Ph = Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi
- Pn = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- Po = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol
- Pu = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- S = Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan (N)
- Tc = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton
- Tn = Kuat momen torsi nominal (Nmm)

- T_s = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh Tulangan tarik
 T_u = Momen torsi tefaktor pada penampang (Nmm)
 V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
 V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
 V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
 x = Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang
 α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok
 α_m = Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel
 β = Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
 δ_{ns} = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
 δ_s = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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

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) seperti yang sudah dijelaskan di dalam SNI 03-2847-2002.

Pada penyusunan tugas akhir terapan ini menggunakan Bangunan Gedung Apartemen Menara Rungkut yang terletak di jalan K. Abdul Karim No. 37-39 Surabaya. Bangunan ini terdiri dari 15 lantai dan berbentuk I. Gedung Apartemen Menara Rungkut menggunakan dual sistem yaitu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Geser. Namun dalam penyusunan tugas akhir terapan ini berdasarkan batasan dan standart kompetensi pada Program Studi Diploma Teknik Sipil, maka perencanaan struktur Gedung Apartemen Menara Rungkut direncanakan dengan ketinggian bangunan 6 lantai dengan mengubah nama gedung yang direncanakan menjadi “Gedung Apartemen “B” Surabaya”. Sistem yang digunakan dimodifikasi menjadi Single Sistem yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen.

Metode untuk merencanakan perhitungan gempa yang digunakan yaitu analisis statik ekuivalen, sesuai dengan Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Perencanaan bangunan gedung Apartemen “B” Surabaya ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). SRPMM adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen – komponen strukturnya dapat menahan gaya – gaya yang bekerja melalui aksi, lentur, geser dan yang selain memenuhi ketentuan – ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 23.2.(2)(3) dan 23.10, sehingga struktur dapat merespon gempa kuat tanpa mengalami keruntuhan.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merencanakan dan menghitung penulangan struktur beton gedung Apartemen “B” Surabaya dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)?
2. Bagaimana menghitung kebutuhan volume tulangan kolom, balok pada satu portal (portal memanjang) dan pelat?
3. Bagaimana mengaplikasikan hasil perhitungan dan perencanaan ke dalam gambar teknik?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Perencanaan gedung ini hanya meninjau strukturnya saja, tidak meninjau analisa biaya, manajemen konstruksi, maupun segi arsitektural.

2. Tidak merencanakan bangunan bawah (struktur pondasi).
3. Perencanaan Gedung hanya 6 lantai.
4. Perhitungan struktur hanya meninjau pada 2 portal yang telah ditentukan (portal memanjang dan melintang) pada satu blok bangunan.
5. Analisis beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan statik ekuivalen.
6. Perhitungan kebutuhan volume tulangan hanya meninjau pada salah satu portal (portal memanjang).

1.4 Maksud

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

1.5 Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir terapan ini adalah sebagai berikut :

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

1.6 Manfaat

Manfaat dari penyusunan tugas akhir terapan ini adalah:

1. Bagi penulis, dapat mengetahui cara perhitungan struktur gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Bagi pembaca, mampu memberikan bahan bacaan berupa laporan perhitungan struktur dan gambar rencana dari gedung Apartemen “B” Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Bagi pembaca, diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi secara lebih detail dalam tata cara perencanaan struktur beton bertulang dengan berdasarkan aturan-aturan dan pedoman yang berlaku.

1.7 Lokasi Studi

Gedung Apartemen “B” Surabaya terletak di Jalan K. Abdul Karim No.37-39 Surabaya, dengan peta lokasi sebagai berikut:



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Gedung Apartemen “B” Surabaya

Data proyek pembangunan struktur gedung ini adalah sebagai berikut:

Nama Proyek : Gedung Apartemen “B”
Alamat Proyek : Jalan K. Abdul Karim No.37-39
Surabaya
Fungsi Bangunan : Apartemen
Jumlah lantai : 6 lantai
Pemilik Proyek : Tiga Pilar Utama Sejahtera
Konsultan : PT. CMI
Kontraktor : PT. Tata Bumi Raya
Luas Bangunan : 495 m²
Struktur Atap : Pelat Beton
Struktur Bangunan : Beton bertulang

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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

2.1 Peraturan yang Digunakan

Perhitungan Struktur gedung Apartemen “B” Surabaya ini mengacu pada tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 2. 1 Peraturan yang digunakan

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

2.2 Umum

Dalam merancang sebuah bangunan struktur, ada banyak hal yang harus diperhatikan. Tidak hanya material pembentuk struktur apakah baja atau beton. Tetapi juga fungsi gedung yang akan dipakai, apakah untuk apartemen,

perkantoran, sekolah, atau rumah sakit. Dalam merancang sebuah bangunan struktur, kita harus mengecek beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya:

- Sistem Rangka Pemikul Momen yang digunakan
- Pembebanan
- Daktilitas

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen, atau Moment Resisting Frame. Istilah ini sering kita dengar pada pembahasan mengenai struktur gedung tahan gempa. SRPM merupakan salah satu "pilihan" sewaktu merencanakan sebuah bangunan tahan gempa. Ciri-ciri SRPM antara lain: Beban lateral khususnya gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Jadi, peranan balok, kolom, dan sambungan balok kolom di sini sangat penting; Tidak menggunakan dinding geser. Walaupun ada dinding, dinding tersebut tidak didesain untuk menahan beban lateral; Tidak menggunakan bresing (bracing). Dalam hal ini, bangunan tersebut dapat dianalisis sebagai SRPM pada arah sumbu kuat kolom. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

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

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

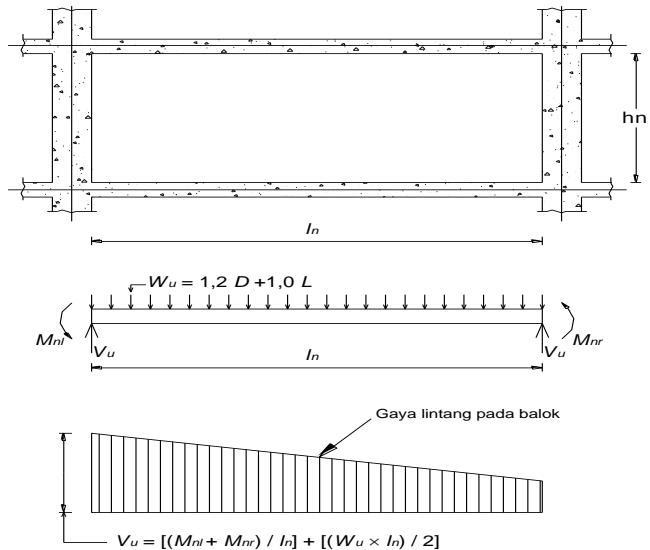
1. Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur
 - Keruntuhan geser bersifat mendadak (tidak memberi kesempatan penghuni untuk menyelamatkan diri) => harus dihindari
 - Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasar kapasitas tulangan lentur terpasang (bukan dari hasil analisa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

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

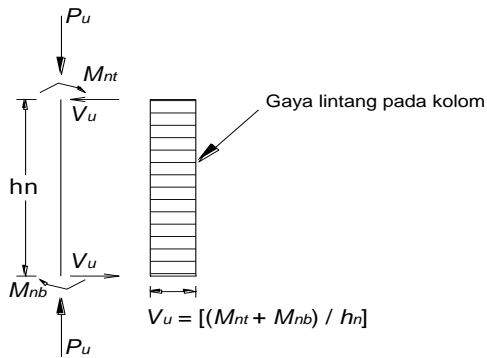
Syarat-syarat dan perumusan yang dipakai pada perencanaan komponen struktur dengan sistem rangka pemikul momen menengah menurut SNI-03-2847-2002:

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan pasal 23.10.4, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi ($A_g f_c' / 10$). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi ($A_g f_c' / 10$), maka pasal 23.10.5 harus dipenuhi.. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi pasal 23.10.6.
2. Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

- a. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor (lihat Gambar 2.2), atau
- b. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.



Gambar 2. 1 Gaya Lintang Pada Balok Akibat Beban Gravitasi Terfaktor



Gambar 2. 2 Gaya Lintang Pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor

2.4 Pembebanan

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

2.4.1 Beban Mati

Berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan termasuk berat keran. Sesuai *SNI 1727-2013 psl 3.1.1*. Berikut adalah beban-beban mati yang diperhitungkan :

1. Beban mati pada pelat atap:
 - a) Berat sendiri pelat
 - b) Beban plafond
 - c) Beban instalasi listrik, AC, dll

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

2.4.2 Beban Hidup

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

2.4.3 Beban Hidup Atap

Beban pada atap yang diakibatkan (1) pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan meterial dan (2) selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian. Sesuai *SNI 1727-2013 psl 4.1-7*.

2.4.4 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 Pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini. *Sesuai SNI 1727-2013 psl 26.1.1.*

a. Kategori risiko bangunan

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

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

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

Catatan:

*Jenis bangunan sesuai dengan Tabel 1 SNI 1726-2012

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

b. Kecepatan angin dasar (V)

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

c. Parameter beban angin

- Faktor arah angin (K_d)

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

Tabel 2. 3 Faktor Arah Angin (Kd)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	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

*Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2.

*Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

- Kategori eksposur

1. **Eksposur B:** Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500ft (457m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari

- 2.600ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.
2. **Eksposur C:** Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau D tidak berlaku.
 3. **Eksposur D:** Eksposur D berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagai mana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600ft (183m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara katagori exposure, harus menggunakan hasil katagori di gaya angin terbesar.
 4. **Pengecualian:** Eksposur menengah antara kategori sebelumnya diperbolehkan di zona transisi asalkan itu ditentukan oleh metode analisis rasional yang dijelaskan dalam literatur dikenal.
 - Faktor topografi (K_{zt})
Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$
 di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam tabel di bawah ini. Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan, $K_{zt} = 1,0$.

Tabel 2. 4 Faktor Topografi (Kzt)

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

- Faktor efek tiupan angin (G)
 - Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.
 - Untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung atau struktur lain adalah kaku atau fleksibel, frekuensi alami fundamental, n_1 , harus ditetapkan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang dibuktikan secara benar. Bangunan bertingkat rendah diizinkan untuk dianggap kaku.

- Klasifikasi ketertutupan

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

- Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

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

Tabel 2. 5 Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Sistem Penahan Beban Angin Utama dan Komponen dan Klading		Semua Ketinggian
Tabel 26.11-1	Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})	Dinding & Atap
Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, dan Terbuka		
Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})	
Bangunan gedung terbuka	0,00	
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55	
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18	

Catatan:

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

d. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h)

Berdasarkan kategori eksposur yang telah ditentukan, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h , sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel di bawah ini. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, diizinkan untuk menggunakan nilai menengah dari K_z atau K_h , asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang tercantum dalam literatur yang dikenal.

Tabel 2. 6 Koefisien eksposur tekanan velositas (K_h dan K_z)

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

Catatan:

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

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

Tabel 2. 7 Konstanta Eksposur Daratan

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

* Z_{min} = tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekuivalen \bar{z} yang lebih besar dari 0,6h atau Z_{min} .
 Untuk bangunan gedung dengan $h \leq Z_{min}$, \bar{z} harus diambil sebesar Z_{min} .

e. Tekanan velositas (q atau q_h)

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

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

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

dimana:

K_d = faktor arah angin

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas

K_{zt} = faktor topografi tertentu

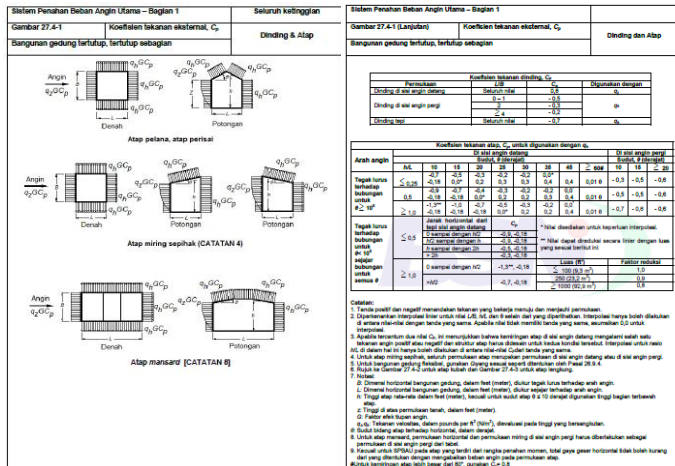
V = kecepatan angin dasar

q_z = tekanan velositas dihitung pada ketinggian z

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

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

f. Koefisien tekanan eksternal (C_p atau C_N)



Gambar 2. 3 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

g. Tekanan angin (p)

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

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

di mana :

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

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

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

$q_i = q_z$ untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah berpartikel terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak, harus diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan Pasal 26.10.3. Untuk menghitung tekanan internal positif, q_i secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian h ($q_i = q_h$)

G = faktor efek-tiupan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

(GC_{pi}) = koefisien tekanan internal

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

2.4.5 Beban Gempa

a. Gempa Rencana

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat terbesar selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 10 persen.

b. Perhitungan Gempa

1. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata – rata (\bar{N}_{SPT}).

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

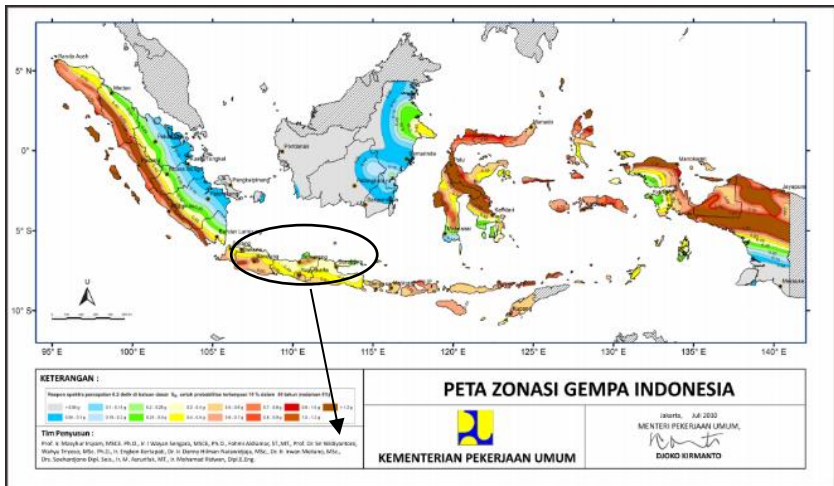
2. Dari nilai \bar{N}_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel berikut :

Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs

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

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

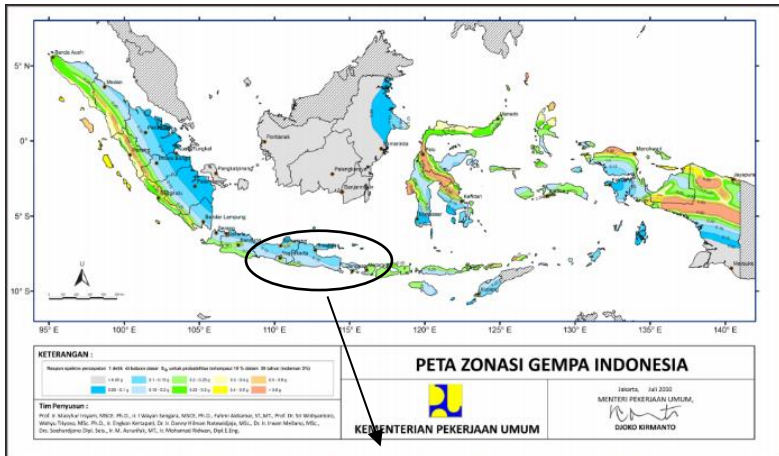
3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan **PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010**.



Gambar 2. 4 Respons spektra percepatan 0,2 detik (S_d) di batuan dasar (S_d) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



Gambar 2. 4 Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun



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



Gambar 2. 5 Peta Respon Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun

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

Tabel 2. 9 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. 10 Koefisien Situs, F_v

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

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

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

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

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

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

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

8. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik.

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

9. Kemudian menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan.

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

h_n = Tinggi bangunan (m)

$C_t = 0,0466$

$x = 0,9$

10. Membuat Respon Spektrum Gempa

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

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

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

$$S_a = S_{DS}$$

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

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

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

Tabel 2. 11 Kategori Resiko

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

Tabel 2. 12 Faktor Keutamaan Gempa

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

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

Tabel 2. 13 Faktor *R*, *C_d* dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

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

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

$$V = C_s \times W$$

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

Sehingga,

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

14. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik per Lantai (F)

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

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

Sehingga,

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

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

2.4.6 Kombinasi Pembebanan

Beban beban yang ada harus dikombinasikan agar mendapatkan kekuatan perlu (U) bangunan. Berikut adalah kekuatan perlu dari kombinasi beban terfaktor berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.2 :

$$U = 1,4D$$

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

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

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

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

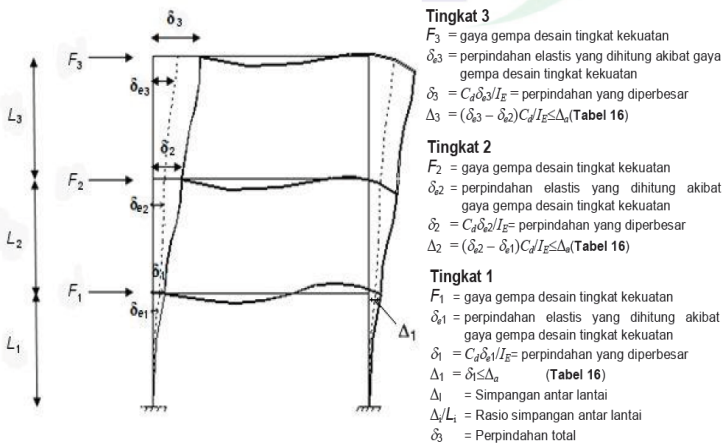
$$U = 0,9D + 1,0W$$

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

2.5 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Berdasarkan *SNI 1726-2012 pasal 7.8.6* Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Lihat gambar 2.1. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan dalam pasal 7.8 tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.



Gambar 2. 6 Penentuan simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a) sesuai dengan tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2. 14 Simpangan antar lantai ijin, Δ_a

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 <i>hsx c</i>	0,020 <i>hsx</i>	0,015 <i>hsx</i>
Struktur dinding geser kantilever batu bata <i>d</i>	0,010 <i>hsx</i>	0,010 <i>hsx</i>	0,010 <i>hsx</i>
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 <i>hsx</i>	0,007 <i>hsx</i>	0,007 <i>hsx</i>
Semua struktur lainnya	0,020 <i>hsx</i>	0,015 <i>hs</i>	0,010 <i>hsx</i>

2.6 Perencanaan Struktur Sekunder

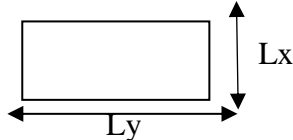
2.6.1 Pelat

2.6.1.1 Perencanaan ketebalan pelat

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

- Perencanaan pelat satu arah (one way slab)

Pelat satu arah terjadi apabila $l_y/l_x > 2$; dimana L_x = bentang pendek dan L_y = bentang panjang. seperti pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2. 7 Dimensi bidang pelat

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

Tabel 2. 15 Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak di hubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

CATATAN:

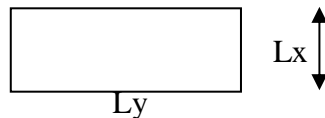
Panjang bentang dalam mm

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

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), W_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³. Nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,003 W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09
- (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

➤ Perencanaan pelat dua arah (two way slab)

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



Gambar 2. 8 Dimensi bidang pelat

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

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

$$h_1 = \frac{L_n \times \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5\beta \left[\frac{10}{\alpha_m} - 0,2 \right]}$$

Dan tidak boleh kurang dari 120 mm

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

$$h_2 = \frac{L_n \times \left(0.8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \quad (11)$$

Dan tidak boleh kurang dari *90 mm*

Dimana :

- l_n = Panjang bentang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok
- f_y = Tegangan leleh
- β = Rasio bentang berih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat
- α_m = Nilai rata – rata dari α untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel
- α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok.
- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan af tidakkurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Persamaan 10 atau persamaan 11 harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Nilai α_m didapat dari

$$\alpha = \frac{E_{balok} I_{balok}}{E_{plat} I_{plat}} \quad (12)$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \quad (14)$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} \quad (13)$$

$$I_{plat} = Ly \times \frac{hf^3}{12} \quad (15)$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)} \quad (16)$$

Perumusan untuk mencari lebar flens pada balok :

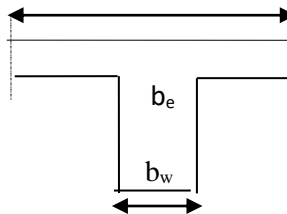
Balok Tengah :

Nilai be :

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

$$be = bw + 8 hf$$

dari kedua nilai be tersebut diambil yang terkecil.



Gambar 2. 9 Balok tengah

2.6.1.2 Analisa Gaya Dalam

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

2.6.1.3 Perhitungan Penulangan Pelat

a. Analisis struktur pelat

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

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p} > 1 \quad (17)$$

Dimana:

E_{cb} : modulus elastisitas balok beton

E_{cp} : modulus elastisitas pelat beton

I_b : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

b. Rasio Penulangan Pelat

Tabel 2. 16 Rasio Penulangan Pelat

SUMBER	PERSAMAAN
<i>SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1</i>	$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
<i>SNI-03-2847-2013 Lampiran B.8.4.2</i>	$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f'_{cr}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$

<i>SNI-03-2847-2013 Lampiran B.10.3.3</i>	$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$
<i>Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a</i>	$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$
<i>Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a</i>	$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$

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

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu} \quad (18)$$

$$A_s = \rho_{perlu} \times b \times d \quad (19)$$

c. Kontrol jarak spasi tulangan

Berdasarkan *SNI 2847-2013, Pasal 13.3.2*

$$S_{max} < 2 \times h \quad (20)$$

d. Kontrol tulangan susut dan suhu

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

e. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal pelat atau tidak lebih jauh dari 450 mm sesuai *SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.2*

f. Panjang penyaluran pelat tanpa balok harus mempunyai perpanjangan minimum sebagai berikut sesuai dengan gambar di bawah ini.

LAJUR	LOKASI	A_s MINIMUM PADA PENAMPANG	TANPA PANEL TURUN	DENGAN PANEL TURUN
LAJUR KOLOM	ATAS	SISA 50%		
	BAWAH	100%		
LAJUR TENGAH	ATAS	100%		
	BAWAH	SISA 50%		

Gambar 2. 10 Perpanjangan Minimum untuk Tulangan pada Slab tanpa Balok

1. Penyaluran tulangan momen positif

Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan
2. Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus memenuhi ke tepi pelat paling sedikit 150 mm dalam balok, kolom atau dinding.
3. Penyaluran tulangan momen negatif

Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang

penanaman melewati titik balok tidak kurang dari:

1. D
2. $12 d_b$
3. $ln/16$
4. Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus dibengkokkan, diakit, atau jikalau tidak diangkur dalam balok, kolom atau dinding dan harus disalurkan ke muka tumpuan.

2.6.2 Tangga

2.6.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga

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

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

Keterangan:

t = tinggi tanjakan < 25 cm

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

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

- Syarat sudut kemiringan tangga

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

- Jumlah tanjakan

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

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

- Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan luas segitiga :

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

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

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

2.6.2.2 Pembebanan Tangga

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

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

2.6.2.3 Penulangan Struktur Tangga

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

2.7 Perencanaan Struktur Primer

2.7.1 Balok

2.7.1.1 Perencanaan dimensi balok

Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan *SNI 2847-2013, Tabel 9.5 (a)*,

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/16$.
- Komponen struktur balok kantilever sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/8$.

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

2.7.1.2 Syarat Pelindung Beton

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1

Tabel 2. 17 Pelindung Beton untuk Tulangan

Keterangan	Tebal selimut Minimum(mm)
a) Beton yang dicor diatas dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca : Batang D-19 hingga D-57 Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	50 40
c) Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau berhubungan dengan tanah : <u>Pelat, dinding, balok usuk :</u> Batang D-44 dan D-57 Batang D-36 dan yang lebih kecil <u>Balok, kolom :</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral <u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat :</u> Batang D-19 dan yang lebih besar Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos dan yang lebih kecil	40 20 40 20 13

2.7.1.3 Perhitungan Momen dan Gaya Dalam pada Balok

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

2.7.1.4 Perhitungan tulangan

➤ Perhitungan Tulangan Lentur

- Tentukan momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program bantuan SAP 2000.
- Rencanakan f_y , f_c' , d , d' , d''
- Tabel Perhitungan sebagai berikut

Tabel 2. 18 Rasio Penulangan Balok

SUMBER	PERSAMAAN
<i>SNI 03-2847-2013 pasal 22.5.1</i>	$Mn = \frac{Mu}{\phi}$
<i>SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1</i>	$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
<i>SNI-03-2847-2013 Lampiran B.8.4.2</i>	$\rho b = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
<i>SNI-03-2847-2013 Lampiran B.10.3.3</i>	$\rho_{max} = 0,75 \rho b$
<i>Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a</i>	$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$
<i>Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a</i>	$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$

$$X_r < 0,75 \cdot X_b \quad (23)$$

$$d = b_w - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.utama}}$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.utama}}$$

$$C_c = T_1 = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \quad (24)$$

$$Asc = \frac{T_1}{f_y} \quad (25)$$

$$Mns = Mn - Mnc = \frac{Mu}{\phi} - Mnc \quad (26)$$

Dimana:

Mn : momen nominal penampang

Mu : momen ultimit penampang

Φ : faktor reduksi

Pb : rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

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

Asc : luas tulangan tarik non-prategang

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

Mnc : momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan

d. Periksa Kebutuhan Tulangan Tekan

- Jika $(Mn - Mnc) > 0$, maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$Cs = T_2 = \frac{Mn - Mnc}{d - d''} \quad (23)$$

$$fs' = \left(\frac{x - d''}{x} \right) \times 600 \quad (24)$$

Jika $fs' > fy$, maka tulangan tekan leleh

Jika $fs' = fy$, maka

Jika $fs' < fy$, maka tulangan tekan tidak leleh

$$As' = \frac{Cs}{fs' - 0,85fc'} \quad (25)$$

$$Ass = \frac{T_2}{f_y} \quad (26)$$

Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} \quad (27)$$

$$A_s = A_{s'} \quad (28)$$

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

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (29)$$

Syarat:

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

Jika $\rho > \rho_{maks}$, maka terdapat 2

kemungkinan:

- Dimensi balok (h) harus diperbesar

- Dipakai tulangan ganda (rangkap)

Jika $\rho_{perlu} \leq \rho_{min}$, maka $\rho_{perlu} =$

ρ_{min} sehingga

$$A_s = \rho_{perlu} \times b \times d \quad (30)$$

- e. Kontrol jarak spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2

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

- f. Kontrol kekuatan momen penampang

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 22.5.1

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

➤ Perhitungan tulangan geser

Kekuatan geser nominal beton bertulang V_n pada dasarnya merupakan kombinasi kekuatan antara geser yang mampu dipikul beton V_c dengan kekuatan geser yang mampu dipikul oleh baja tulangan V_s atau dalam persamaan dapat ditulis

sebagai berikut berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.1.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (31)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (32)$$

- Kuat geser beton (V_c) dihitung berdasarkan SNI 03 2847-2013, Pasal 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad (33)$$

- Kuat geser tulangan (V_s) dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5.3

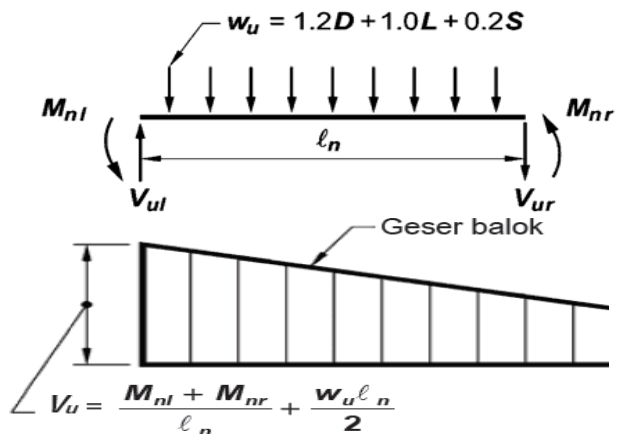
$$V_{smin} = 0,33 b_w d \quad (34)$$

$$V_{smax} = 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d \quad (35)$$

- Luasan tulangan geser dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.6.3

$$A_v = \frac{0,35 \times b_w \times s}{f_{yt}} \quad (36)$$

Untuk mendapatkan nilai kuat geser terjadi (V_u), rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 11 Gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM

Dimana:

- V_u : gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai
 M_n kiri : momen nominal penampang kiri
 M_n kanan : momen nominal penampang kanan
 W_u : beban terfaktor per unit luas (kombinasi pembebanan)
 L_n : bentang bersih balok

- Adapun persyaratan perhitungan tulangan geser adalah :

- Kondisi 1 (tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \times \varphi \cdot V_c \quad (37)$$

- Kondisi 2 (Perlu tulangan geser minimum)

$$0,5 \times V_c \leq V_u \leq \varphi \cdot V_c$$

$$(V_{S_{\text{perlu}}} = V_{S_{\text{min}}}); \quad A_v = \frac{0,35 \times b_w \times s}{f_{yt}} \quad (38)$$

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{\text{max}} \leq 600$$

- Kondisi 3 (Perlu tulangan geser minimum)

$$\varphi \cdot V_c < V_u \leq (\varphi \cdot V_c + \varphi \cdot V_{S_{\text{min}}})$$

$$V_{S_{\text{perlu}}} = V_{S_{\text{min}}}; \quad A_v = \frac{0,35 \times b_w \times s}{f_{yt}} \quad (39)$$

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{\text{max}} \leq 600$$

- Kondisi 4 (Perlu tulangan geser minimum)

$$(\varphi \cdot V_c + \varphi \cdot V_{S_{\text{min}}}) < V_u$$

$$\leq (\varphi \cdot V_c + \varphi \cdot V_{S_{\text{max}}})$$

$$\varphi V_{S_{\text{perlu}}} = V_u - \varphi \times V_c ; \quad V_s = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{s} \quad (40)$$

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{\text{max}} \leq 600$$

- Kondisi 5 (Perlu tulangan geser minimum)

$$(\varphi \cdot V_c + \varphi \cdot V_{S_{\text{max}}}) < V_u \leq (\varphi \cdot V_c + \varphi \cdot 2V_{S_{\text{max}}})$$

$$\phi V_{S_{\text{perlu}}} = V_u - \phi \times V_c; V_s = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{s} \quad (41)$$

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{\text{max}} \leq 300$$

- Kondisi 6 (Perbesar penampang)

$$V_s > 2V_{s_{\text{max}}} \quad (42)$$

Dimana :

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

➤ Perhitungan tulangan torsi (puntir)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.1.a*. Pengaruh puntir pada struktur non-prategang dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor **Tu** besarnya kurang dari:

$$T_u = \phi \times 0,083 \times \lambda \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (43)$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir (*SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.5*)

$$\phi T_n \geq T_u$$

Sedangkan tulangan sengkang yang dibutuhkan untuk menahan puntir (*SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.6*)

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (44)$$

Dimana :

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = kuat momen puntir nominal

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

P_{cp} = keliling luar penampang beton

➤ **Perhitungan panjang penyaluran tulangan**

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Tabel 12*. Panjang penyaluran (l_d), dinyatakan dalam diameter d_b . Nilai l_d tidak boleh kurang dari 300 mm. Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai l_d/d_b harus diambil sebagai berikut.

Tabel 2. 19 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir

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

- Panjang penyaluran (l_d) dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{db} . Nilai l_d tidak boleh kurang dari 200 mm.
- Panjang penyaluran dasar l_{db} harus diambil sebesar yang terbesar (*SNI 03-2847-2013, Pasal 12.3.2*)

$$\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b. \quad (44)$$
- Dan tidak kurang dari $0,043 \times d_b \times f_y$

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

- a. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada

sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

- b. Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang.
 - * Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):
 - a) $d/4$;
 - b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
 - d) 300 mm.
- c. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok.

2.7.2 Kolom

2.7.2.1 Perencanaan dimensi kolom

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{l_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{l_{\text{balok}}} \quad (46)$$

Dimana:

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

l_{kolom} = tinggi bersih kolom

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

l_{balok} = tinggi bersih balok

2.7.2.2 Perhitungan Penulangan Kolom

1. Bedakan kolom dengan pengaku (*braced frame*) atau kolom tanpa pengaku (*unbraced frame*)

2. Hitung nilai factor kekakuan kolom (E_i) berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1*

$$E_i = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_d} \quad (47)$$

Dimana:

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

I_g = momen inersia penampang kolom = $1/12 b \cdot h^3$ mm⁴

E_s = modulus elastisitas baja = 200.000 MPa

I_{se} = momen inersia tulangan terhadap pusat penampang

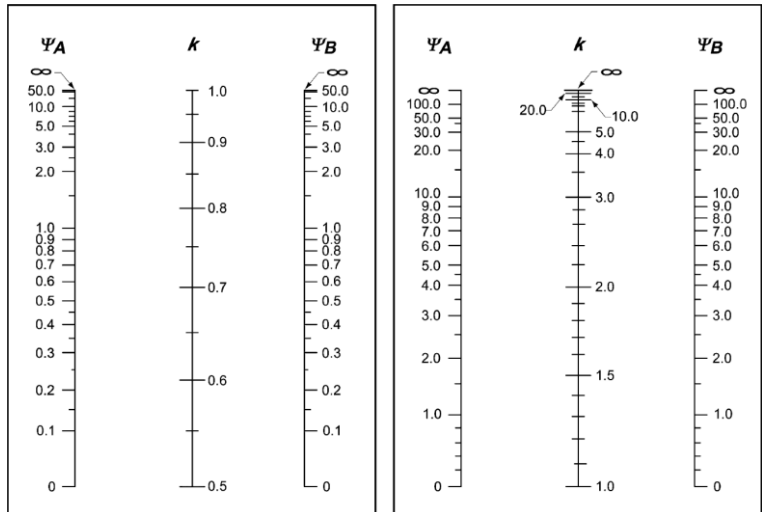
B_d = rasio dari beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap bebannaksial terfaktor maksimum.

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

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{EI}{\lambda} \right)_{\text{balok}}} \quad (48)$$

4. Hitung faktor panjang efektif

Dalam penerapannya dipergunakan nomogram seperti tampak pada gambar.



Gambar 2. 12 Faktor kekakuan kolom

(a)portal tak bergoyang (b)portal bergoyang

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

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

5. Kontrol Kelangsingan

Pada saat perencanaan elemen kolom perlu ditetapkan apakah kolom yang kita rencanakan tergolong kolom pendek atau kolom langsing. Begitu pula perlu kita definisikan apakah tergolong kolom dengan pengaku (braced) ataukah kolom tanpa pengaku (unbraced),

dengan itu perlu dilakukan kontrol sesuai dalam SNI-03- 2847-2013, pasal 10.10.

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

$$\frac{k.Lu}{r} \leq 22 \quad (48)$$

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

$$\frac{k.Lu}{r} \leq 34 - 12(M1/M2) \leq 40 \quad (49)$$

Dimana:

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

M1 = momen terkecil ujung kolom

M2 = momen terbesar ujung kolom

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

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(k \times Lu)^2} \quad (50)$$

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

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M1}{M2} \quad (51)$$

Dimana:

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

M1 = momen ujung terfaktor 1

M2 = momen ujung terfaktor 2

8. Faktor Pembesaran momen (δ_{ns} dan δ_s)
 - Perhitungan untuk rangka portal tidak bergoyang berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}} \geq 1 \quad (52)$$

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2 \quad (53)$$

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

10.10.7

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1 \quad (54)$$

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (55)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (56)$$

Dimana:

M1s = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M2s = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M1ns = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M2ns = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

- **Perhitungan Penulangan Lentur**

Hitung :

- Tentukan nilai β
- Nilai M_{ux} dan M_{uy} (nilai terbesar dari M1 atau M2)

$$- \frac{P_u}{A_g} \text{ dan } \frac{\phi M_u}{A_g \times h} \quad (57)$$

- ρ_{perlu} didapat dari diagram interaksi
- $A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$

- Kontrol kemampuan kolom

$$\left(\frac{M_{ny}}{M_u}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{nx}}{M_u}\right)^\alpha \leq 1 \quad (58)$$

$$M^o \geq \frac{M_u}{\phi} \quad (59)$$

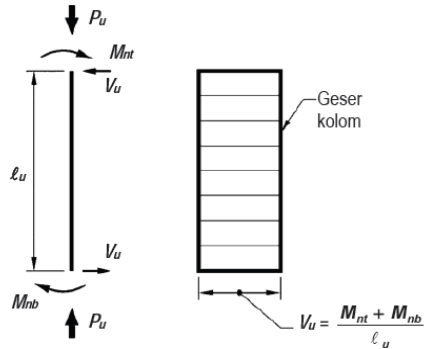
- **Perhitungan penulangan geser**

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

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) (\lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \quad (60)$$

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

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \quad (61)$$



Gambar 2. 13 Gaya lintang pada kolom

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

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

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

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

- e. Seperenam tinggi bersih kolom
 - f. Dimensi terbesar penampang kolom
 - g. 500mm
2. Senggang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o / 2$ dari muka joint.
 3. Di luar panjang L_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.14.
 4. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_o , seperti didefinisikan dalam 21.3.5.2 sepanjang tinggi penuh di bawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $Agfc'/10$. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $Agfc'/10$ harus ditingkatkan menjadi $Agfc'/4$. Tulangan transversal ini harus menerus di atas dan di bawah kolom seperti yang disyaratkan dalam 21.6.4.6(b).

BAB III METODOLOGI

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

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan dan pencarian data untuk keperluan disain gedung, meliputi:

- a. Data Gambar
Pengumpulan gambar rencana diperoleh gambar struktur dan arsitektur. Dimana nantinya gambar rencana tersebut digunakan untuk menentukan dimensi komponen – komponen struktur gedung.
- b. Data Perencanaan
 - Data Umum Bangunan
 - Nama Gedung : Apartemen “B” Surabaya
 - Lokasi : Jalan K. Abdul Karim No.37-39 Surabaya
 - Luas Bangunan : 495 m²
 - Tinggi Bangunan : 20,5 m
 - Data Bahan
 - Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
 - Baja Tulangan Lentur (f_y) : 400 Mpa
 - Baja Tulangan Geser (f_{ys}) : 240 Mpa
- c. Data tanah untuk perencanaan sebagaimana terlampir
- d. Peraturan- peraturan dan buku penunjang lain sebagai dasar teori
 - Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (*SNI 2847-2002*)

- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (**SNI 1726-2012**)
 - Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010
 - Peraturan Beton Bertulang Indonesia (**PBBI 1971**)
- e. Literatur dari beberapa sumber seperti buku penunjang dan peraturan perencanaan.

3.2 Studi Literatur

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

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

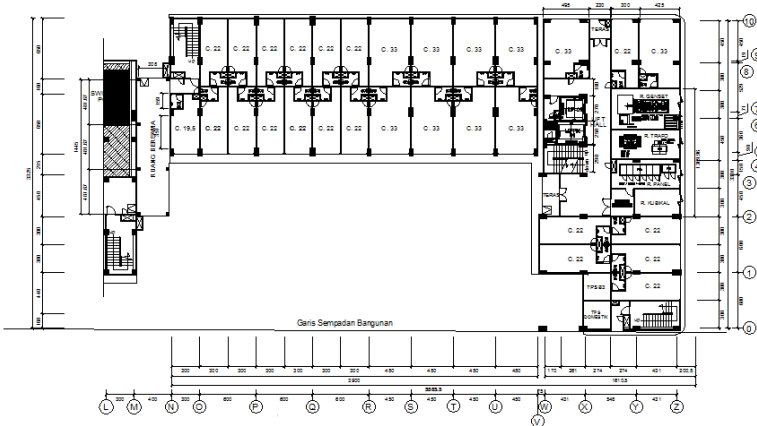
3.3 Modifikasi dan Penentuan Kriteria Desain

3.3.1 Modifikasi Struktur

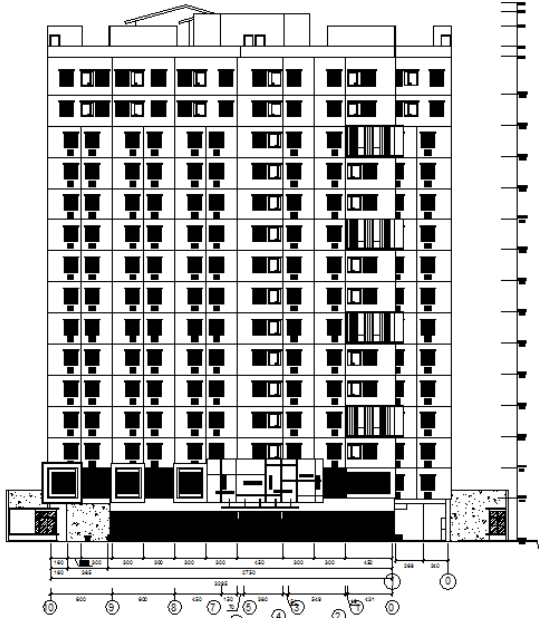
Pada gedung apartemen yang ditinjau yakni Tower B Apartemen Menara Rungkut Surabaya dan akan dimodifikasi yakni sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Perbandingan Kondisi Bangunan Eksisting dan Modifikasi

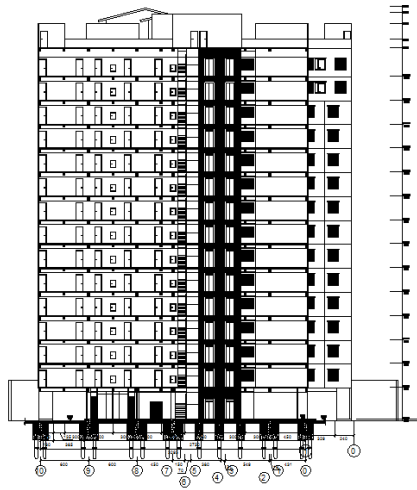
Eksisting	Modifikasi (Perubahan untuk Keperluan Tugas Akhir)
Dual Sistem (Sistem Rangka Pemikul Momen dan Shearwall)	SRPMM
Bangunan berjumlah 15 lantai	Bangunan berjumlah 6 lantai
Struktur Utama Beton Bertulang	Struktur Utama Beton Bertulang
Jenis Atap Pelat Beton	Jenis Atap Pelat Beton
Total Luas Area \pm 531,3 m ²	Total Luas Area \pm 495 m ²
Tinggi bangunan = 51,79 m	Tinggi Bangunan = 20,5 m



(a)

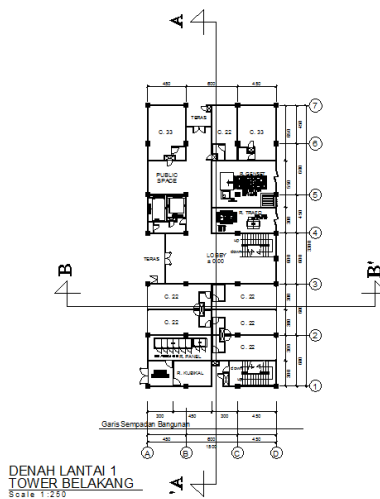


(b)



(c)

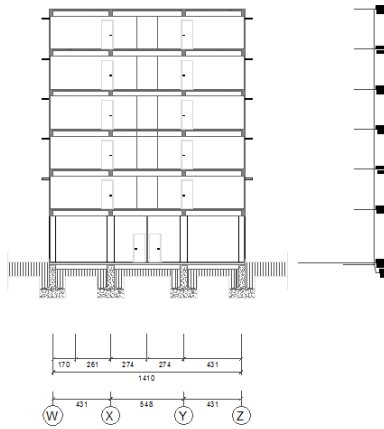
Gambar 3. 1 Denah (a), Tampak (b), dan Potongan (c) Eksisting Gedung Apartemen Menara Rungkut Surabaya



(a)



(b)



POTONGAN MELINTANG B - B'

(c)

Gambar 3. 2 Denah (a), Tampak (b), dan Potongan (c) Modifikasi Gedung Apartemen Menara Rungkut Surabaya untuk Proyek Akhir Terapan

3.3.2 Penentuan Kriteria Desain

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

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

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

3.4 Preliminary Desain

3.4.1 Penentuan dimensi balok

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

3.4.2 Perencanaan dimensi kolom

Perencanaan dimensi kolom sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 8.10

3.4.3 Penentuan dimensi pelat

- a. Perencanaan pelat satu arah sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 9.5
- b. Perencanaan pelat dua arah sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 9.5
- c. Analisa gaya pada pelat sesuai dengan hasil output SAP 2000

- d. Penulangan pelat sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 7
- e. Penulangan susut pada suhu sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 7.12

3.4.4 Preliminary Tangga

Perencanaan tangga sesuai dengan acuan dan peraturan yang ada.

3.5 Perhitungan Pembebanan

3.5.1 Beban Mati

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

3.5.2 Beban Hidup

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

3.5.3 Beban Angin

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

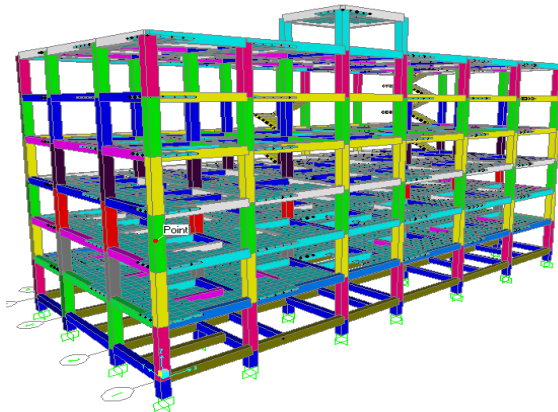
3.5.1 Beban gempa

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

3.6 Pemodelan Struktur

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

Untuk perencanaan terhadap gempa digunakan analisa pembebanan dengan menggunakan pembebanan gempa “Statik Ekuivalen”.



Gambar 3. 3 Pemodelan Struktur Bangunan

3.7 Analisa Gaya Dalam (M,N,D)

3.7.1 Analisa Gaya Dalam Pelat

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

3.7.2 Analisa Gaya Dalam Balok

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

3.7.3 Analisa Gaya Dalam Kolom

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

3.8 Perhitungan tulangan Struktur

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

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

3.9 Cek Syarat

1. Pelat
 - a. Kontrol jarak spasi tulangan
 - b. Kontrol jarak spasi tulangan susut

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

3.8 Gambar Rencana

3.8.1 Gambar Arsitektur

- a. Gambar denah
- b. Gambar tampak

3.8.2 Gambar Potongan

- a. Potongan memanjang
- b. Potongan melintang

3.8.3 Gambar Penulangan

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

3.8.4 Gambar Detail

- a. Gambar detail panjang penyaluran
 - Panjang penyaluran plat lantai
 - Panjang penyaluran plat tangga
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran kolom

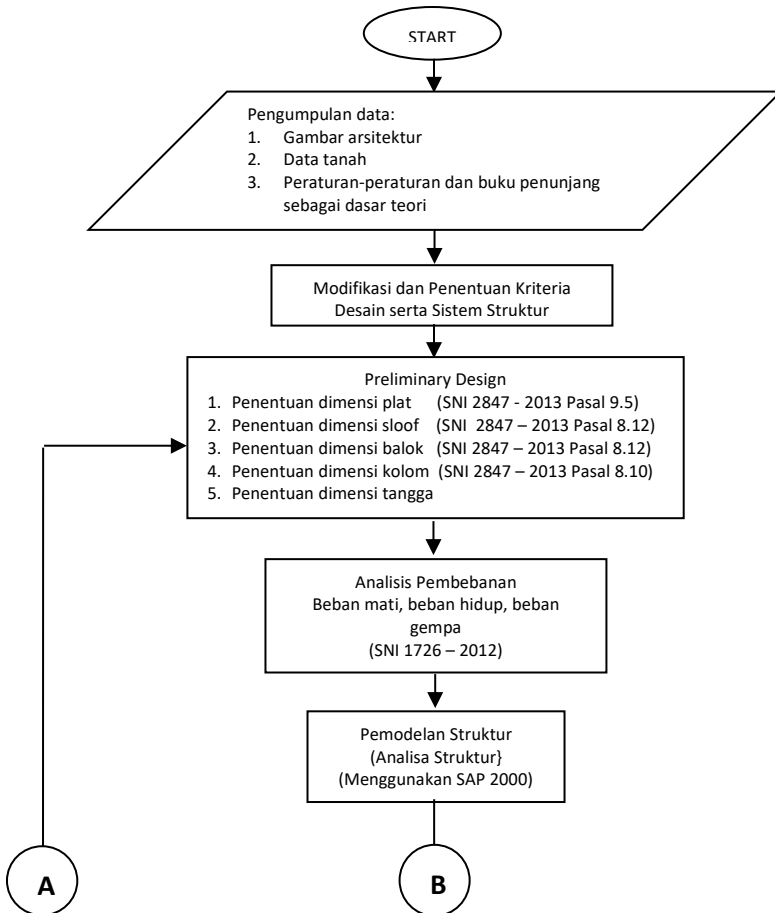
3.8.5 Gambar Struktur

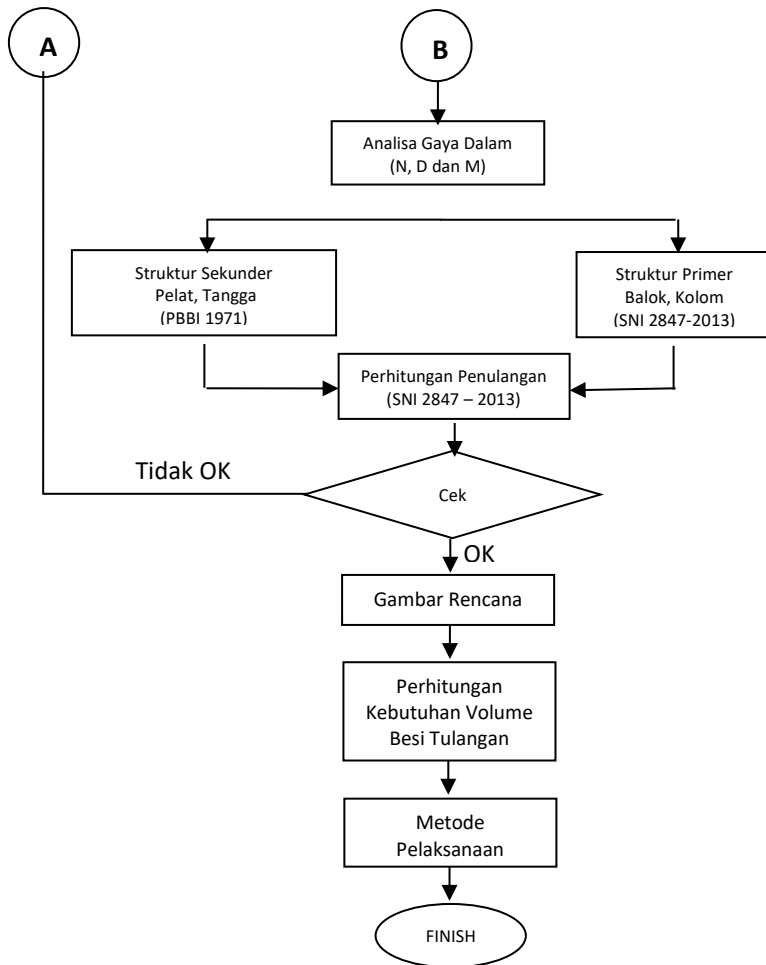
- a. Gambar balok
- b. Gambar kolom
- c. Gambar sloof

3.9 Flow Chart

3.9.1 Proses Perencanaan Struktur

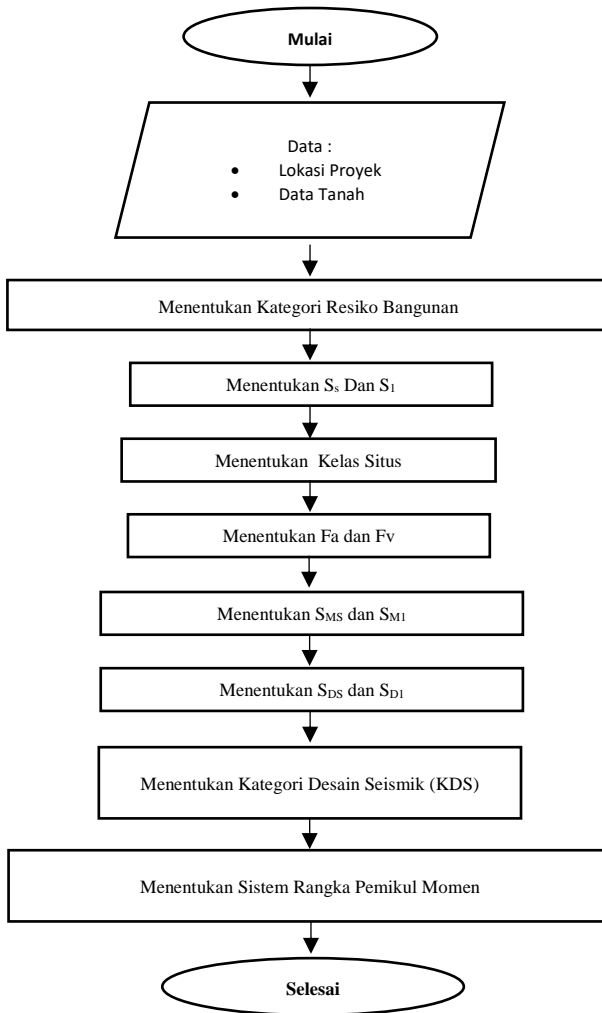
Langkah-langkah dalam Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Apartemen “B” Surabaya dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :





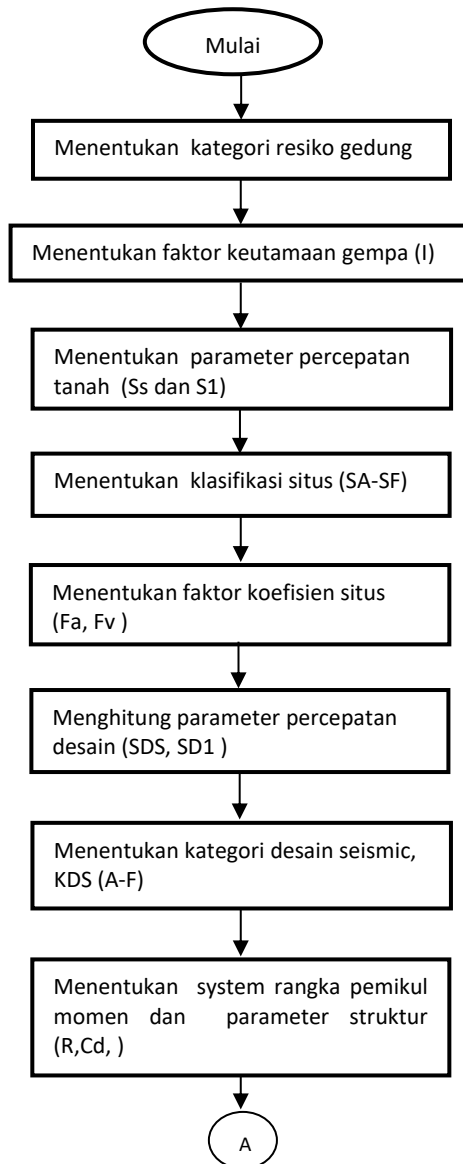
Gambar 3. 4 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan

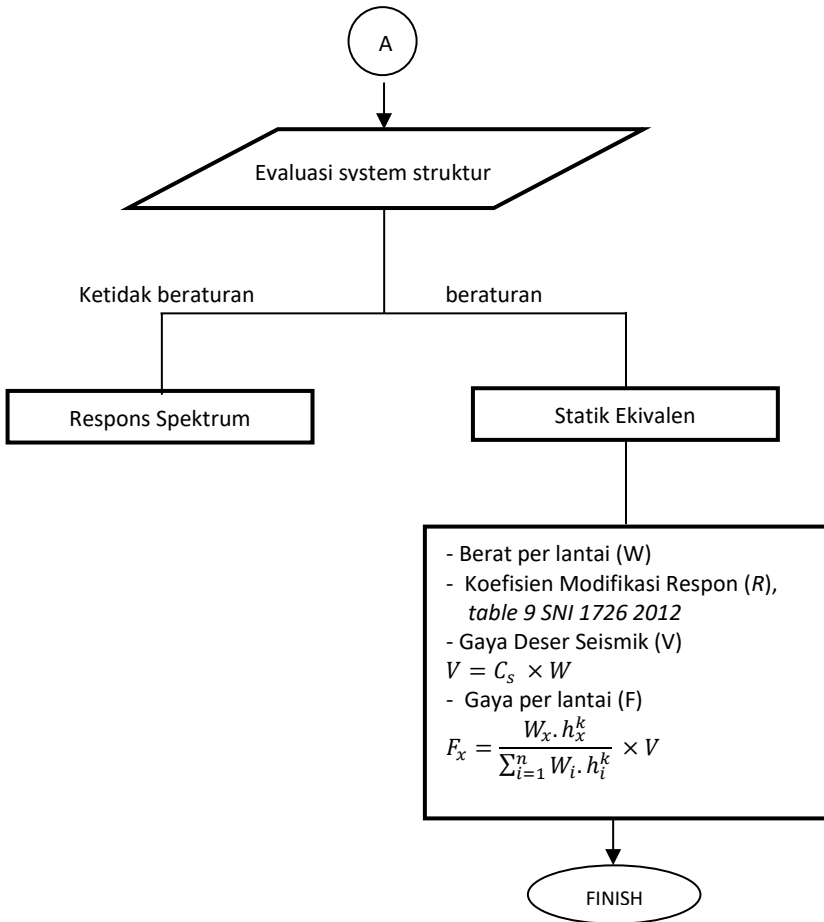
3.9.2 Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen



Gambar 3. 5 Flow Chart Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen

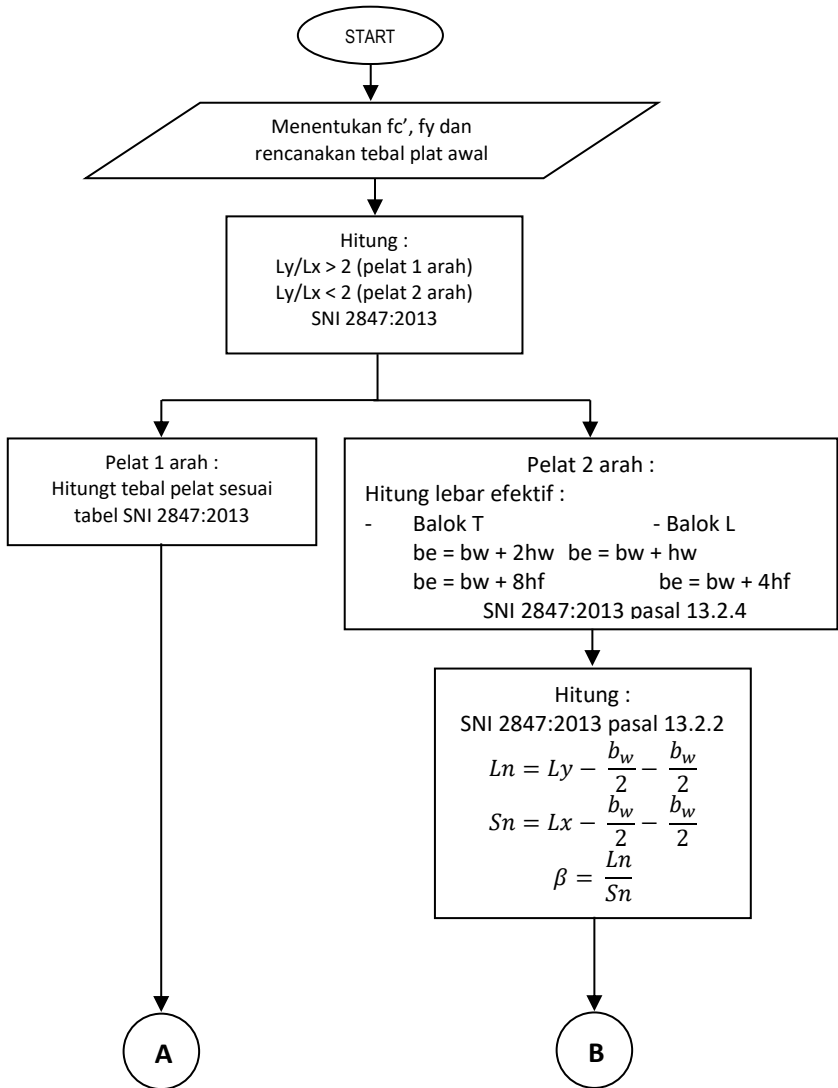
3.9.3 Gempa

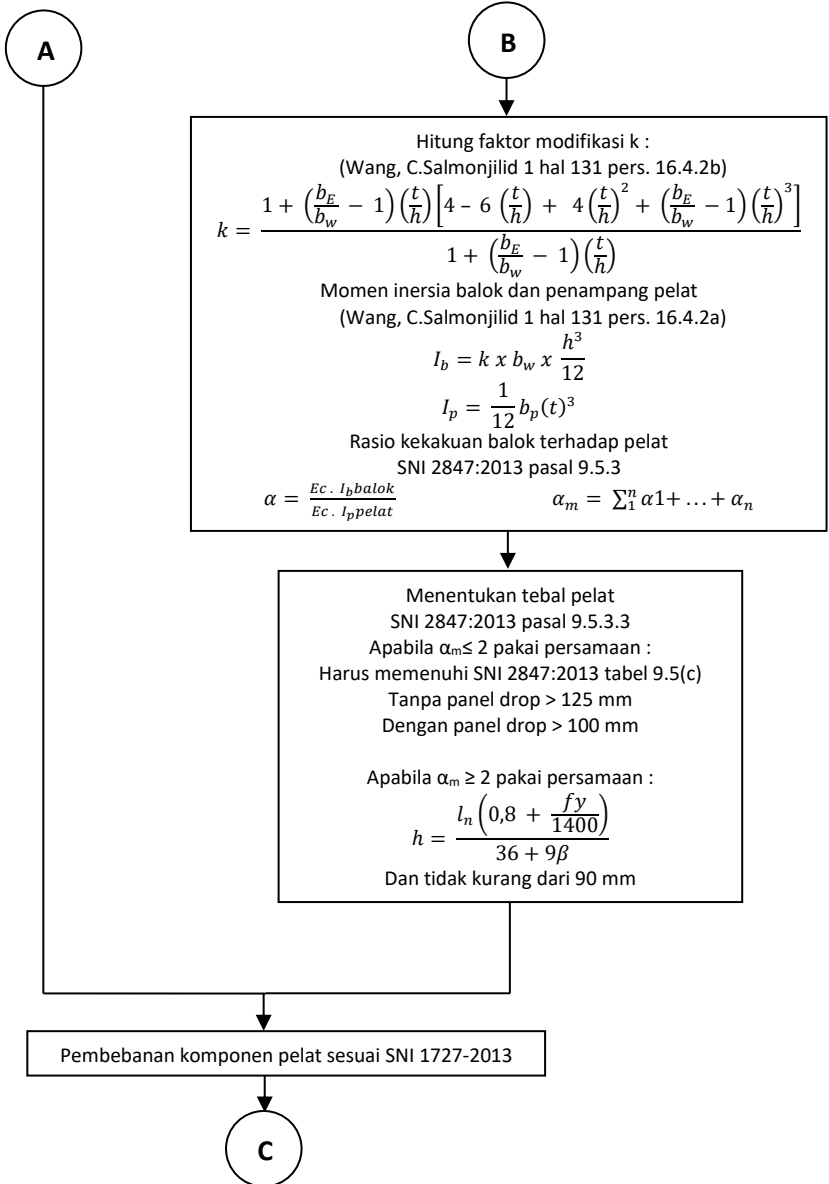




Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Gempa

3.9.4 Pelat







Analisis gaya dalam (Mtx, Mty, Mlx, Mly) sesuai PBBI 1971

- Jepit penuh (tabel 13.3.1)
- Jepit elastis (tabel 13.3.2)

Hitung :

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

(SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1)

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013 Pasal 8.4.3)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 49 pers. 3.6.1)

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

(Wang C Salmon iilid 1 hal 55 pers 3.8.4a)

Hitung :

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

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 54 pers. 3.8)

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

Dimana :

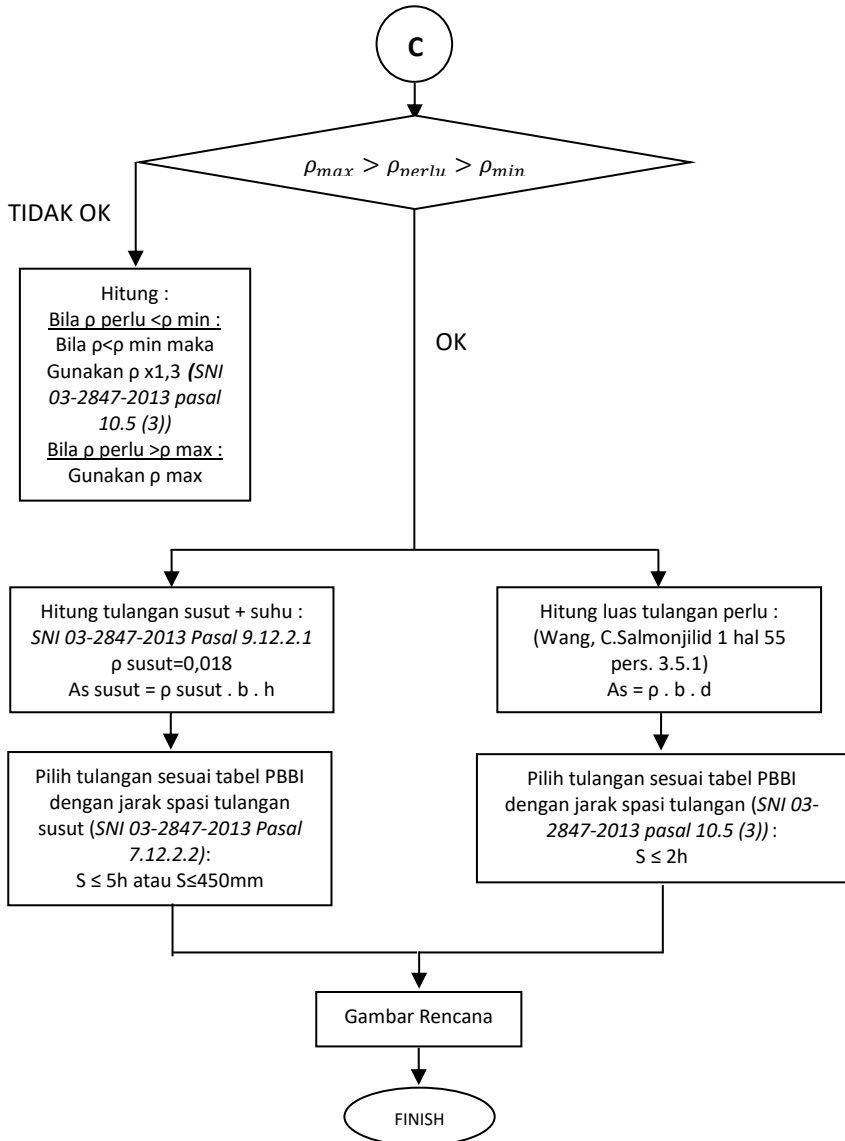
$$dx = t_{plat} - t_{selimut} - 1/2\phi$$

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 55 pers. 3.8.4b)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot x \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right]$$

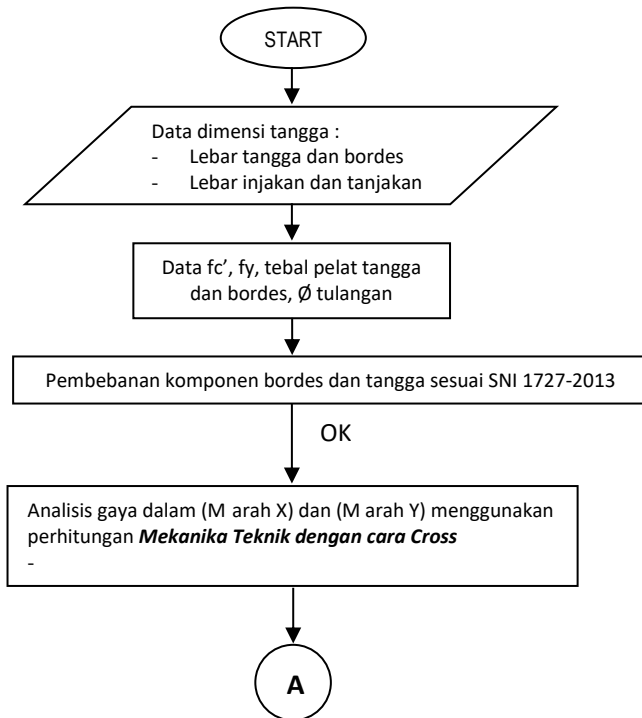
(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 55 pers. 3.8.5)





Gambar 3. 7 Flow Chart Perhitungan

3.9.5 Tangga



A

Hitung :

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

(SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1)

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013 Pasal 8.4.3)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 49 pers. 3.6.1)

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

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 55 pers. 3.8.4a)

Hitung :

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

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 54 pers. 3.8)

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} \text{ (penulangan arah x)}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dy^2} \text{ (penulangan arah y)}$$

Dimana :

$$dx = t_{plat} - t_{selimut} - \frac{1}{2}\phi$$

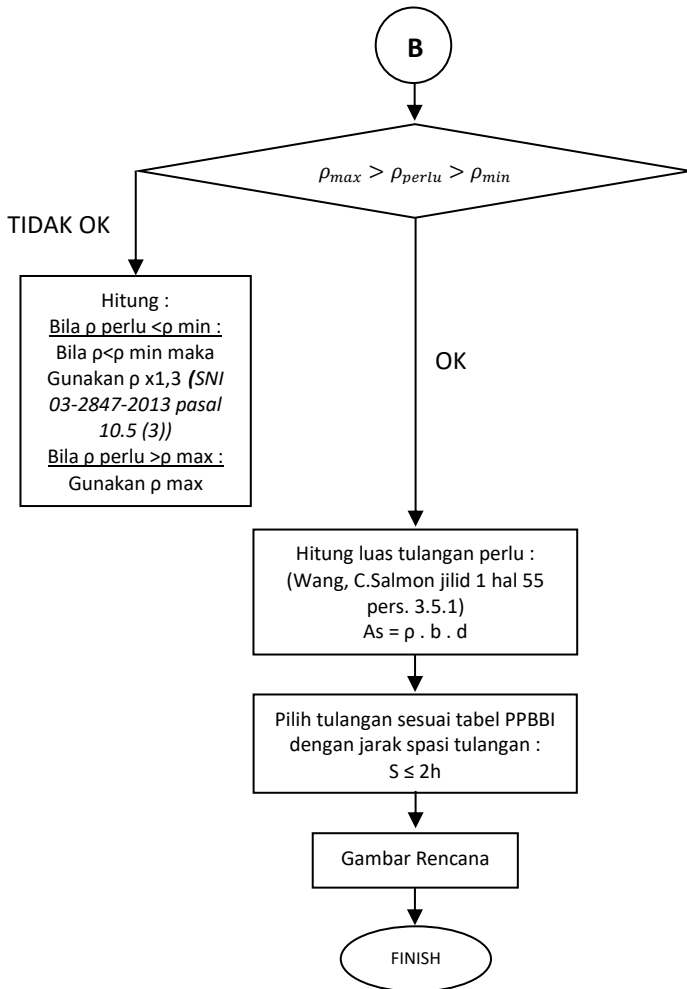
$$dy = t_{plat} - t_{selimut} - \phi - \frac{1}{2}\phi$$

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 55 pers. 3.8.4b)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right]$$

(Wang, C.Salmon jilid 1 hal 55 pers. 3.8.5)

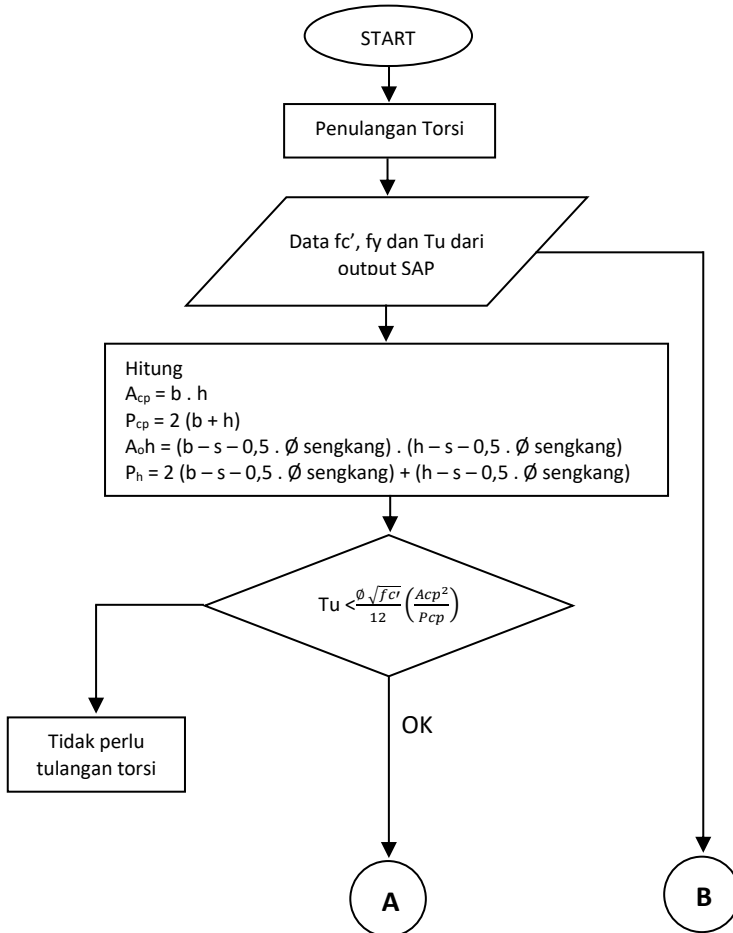
B

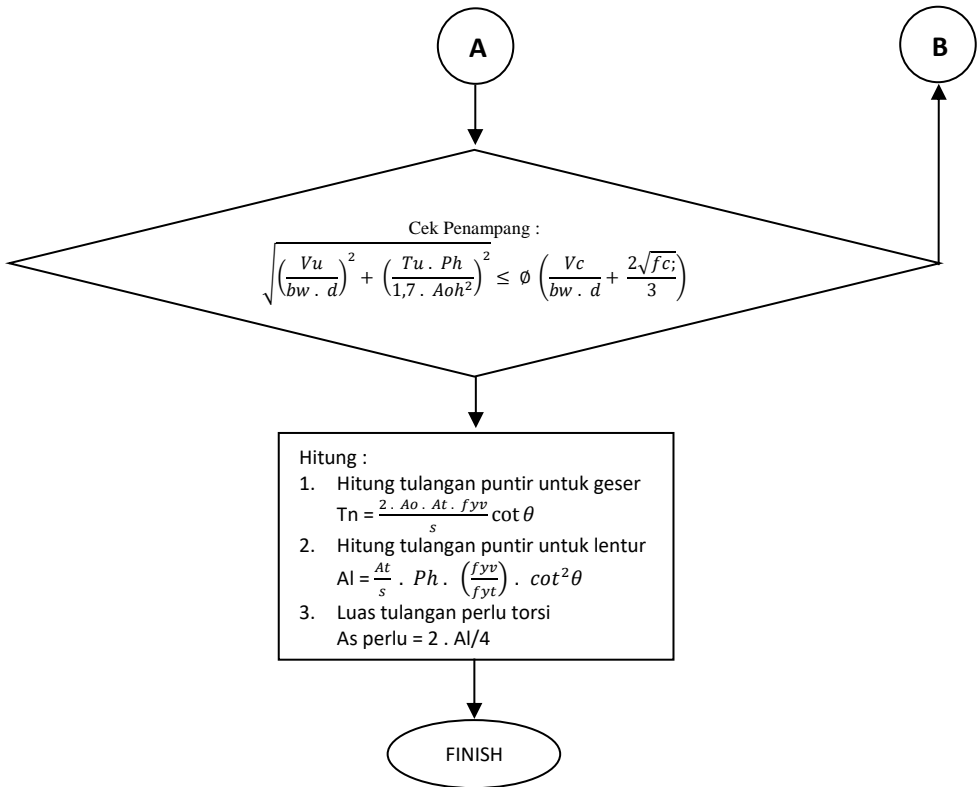


Gambar 3. 8 Flow Chart Perhitungan Tangga

3.9.6 Balok

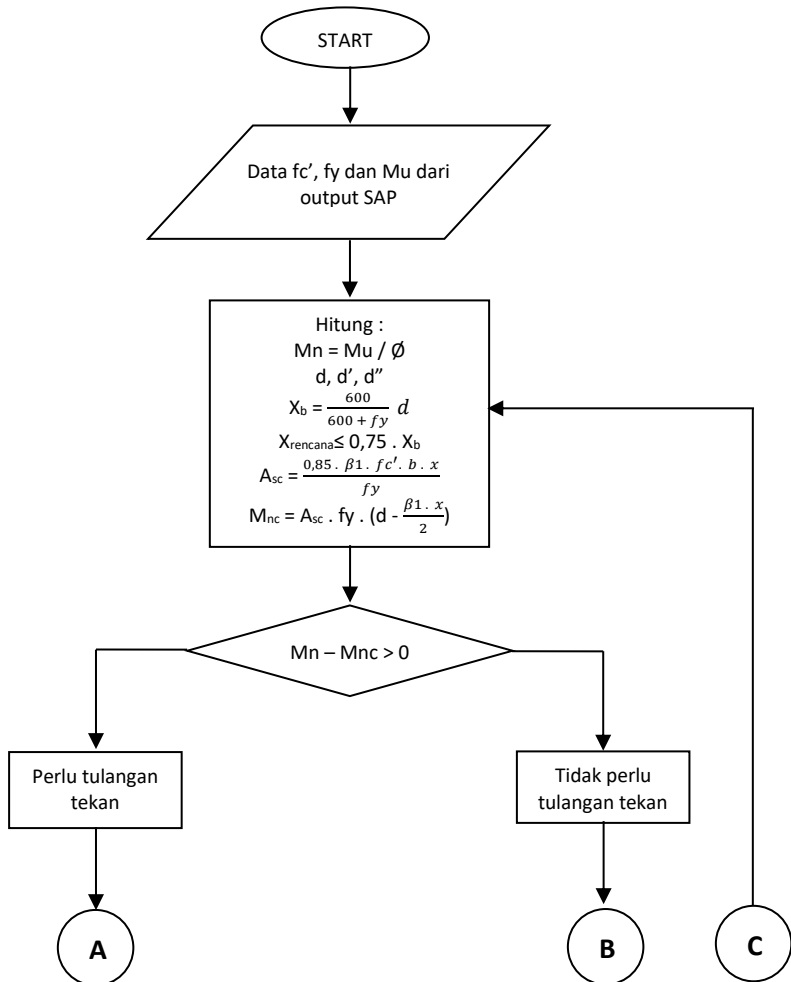
➤ Perhitungan Tulangan Torsi

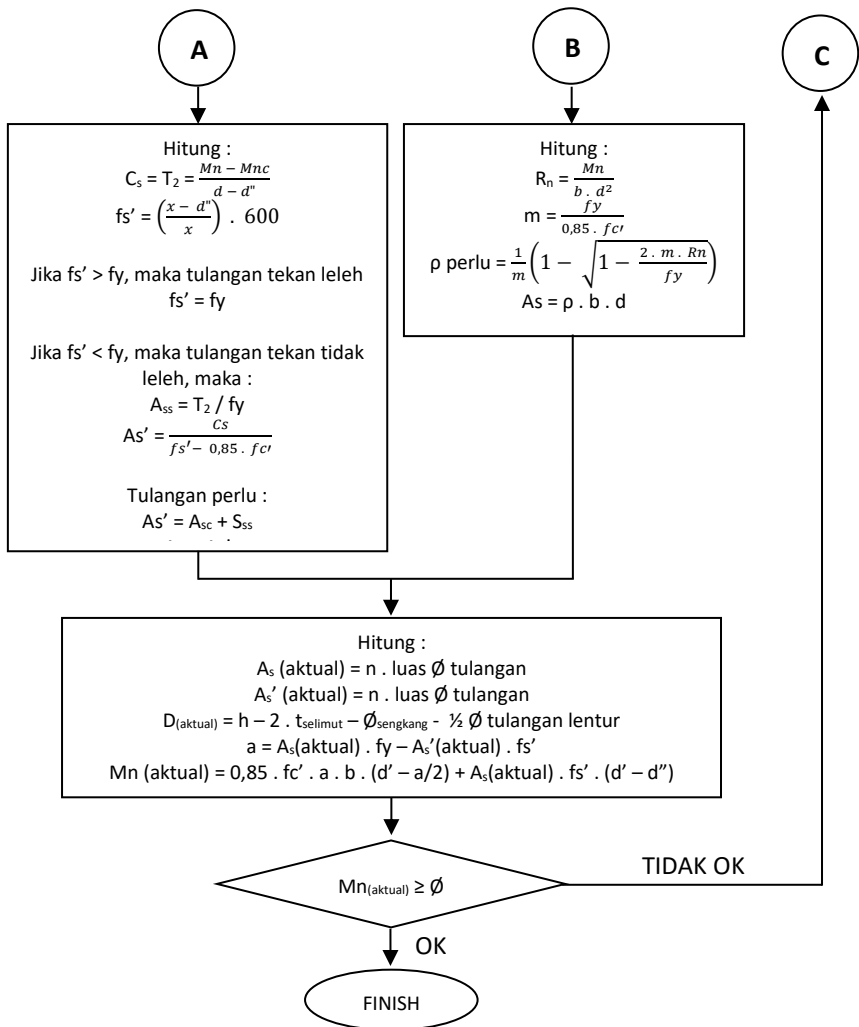




Gambar 3. 9 Flow Chart Perhitungan Tulangan Torsi Balok

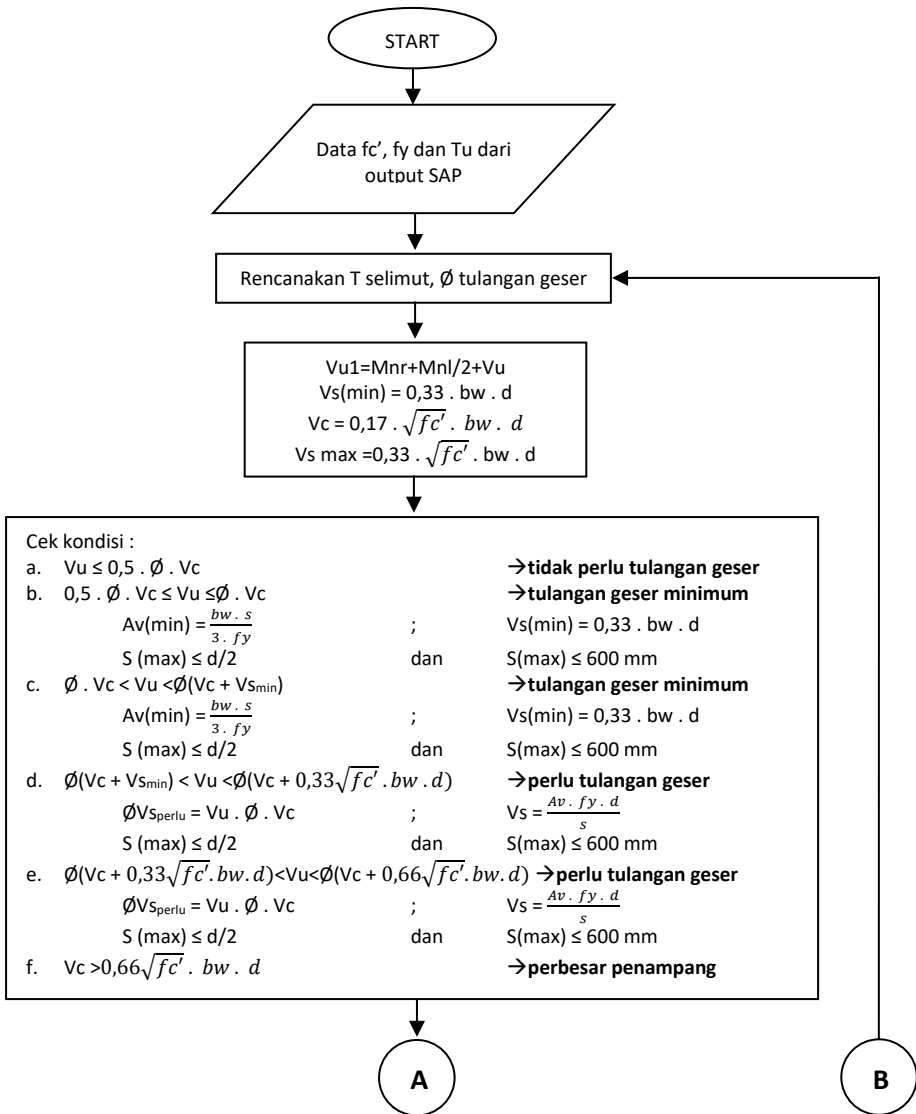
➤ **Perhitungan Penulangan Lentur**

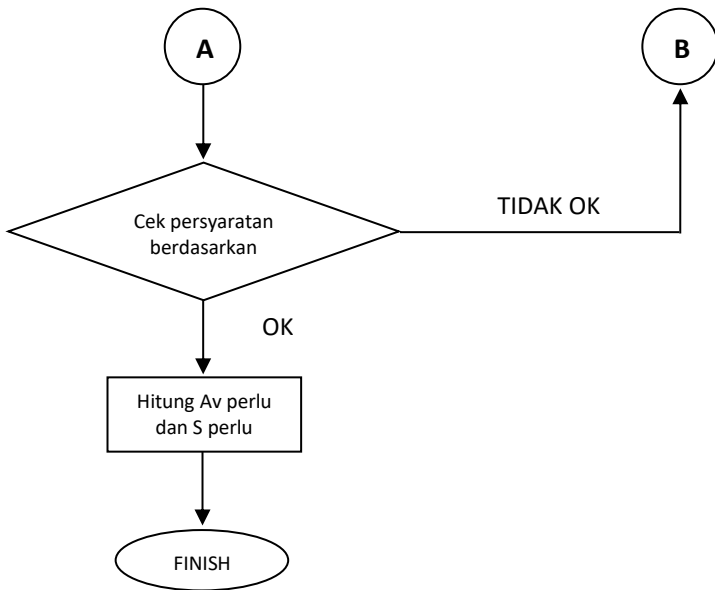




Gambar 3. 10 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Balok

➤ Perhitungan Penulangan Geser

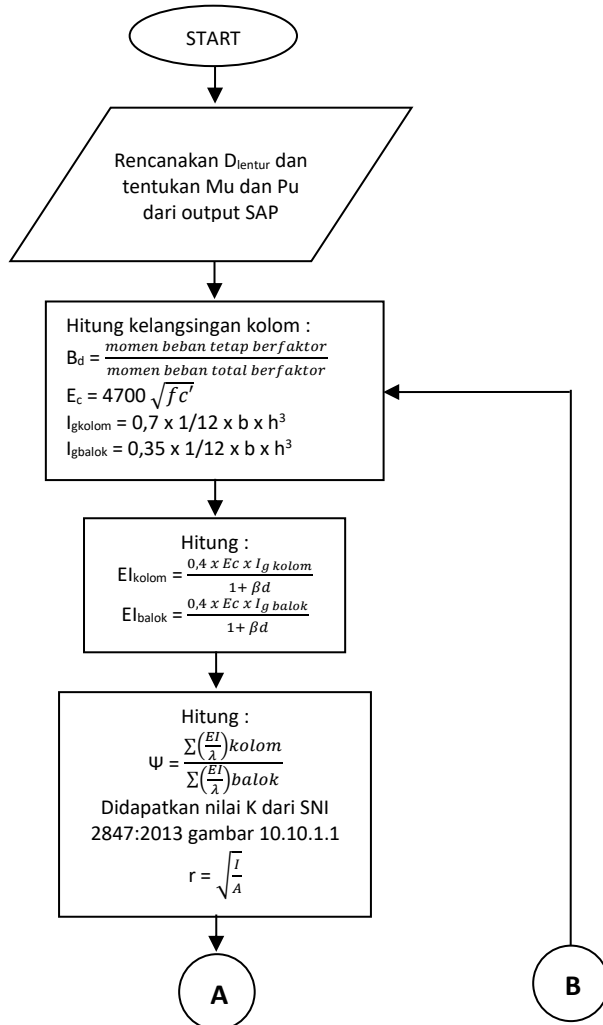


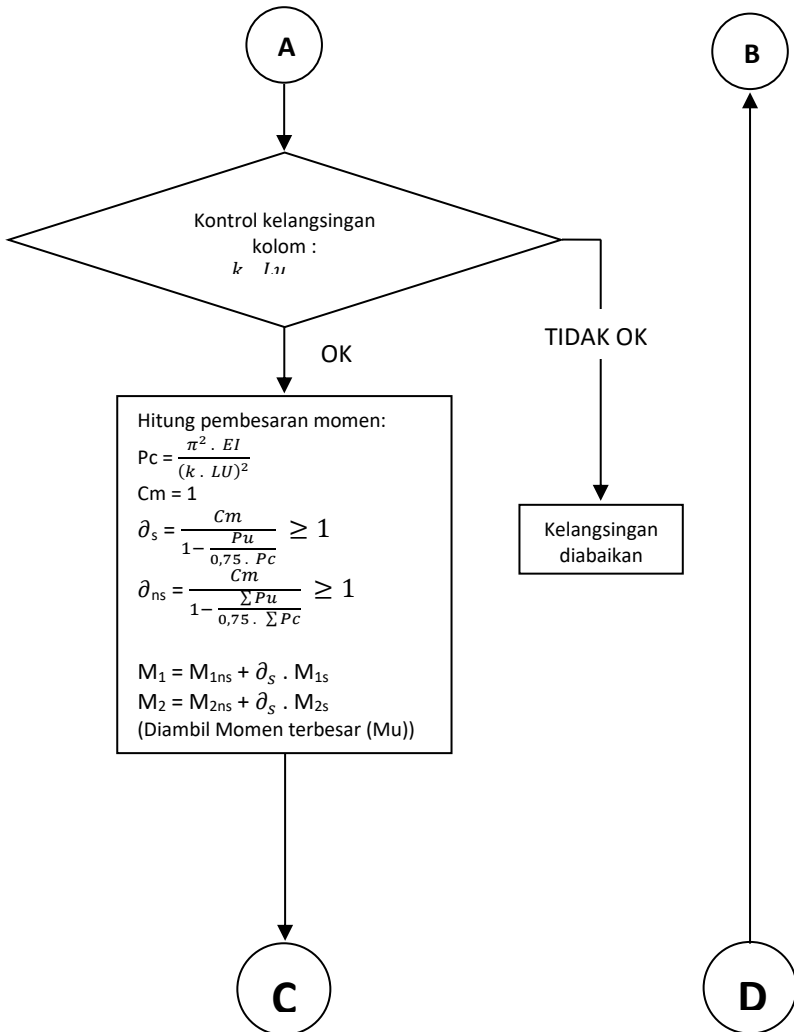


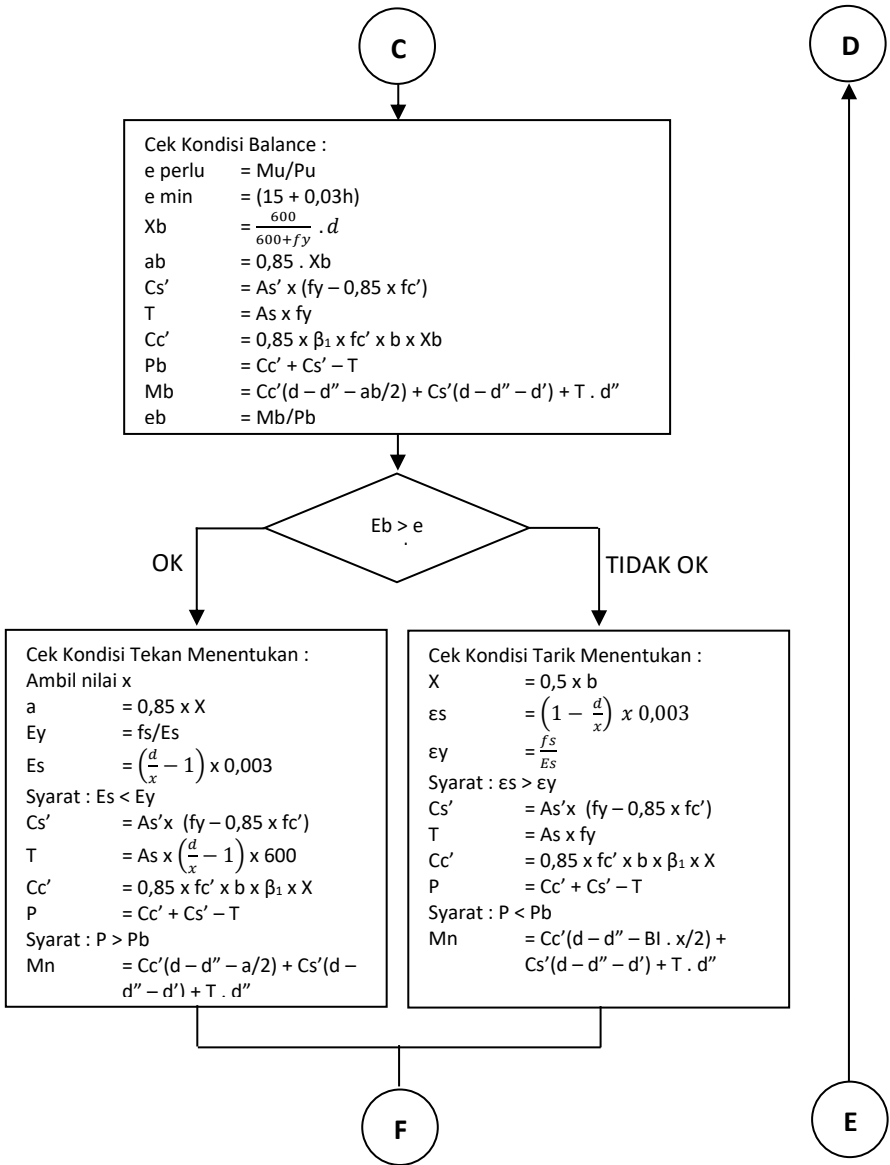
Gambar 3. 11 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok

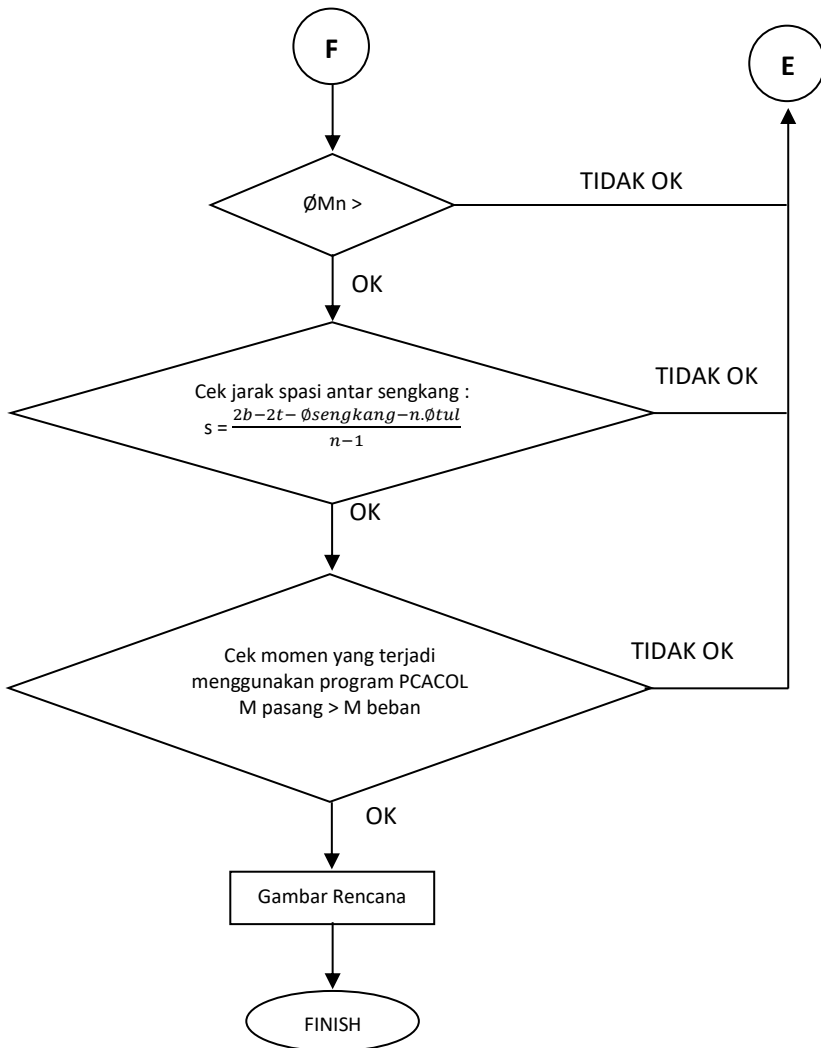
3.9.7 Kolom

➤ Perhitungan penulangan lentur kolom



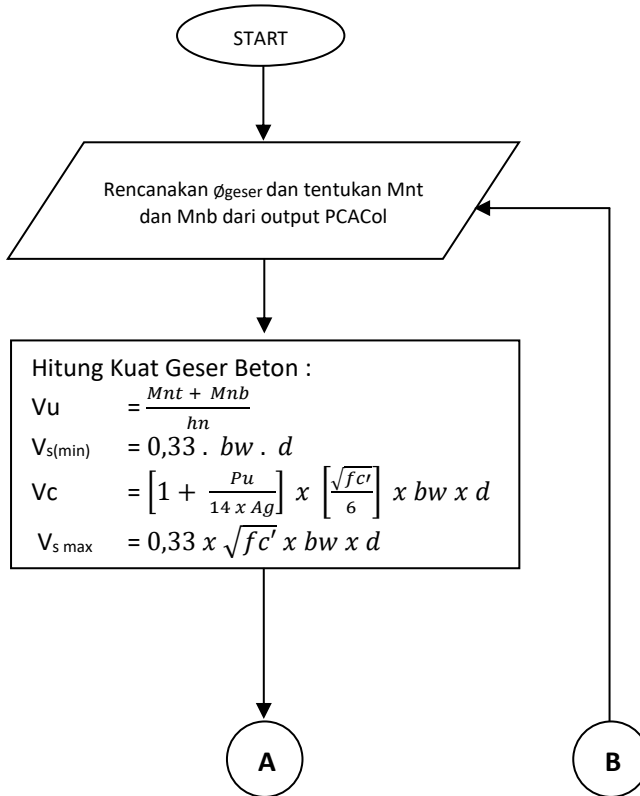


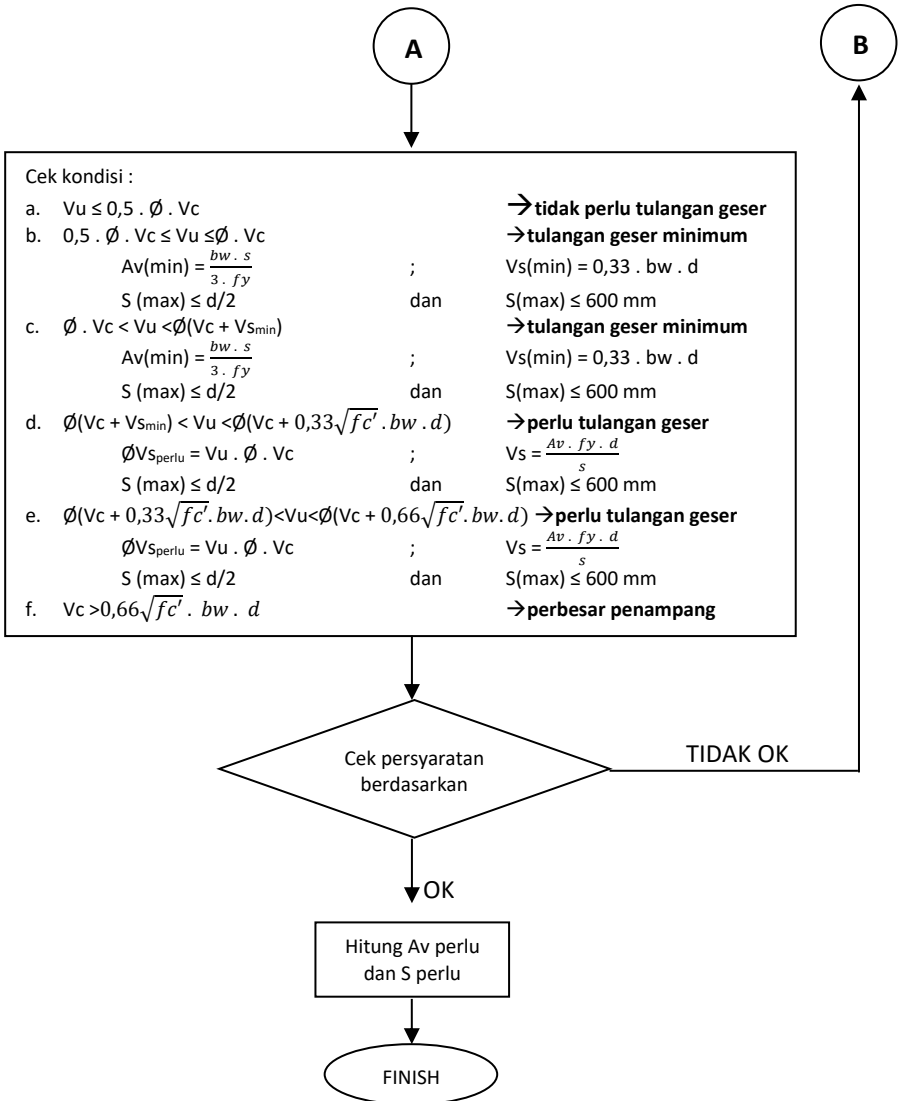




Gambar 3. 12 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

➤ **Perhitungan penulangan geser kolom**





Gambar 3. 13 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Kolom

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PRELIMINARY DAN PEMBEBANAN

4.1 Data Desain Preliminary

Data untuk struktur gedung beton bertulang ini adalah sebagai berikut:

Tipe Bangunan	: Gedung Apartemen
Letak Bangunan	: Surabaya
Lebar Bangunan	: 15 m
Panjang Bangunan	: 33 m
Tinggi Bangunan	: 20,5 m
Mutu Beton	: 30 Mpa
Mutu Baja	: 400 Mpa (BJTD U40)

4.2 Preliminary Balok

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

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

Sedangkan untuk tinggi minimum balok anak adalah:

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

Sedangkan untuk tinggi minimum balok kantilever adalah:

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

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

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

Sedangkan untuk lebar balok diestimasikan berkisar antara 1/2 sampai 2/3 dari tinggi balok.

4.2.1 Preliminary Balok Induk Memanjang (L = 600 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{600\text{cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 36,43 \text{ cm}$$

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

2. Lebar Balok (b)

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

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

4.2.2 Preliminary Balok Induk Melintang (L = 600 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{600\text{cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 36,43 \text{ cm}$$

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

2. Lebar Balok (b)

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

Maka digunakan lebar (b) untuk balok yaitu 35 cm.

Sehingga dimensi untuk balok induk memanjang adalah 35 cm x 50 cm.

4.2.3 Preliminary Balok Anak (L = 600 cm)

1. Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \frac{600\text{cm}}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 27,76 \text{ cm}$$

Maka digunakan tinggi (h) untuk balok yaitu 40 cm

2. Lebar Balok (b)

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

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

4.3 Preliminary Sloof

Preliminary desain sloof bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi sloof.

4.3.1 Preliminary Sloof Memanjang (L = 600 cm)

1. Tinggi Sloof (h)

$$h_{\min} = \frac{600\text{cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 36,43 \text{ cm}$$

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

2. Lebar Sloof (b)

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

Maka digunakan lebar (b) untuk aloof yaitu 35 cm.
Sehingga dimensi untuk sloof memanjang adalah 35 cm x 50 cm.

4.3.2 Preliminary Sloof Melintang (L = 600 cm)

1. Tinggi Sloof (h)

$$h_{\min} = \frac{600\text{cm}}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 36,43 \text{ cm}$$

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

2. Lebar Sloof (b)

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

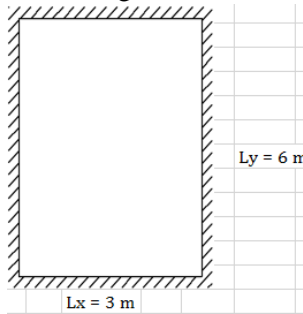
Maka digunakan lebar (b) untuk aloof yaitu 35 cm.

Sehingga dimensi untuk sloof melintang adalah 35 cm x 50 cm.

4.4 Preliminary Pelat

Untuk menentukan tebal pelat, maka diambil satu macam pelat (diambi yang memiliki luas terbesar):

Tipe Pelat A dengan dimensi 480 cm x 360 cm



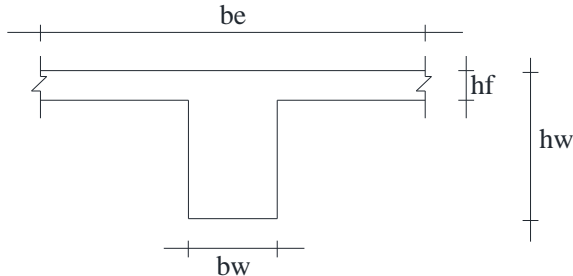
Gambar 4. 1 Pelat Tipe A

$$Ln = 600 - \left(\frac{35}{2} + \frac{35}{2}\right) = 565 \text{ cm}$$

$$Sn = 300 - \left(\frac{30}{2} + \frac{35}{2}\right) = 267,5 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{565}{267,5} = 2,1 > 2 \text{ (Pelat satu arah)}$$

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



Gambar 4. 2 Lebar Efektif Pelat

- AS Kiri

Lebar balok (b_w) = 30 cm

Tinggi balok (h_w) = 40 cm

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

$$b_e = b_w + 8 h_f = 30 \text{ cm} + 8 \cdot 12 \text{ cm} = 126 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2 h_w = 30 \text{ cm} + 2 \cdot 40 \text{ cm} = 86 \text{ cm}$$

Dipilih nilai terkecil, maka: $b_e = 86 \text{ cm}$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{12}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$K = 1,58$$

Momen inersia balok:

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,58 \times 30cm \times (40cm)^3$$

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

Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Ly \times \frac{(hf)^3}{12} = 600cm \times \frac{(12cm)^3}{12} = 43.200 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{252.494,77 \text{ cm}^4}{43.200 \text{ cm}^4} = 5,84$$

▪ AS Kanan

Lebar balok (bw) = 50 cm

Tinggi balok (hw) = 35 cm

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

be = bw + 8 hf = 50 cm + 8 . 12 cm = 111 cm

be = bw + 2 hw = 50 cm + 2 . 35 cm = 131 cm

Dipilih nilai terkecil, maka: be = 111 cm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{111}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{35}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{35}\right) + 4\left(\frac{12}{35}\right)^2 + \left(\frac{12}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{35}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{35}\right)}$$

$$K = 1,62$$

Momen inersia balok:

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,62 \times 35 \text{ cm} \times (50 \text{ cm})^3$$

$$= 591.964,60 \text{ cm}^4$$

Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Ly \times \frac{(hf)^3}{12} = 600 \text{ cm} \times \frac{(12 \text{ cm})^3}{12} = 43.200 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{591.964,60 \text{ cm}^4}{43.200 \text{ cm}^4} = 13,70$$

- As Atas = As Bawah

Lebar balok (bw) = 50 cm

Tinggi balok (hw) = 35 cm

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

be = bw + 8 hf = 50 cm + 8 . 12 cm = 111 cm

be = bw + 2 hw = 50 cm + 2 . 35 cm = 131 cm

Dipilih nilai terkecil, maka: be = 111 cm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{111}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{35}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{35}\right) + 4\left(\frac{12}{35}\right)^2 + \left(\frac{12}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{35}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{35}\right)}$$

$$K = 1,624$$

Momen inersia balok:

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,624 \times 50cm \times (35cm)^3$$

$$= 591.964,60 \text{ cm}^4$$

Momen inersia pelat:

$$I_{plat} = Ly \times \frac{(hf)^3}{12} = 600cm \times \frac{(12cm)^3}{12} = 72.000 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{591.964,60cm^4}{72.000cm^4} = 8,22$$

Menghitung Rata-rata Rasio Kekakuan:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \frac{5,84 + 8,22 + 13,70 + 8,22}{4}$$

$$= 9,00$$

Penentuan tebal minimum pelat (h_{min}):

Karena nilai $\alpha_m > 2,0$; maka dipakai persamaan (2)
yakni:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{565cm \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9 \cdot 2,1} = 11,15$$

cm

Sehingga dipakai tebal pelat (hf) = 12 cm

4.5 Preliminary Kolom

Untuk membuat sifat struktur menjadi "strong coloumn, weak beam", maka untuk preliminary dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$\frac{L_{KOLOM}}{I_{KOLOM}} \geq \frac{L_{BALOK}}{I_{BALOK}}$$

Apabila diasumsikan b kolom = h kolom, maka:

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

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

$$(b_{KOLOM})^4 = 2.187.500$$

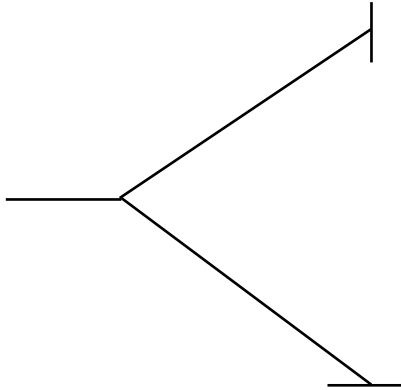
$$b_{KOLOM} = 38,46 \text{ cm}$$

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

4.6 Perencanaan Tangga

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

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



Gambar 4. 3 Mekanika perencanaan tangga

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

1. Data-data perencanaan:

- Lebar injakan (i) = 0,3 m = 30 cm
- Tinggi tanjakan (t) = 0,15 m = 15 cm
- Tinggi tangga = 3 m = 300 cm
- Tinggi bordes = 1,5 m = 150 cm
- Panjang datar tangga = 4,5 m = 450 cm

2. Perhitungan Perencanaan:

a. Panjang miring tangga

$$L = \sqrt{\text{TinggiBordes}^2 + \text{PanjangTangga}^2}$$

$$L = \sqrt{(150\text{cm})^2 + (450\text{cm})^2}$$

$$L = 474,34 \text{ cm}$$

b. Jumlah tanjakan

$$nt = \frac{\text{TinggiBordes}}{\text{TinggiTanjakan}} = \frac{150\text{cm}}{15\text{cm}} = 10 \text{ buah}$$

c. Jumlah injakan

$$\begin{aligned} ni &= nt - 1 \\ &= 10 - 1 = 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

d. Sudut kemiringan

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

$$\alpha = \text{arc} \cdot \tan \left(\frac{15\text{cm}}{30\text{cm}} \right) = 26,57^\circ$$

e. Syarat sudut kemiringan

$$\begin{aligned} 25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\ 25^\circ &\leq 26,57^\circ \leq 40^\circ \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

4.6 Beban Gravitasi

Beban elemen struktur gedung dikenai beban gravitasi yang dimana mengacu pada peraturan SNI 1727-2013, ASCE 7-2002, dan brosur material yang ada pada saat ini. Untuk brosur material dapat lihat pada *Lampiran 1*. Adapun beban gravitasi yang terjadi akan diterapkan pada perhitungan dan program bantu SAP 2000 v.14.

4.6.1 Beban Mati (DL)

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

1. Berat sendiri elemen struktur (*self weight*, DL):
Berat beton : $24 \text{ kN/m}^3 = 2400 \text{ kg/m}^3$ (ASCE 7-2002 Tabel C3-1)
2. Berat sendiri tambahan (*superimposed dead load*, SDL):

- Berat dinding bata ringan : **600 kg/m³** (Brosur CITICON[®]), Plester D200 : **20 kg/m²** per 10 mm (Brosur), Acian NP S540 : **3 kg/m²** per 2 mm.
Dimana untuk tebal 0,15 m dan tinggi 3 m adalah :
= (600 kg/m³ x 0,10 m)+(20 kg/m² x 2)+(3 kg/m² x 2,5) x 3 m = **322,5 kg/m**
- Beban keramik + spesi : 1,10 kN/m² = **110 kg/m²** (ASCE 7-2002 Tabel C3-1 “*Suspended Steel Channel System*”)
- Beban *ducting mechanical* : 0,19 kN/m² = **19 kg/m²** (ASCE 7-2002 Tabel C3-1 “*Mechanical Duct Allowance*”)
- Beban plafon : 0,086 kN/m² = **8,6 kg/m²** (Brosur KALSI)
- Beban penggantung langit-langit : 0,10 kN/m² = **10 kg/m²** (ASCE 7-2002 Tabel C3-1 “*Suspended Steel Channel System*”)
- Beban lapisan waterproofing : 0,05 kN/m² = **5 kg/m²** (ASCE 7-2002 Tabel C3-1 “*Waterproofing Membranes Liquid Applied*”)
- Beban lift : untuk Lift yang dipakai adalah merk Hyundai dengan reaksi sebagai berikut:

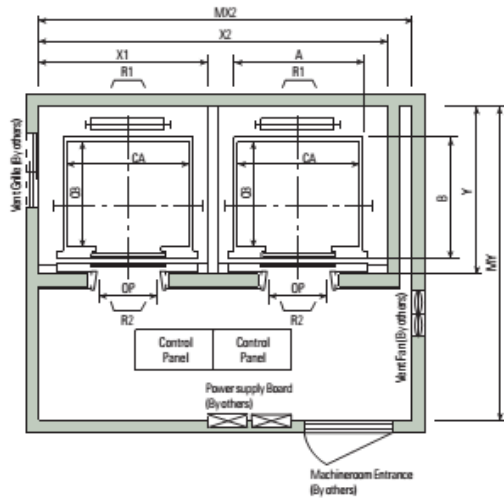
Hyundai Luxen Manufacturer Standard

Tabel 4. 1 Spesifikasi Lift Hyundai Luxen (Lanjutan)

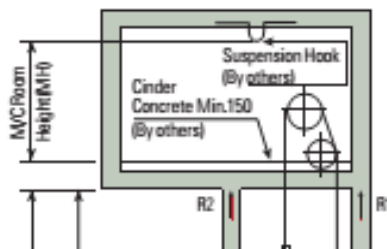
Speed (m/sec)	Capacity (person/kg)	Reaction				Door Opening
		(Static Load)				
		R1	R2	R3	R4	WxH
1	10700	4200	2700	6800	5400	800x2100

Tabel 4. 2 Spesifikasi Lift Hyundai Luxen (Lanjutan)

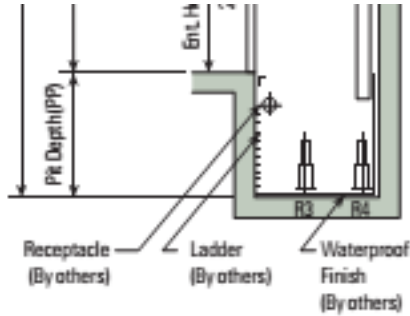
Inside Dimension					
Car		Hoistway		Machine Room	
A	B	X2	Y	MX2	MY
1460	1405	3700	1850	4000	3600



Gambar 4. 4 Dimensi Elevator Hyundai



Gambar 4. 5 Reaksi Akibat Beban Lift



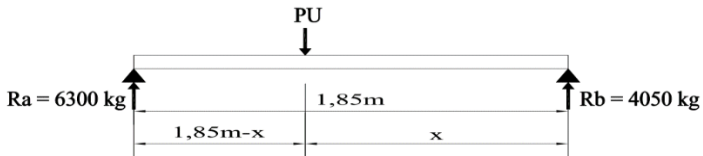
Gambar 4. 6 Reaksi pada Pit Lift

Perhitungan pembebanan pada balok penggantung lift:

Panjang balok penggantung lift = 1,85 m

$R_a = R_1 \cdot KLL = R_1 \times 150\% = 4200 \text{ kg} \times 150\% = 6300 \text{ kg}$

$R_b = R_2 \cdot KLL = R_2 \times 150\% = 2700 \text{ kg} \times 150\% = 4050 \text{ kg}$



Gambar 4. 7 Pembebanan Pada Balok Penggantung Lift

$$\sum M_b = 0$$

$$0 = 1,85m \cdot 6300kg - Pu \cdot x$$

$$Pu = \frac{11.655kg \cdot m}{x}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$0 = 1,85m \cdot 4050kg - Pu \cdot (1,85m - x)$$

$$0 = 7492,5kg \cdot m - \frac{11.655kg \cdot m}{x} (1,85m - x)$$

$$0 = 7492,5kg.m - \frac{21.561,75kg.m^2}{x} + \frac{(11.655kg.m)x}{x}$$

$$0 = -\frac{21.561,75kg.m^2}{x} + 19.147,5kg.m$$

$$(19.147,5kg.m)x = 21.561,75kg.m^2$$

$$x = 1,126 \text{ m}$$

$$Pu = \frac{11.655kg.m}{x} = \frac{11.655kg.m}{1,126m} = 10.350 \text{ kg}$$

Sehingga, untuk beban terpusat lift yang akan dimasukkan sebagai beban paa permodelan di program bantu SAP 2000 v.14 adalah sebesar 10.350 kg.

4.6.2 Beban Hidup (LL)

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

1. Beban hidup (L)

- Beban ruang tidur : $1,92 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{192 \text{ kg/m}^2}$
 - Beban hidup pegangan/reiling tangga : $0,89 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{89 \text{ kg/m}^2}$
 - Beban hidup bordes dan tangga : $3,41 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{341 \text{ kg/m}^2}$
- Beban hidup atap (Lr)
- Beban atap datar : $0,96 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{96 \text{ kg/m}^2}$

4.6.3 Beban Air Hujan (R)

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

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

d_s = tinggi statis

d_h = tinggi hidrolis

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

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

4.7 Beban Angin (W)

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

- Kecepatan angin dasar (V) = 34 knot = 17,5 m/s (Berdasarkan angin terbesar selama periode tahun 2014-2015, diambil dari (<http://surabayakota.bps.go.id>))
- Faktor arah angin (K_d) = 0,85 (SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1)
- Kategori eksposur = B (SNI 1727-2013 Pasal 26.7.3)
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1,0 (SNI 1727-2013 Pasal 26.8.2)
- Faktor efek angin (G) = 0,85 (SNI 1727-2013 Pasal 26.9.1)
- Klasifikasi ketertutupan = Bangunan tertutup
- Koefisien eksposur tekanan velositas, (K_z dan K_h)
Tinggi bangunan, $z = 20,5$ m
 $z_g = 365,76$ m (SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1)
 $\alpha = 7$ (SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1)

$$k_z = 2,01 \cdot \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} = 2,01 \cdot \left(\frac{20,5m}{365,76m} \right)^{2/7} = 0,882$$

- Tekanan velositas, (q_z dan q_h)

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

$$q_z = 0,613 \cdot 0,882 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot (17,5m/s)^2$$

$$q_z = 140,08 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot k_h \cdot k_{zt} \cdot k_d \cdot v^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot 0,880 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot (17,5m/s)^2$$

$$q_h = 140,47 \text{ N/m}^2$$

- Koefisien tekanan eksternal (untuk dinding pada gedung)

Panjang bangunan, L = 33 m

Lebar bangunan, B = 15 m

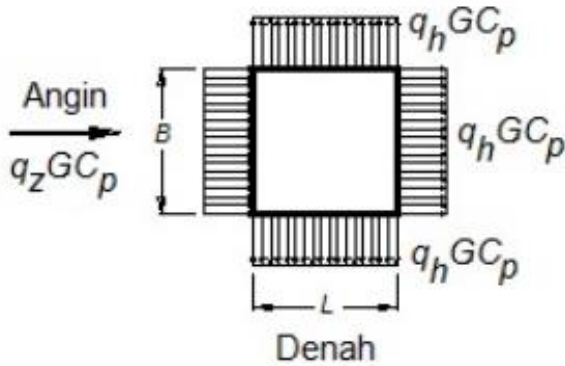
$$L/B = \frac{33m}{15m} = 2,2$$

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

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

$C_p = -0,5$ (Untuk dinding pada angin pergi berdasarkan SNI 1727-2013 Gambar 27.4.2-1)

- Pengaruh angin pada dinding



Gambar 4. 8 Pengaruh Angin pada Dinding

$$\begin{aligned}
 \text{Pada arah angin datang} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\
 &= 140,08 \text{ N/m}^2 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \\
 &= 95,25 \text{ N/m}^2 = 9,53 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pada arah angin tepi} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= 140,47 \text{ N/m}^2 \cdot 0,85 \cdot -0,7 \\
 &= -83,58 \text{ N/m}^2 = -8,36 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pada arah angin pergi} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= 140,47 \text{ N/m}^2 \cdot 0,85 \cdot -0,5 \\
 &= -59,7 \text{ N/m}^2 = -5,97 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

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

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Beban Angin pada Setiap Lantai

Lantai bangunan	Tinggi bangunan	z _g	α	K _z /K _h	q _z /q _h	Q _{z.G.Cp}	Q _{z.G.Cp}	Q _{z.G.CP}	
	(m)	(m)				(N/m ²)	Datang	Tepi	Pergi
							(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	3	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	
2	6	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	
3	9	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	
4	12	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	
5	15	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	
6	18	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	
RLift	20,5	365,76	7	0,882	14,08	9,57	8,36	5,97	

4.8 Beban Gempa

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

Gedung Apartemen “B” Surabaya merupakan bangunan bertingkat, dengan jumlah tingkat gedung ialah 6 tingkat. Pada perhitungan beban gempa struktur ada beberapa persyaratan untuk menentukan jenis gedung apakah termasuk gedung beraturan atau tidak beraturan.

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 10 dan 11 tentang ketidakberaturan horisontal dan vertikal pada struktur harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sesuai dengan kategori desain seismik , yaitu :

Tabel 10 Ketidakberaturan horisontal pada stuktur

No	Tipe Ketidakberaturan	Penjelasan	Kontrol
1a	Ketidakteraturan Torsi	$0,003 < ,031$	OKE
1b	Ketidakteraturan Torsi Berlebihan	$0,003 < 0,036$	OKE

2	Ketidakteraturan sudut dalam	KDS tidak memenuhi	
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma	KDS tidak memenuhi	
4	Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang	Bentuk bangunan Simetris	OKE
5	Ketidakteraturan Sistem Nonparalel	Tidak terdapat kolom miring atau elemen penahan gaya vertikal tidak paralel	OKE

Tabel 11 Ketidakteraturan vertikal pada struktur

No	Tipe Ketidakteraturan	Penjelasan	Kontrol
1a	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak	KDS tidak memenuhi	
1b	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan	KDS tidak memenuhi	
2	Ketidakteraturan Berat (Massa)	KDS tidak memenuhi	
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal	KDS tidak memenuhi	
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan		OKE
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat	KDS tidak memenuhi	
5b.	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral		OKE

Maka bangunan Gedung Apartemen “B” Surabaya termasuk bangunan beraturan. Sehingga pada perhitungan pembebanan gempa menggunakan analisis perhitungan statik ekuivalen. Berikut langkah-langkah perhitungan :

4.8.1 Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung

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

4.8.2 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

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

4.8.3 Menentukan Kelas Situs

Hasil tes tanah dengan kedalaman 40m pada tanah setempat (daerah Rungkut Surabaya):

Tabel 4. 4 Perhitungan SPT Rata-rata

lapisan ke i	tebal lapisan (d_i)	deskripsi jenis tanah	nilai N-SPT	$d_i N_i$
1	2	lempung berlanau	1	2,00
2	2	lempung berlanau berkerikil	2	1,00
3	2	lanau pasir berlempung	1	2,00
4	2	lanau pasir	1	2,00
5	2	lanau pasir berkerikil	3	0,67
6	2	lempung berlanau	6	0,33
7	2,5	lempung berlanau berkerikil	10	0,25
8	1,5	lanau pasir berlempung	17	0,09
9	2	lanau pasir	27	0,07
10	2	lanau pasir berkerikil	23	0,09
11	2	lempung berlanau	14	0,14
12	2	lempung berlanau berkerikil	17	0,12
13	2	lanau pasir berlempung	19	0,11
14	2	lanau pasir	33	0,06
15	2	lanau pasir berkerikil	21	0,10
16	2	lempung berlanau	21	0,10
17	2	lempung berlanau berkerikil	48	0,04
18	2	lanau pasir berlempung	35	0,06
19	2	lanau pasir	30	0,07
20	2	lanau pasir berkerikil	33	0,06
Σ	40	-	362	9,34

Keterangan:

d = tebal setiap lapisan

N = tahanan penetrasi standar 60% energi (N_{60})

Maka nilai N-SPT rata-rata tanah:

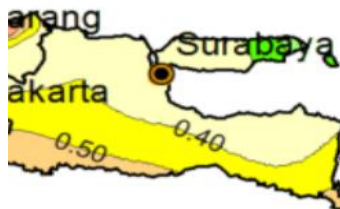
$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\sum di / Ni} = \frac{40}{9,34} = 4,3$$

Menurut SNI 1726-2012 Tabel 3, untuk $N < 15$ maka termasuk **situs SE**.

4.8.4 Menentukan Parameter Percepatan Gempa



Gambar 4. 9 Nilai $S_1 = 0,10$
Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik
(SNI 1726-2012 pada Gambar 10)



Gambar 4. 10 Nilai $S_s = 0,30$
Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek
Maka diambil nilai $S_1 = 0,10$ g dan $S_s = 0,30$

4.8.5 Menentukan Koefisien Situs

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 4 dan Tabel 5, adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Koefisien Situs, Fa

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

Maka didapatkan nilai $F_a = 1,6$

Tabel 4. 6 Koefisien Situs, Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Maka didapatkan nilai $F_v = 2,4$

4.8.6 Menentukan Parameter Percepatan Desain Spektral

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pers. 5 dan Pers. 6, didapatkan bahwa:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,6 \cdot 0,3 = 0,47$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 2,4 \cdot 0,1 = 0,24$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pers. 7 dan Pers. 8, didapatkan bahwa:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,47 = 0,312$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,24 = 0,160$$

4.8.7 Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 6 dan Tabel 7, untuk $0,133 \leq S_{D1} \leq 0,20$ dan kategori risiko II didapatkan **kategori desain seismik C**.

4.8.8 Menentukan Parameter Struktur

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

Koefisien modifikasi respons (R) : 5

Faktor kuat-lebih sistem (Ω_0) : 3

Faktor pembesaran defleksi (C_d) : 4,5

4.8.9 Menentukan Spektrum respons desain

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,16}{0,484} = 0,0665 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,16}{0,484} = 0,3306 \text{ detik}$$

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

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1)

$$T = 0,0466 \cdot 20,8^{0,9}$$

(SNI 1726:2012 Tabel 15)

$$T_a = 0,706 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas, maka termasuk kedalam persamaan:

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

(SNI 1726:2012 Pasal 6.4)

Sehingga didapatkan nilai $S_a = S_{DS} = 0,4 g$

- **Tinggi Bangunan**

- $H_0 = 0 \text{ m}$
- $H_1 = 1 \text{ m}$
- $H_2 = 4 \text{ m}$
- $H_3 = 7 \text{ m}$
- $H_4 = 10 \text{ m}$
- $H_5 = 13 \text{ m}$
- $H_6 = 16 \text{ m}$
- $H_7 = 19 \text{ m}$
- $H_8 = 21.5 \text{ m}$

- **Berat Bangunan**

Lantai	Beban (kg)
W0	16800
W1	295323,95
W2	524401,32
W3	524401,32
W4	524401,32
W5	524401,32
W6	524401,32
W7	330512,91
W8	14878,35
W Total	3279521,81

- **Menentukan koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung**

$$S_{DS} = 0,484$$

$$S_{D1} = 0,160$$

Sesuai *SNI 1726:2012 tabel 14*

S_{D1}	C_u
0,2	1,5
0,16	1,58
0,15	1,6

$$\frac{0,2 - 0,15}{1,5 - 1,6} = \frac{0,16 - 0,15}{x - 1,6}$$

$$\frac{0,05}{-0,1} = \frac{0,01}{x - 1,6}$$

$$x = 1,58$$

Maka $C_u = 1,58$

- **Mencari perioda fundamental pendekatan**

$$T_a = 0,706 \text{ detik}$$

$$T_c = 0,713 \text{ detik (dari SAP)}$$

$$C_u \cdot T_a = 1,58 \cdot 0,706 = 1,115 \text{ detik}$$

$$T_a < T_c < C_u \cdot T_a$$

$$0,706 < 0,813 < 1,115 \text{ (OK)}$$

$$\text{Maka } T = T_a = 0,706$$

- **Perhitungan koefisien respons seismik**

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

$$I_e = 1$$

Sesuai *SNI 1726:2012 tabel 9* menggunakan Sistem Rangka beton bertulang 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*)

$$C_s = \frac{0,484}{\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$C_s = 0,097$$

Syarat :

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

(*SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 23*)

$$0,097 \leq \frac{0,16}{0,706 \left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$0,045 \leq 0,041 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

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

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 24)

$$0,097 \geq 0,044 \cdot 0,484 \cdot 1 \geq 0,01$$

$$0,097 \geq 0,021 \geq 0,01 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka nilai C_s diambil 0,045

- **Geser dasar seismik**

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,045 \times 3279521,81 \text{ kg}$$

$$V = 148592,23 \text{ kg}$$

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

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

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 30)

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

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 31)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

$$T = 0,706 \text{ s}$$

syarat :

$$- T \leq 0,5 \text{ s}, \text{ maka } k = 1$$

$$- T \geq 2,5 \text{ s}, \text{ maka } k = 2$$

$$- 0,5 \text{ s} < T < 2,5 \text{ s}, \text{ maka } k \text{ ditentukan dengan interpolasi linier antar 1 dan 2}$$

T	k
2,5	2
0,706	1,103
0,5	1

$$\frac{2,5 - 0,5}{2 - 1} = \frac{0,706 - 0,5}{x - 1}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{0,323}{x - 1}$$

$$x = 1,103$$

Maka nilai $k = 1,103$

Lantai	hx (m)	wx (kg)	wx.hx ² /k (kgm)	Cvx	V=Cs.W	Fi (kg)	ex	ey	Mx (kg.m)	My (kg.m)
Lt. 0 (F0)	0	16800,00	0	0,00	148592,2	0	0,00	0,00	0	0
Lt. 1 (F1)	1	295323,95	295323,9	0,007		1024	0,11	1,13	115,5336	1158,593
Lt. 2 (F1)	4	524401,32	2419993	0,06		8392	0,10	0,23	865,81	1950,80
Lt. 3 (F2)	7	524401,32	4486593	0,10		15559	0,10	0,23	1605,18	3616,72
Lt. 4 (F3)	10	524401,32	6649571	0,16		23060	0,10	0,23	2379,03	5360,33
Lt. 5 (F4)	13	524401,32	8881532	0,21		30801	0,10	0,23	3177,56	7159,55
Lt. 6 (F5)	16	524401,32	11167718	0,26		38729	0,10	0,23	3995,50	9002,48
Lt. Atap	19	330512,91	8507847	0,20		29505	0,10	0,42	3086,48	12291,27
Lt.(R.Lift)	21,5	14878,35	438942,2	0,010		1522	0,00	0,00	0	0
Jumlah		3279521,81	42847520	1,00	148592,2	148592			15225,08	40539,75

Cek Gaya Geser

$$V = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7$$

$$304506,83 \text{ kg} = 304506,83 \text{ kg (OK)}$$

- **Beban Gempa per Kolom**

- **Lantai 0 (dasar)**

$$F_{ix} = 0$$

$$F_{iy} = 0$$

- **Lantai 1**

$$M_x = \text{Eksentrisitas } x \cdot F_1$$

$$= 0,11 \text{ m} \cdot 1024 \text{ kg}$$

$$= 115,5336 \text{ kgm}$$

$$M_y = \text{Eksentrisitas } y \cdot F_1$$

$$= 1,13 \text{ m} \cdot 1024 \text{ kg}$$

$$= 1158,593 \text{ kgm}$$

$$F_{ix} = \frac{F_1}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_1}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m ²)	x	y	F _x ,F _y	M _x	M _y	F _x	F _y
	L _x	L _y								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	1024,2	115,5	1158,6	36,3	14,8
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				36,3	22,4
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				36,3	30,1
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				36,3	37,7
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				36,3	43,4
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				36,3	51,0
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				36,3	56,7
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				36,5	14,8
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				36,5	22,4
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				36,5	30,1
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				36,5	37,7
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				36,5	43,4
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				36,5	51,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				36,5	56,7
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				36,7	14,8
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				36,7	22,4
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				36,7	30,1
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				36,7	37,7
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				36,7	43,4
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				36,7	51,0
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				36,7	56,7
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				36,8	14,8
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				36,8	22,4
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				36,8	30,1
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				36,8	37,7
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				36,8	43,4
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				36,8	51,0
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				36,8	56,7

- Lantai 2

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\
 &= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\
 &= 865,81 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\
 &= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\
 &= 1950,80 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

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

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

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m ²)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	8392,4	865,8	1950,8	297,8	263,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				297,8	275,9
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				297,8	288,7
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				297,8	301,6
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				297,8	311,2
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				297,8	324,0
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				297,8	333,6
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				299,0	263,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				299,0	275,9
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				299,0	288,7
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				299,0	301,6
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				299,0	311,2
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				299,0	324,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				299,0	333,6
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				300,5	263,1
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				300,5	275,9
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				300,5	288,7
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				300,5	301,6
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				300,5	311,2
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				300,5	324,0
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				300,5	333,6
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				301,6	263,1
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				301,6	275,9
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				301,6	288,7
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				301,6	301,6
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				301,6	311,2
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				301,6	324,0
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				301,6	333,6

- **Lantai 3**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\ &= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\ &= 865,81 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\
 &= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\
 &= 1950,80 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{ix} &= \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)} \\
 F_{iy} &= \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)} \\
 F_{iy} &= \frac{F_3}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}
 \end{aligned}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m ²)	x	y	F _x ,F _y	M _x	M _y	F _x	F _y
	L _x	L _y								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	8392,4	865,8	1950,8	297,8	263,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				297,8	275,9
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				297,8	288,7
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				297,8	301,6
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				297,8	311,2
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				297,8	324,0
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				297,8	333,6
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				299,0	263,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				299,0	275,9
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				299,0	288,7
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				299,0	301,6
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				299,0	311,2
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				299,0	324,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				299,0	333,6
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				300,5	263,1
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				300,5	275,9
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				300,5	288,7
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				300,5	301,6
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				300,5	311,2
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				300,5	324,0
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				300,5	333,6
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				301,6	263,1
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				301,6	275,9
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				301,6	288,7
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				301,6	301,6
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				301,6	311,2
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				301,6	324,0
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				301,6	333,6

- **Lantai 4**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\ &= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\ &= 865,81 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\ &= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\ &= 1950,80 \text{ kgm} \end{aligned}$$

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

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

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m ²)	x	y	F _x F _y	M _x	M _y	F _x	F _y
	L _x	L _y								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	8392,4	865,8	1950,8	297,8	263,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				297,8	275,9
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				297,8	288,7
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				297,8	301,6
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				297,8	311,2
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				297,8	324,0
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				297,8	333,6
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				299,0	263,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				299,0	275,9
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				299,0	288,7
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				299,0	301,6
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				299,0	311,2
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				299,0	324,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				299,0	333,6
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				300,5	263,1
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				300,5	275,9
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				300,5	288,7
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				300,5	301,6
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				300,5	311,2
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				300,5	324,0
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				300,5	333,6
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				301,6	263,1
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				301,6	275,9
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				301,6	288,7
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				301,6	301,6
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				301,6	311,2
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				301,6	324,0
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				301,6	333,6

- **Lantai 5**

$$M_x = \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2$$

$$= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg}$$

$$= 865,81 \text{ kgm}$$

$$M_y = \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2$$

$$= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg}$$

$$= 1950,80 \text{ kgm}$$

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

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m ²)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	8392,4	865,8	1950,8	297,8	263,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				297,8	275,9
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				297,8	288,7
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				297,8	301,6
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				297,8	311,2
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				297,8	324,0
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				297,8	333,6
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				299,0	263,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				299,0	275,9
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				299,0	288,7
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				299,0	301,6
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				299,0	311,2
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				299,0	324,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				299,0	333,6
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				300,5	263,1
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				300,5	275,9
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				300,5	288,7
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				300,5	301,6
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				300,5	311,2
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				300,5	324,0
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				300,5	333,6
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				301,6	263,1
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				301,6	275,9
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				301,6	288,7
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				301,6	301,6
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				301,6	311,2
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				301,6	324,0
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				301,6	333,6

- **Lantai 6**

$$M_x = \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2$$

$$= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg}$$

$$= 865,81 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\ &= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \end{aligned}$$

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	8392,4	865,8	1950,8	297,8	263,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				297,8	275,9
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				297,8	288,7
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				297,8	301,6
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				297,8	311,2
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				297,8	324,0
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				297,8	333,6
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				299,0	263,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				299,0	275,9
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				299,0	288,7
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				299,0	301,6
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				299,0	311,2
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				299,0	324,0
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				299,0	333,6
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				300,5	263,1
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				300,5	275,9
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				300,5	288,7
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				300,5	301,6
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				300,5	311,2
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				300,5	324,0
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				300,5	333,6
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				301,6	263,1
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				301,6	275,9
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				301,6	288,7
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				301,6	301,6
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				301,6	311,2
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				301,6	324,0
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				301,6	333,6

- **Lantai Atap**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\ &= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\ &= 865,81 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\ &= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \end{aligned}$$

Elemen	Dimensi		Luas Penampang (A)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	0,0	29504,6	3086,5	12291,3	1047,0	823,1
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	6,0				1047,0	903,8
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	0,0	12,0				1047,0	984,5
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0				1047,0	1065,3
Kolom 5	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				1047,0	1125,8
Kolom 6	0,5	0,5	0,25	0,0	28,5				1047,0	1206,5
Kolom 7	0,5	0,5	0,25	0,0	33,0				1047,0	1267,1
Kolom 8	0,5	0,5	0,25	4,5	0,0				1051,0	823,1
Kolom 9	0,5	0,5	0,25	4,5	6,0				1051,0	903,8
Kolom 10	0,5	0,5	0,25	4,5	12,0				1051,0	984,5
Kolom 11	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				1051,0	1065,3
Kolom 12	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				1051,0	1125,8
Kolom 13	0,5	0,5	0,25	4,5	28,5				1051,0	1206,5
Kolom 14	0,5	0,5	0,25	4,5	33,0				1051,0	1267,1
Kolom 15	0,5	0,5	0,25	10,5	0,0				1056,4	823,1
Kolom 16	0,5	0,5	0,25	10,5	6,0				1056,4	903,8
Kolom 17	0,5	0,5	0,25	10,5	12,0				1056,4	984,5
Kolom 18	0,5	0,5	0,25	10,5	18,0				1056,4	1065,3
Kolom 19	0,5	0,5	0,25	10,5	22,5				1056,4	1125,8
Kolom 20	0,5	0,5	0,25	10,5	28,5				1056,4	1206,5
Kolom 21	0,5	0,5	0,25	10,5	33,0				1056,4	1267,1
Kolom 22	0,5	0,5	0,25	15,0	0,0				1060,5	823,1
Kolom 23	0,5	0,5	0,25	15,0	6,0				1060,5	903,8
Kolom 24	0,5	0,5	0,25	15,0	12,0				1060,5	984,5
Kolom 25	0,5	0,5	0,25	15,0	18,0				1060,5	1065,3
Kolom 26	0,5	0,5	0,25	15,0	22,5				1060,5	1125,8
Kolom 27	0,5	0,5	0,25	15,0	28,5				1060,5	1206,5
Kolom 28	0,5	0,5	0,25	15,0	33,0				1060,5	1267,1

- **Lantai Ruang Lift**

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\
 &= 0,10 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg} \\
 &= 865,81 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\
 &= 0,23 \text{ m} \cdot 8392 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Elemen	Dimensi		Luas Penampang (A)	x	y	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly								
Kolom 1	0,5	0,5	0,25	0,0	18,0	1522	0,00	0,00	380,6	380,6
Kolom 2	0,5	0,5	0,25	0,0	22,5				380,6	380,6
Kolom 3	0,5	0,5	0,25	4,5	18,0				380,6	380,6
Kolom 4	0,5	0,5	0,25	4,5	22,5				380,6	380,6

4.9 Kombinasi Pembebanan

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

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$
3. $1,2D + 1,6L + 0,5R$
4. $1,2D + 1,6Lr + 1,0L$
5. $1,2D + 1,6Lr + 0,5W$
6. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5Lr$
7. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5R$
8. $0,9D + 1,0W$
9. $1,2D + 1,0EX + 1,0L$
10. $1,2D + 1,0EY + 1,0L$
11. $0,9D + 1,0EX$
12. $0,9D + 1,0EY$
13. $(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0\rho)EX + 1,0L$
 $\rightarrow 1,31D + 1,3EX + 1,0L$
14. $(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0\rho)EY + 1,0L$
 $\rightarrow 1,31D + 1,3EY + 1,0L$

Dimana nilai :

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

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

$$\Omega_0 = 2,5$$

Keterangan:

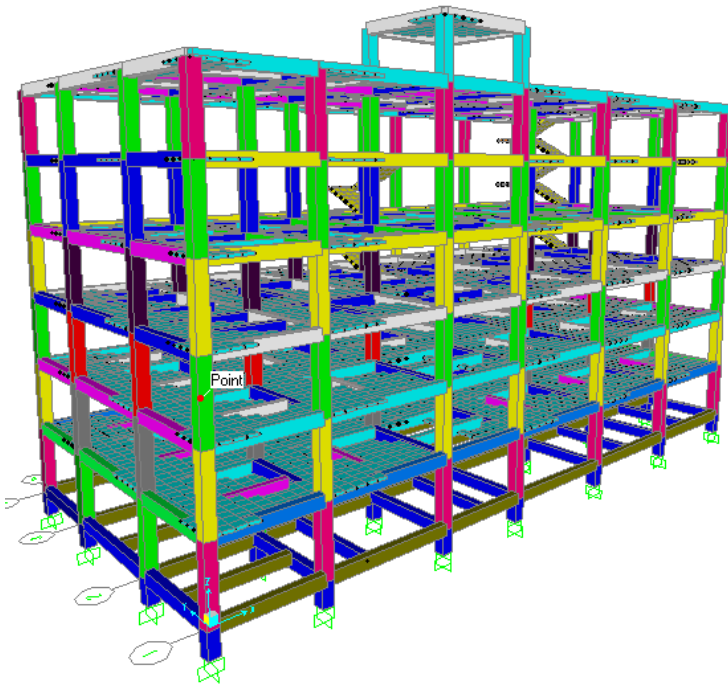
- D : Beban Mati
- Lr : Beban Hidup Atap
- L : Beban Hidup
- R : Beban Hujan
- W : Beban Angin
- E : Beban Gempa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V ANALISA PERMODELAN

5.1 Permodelan Struktur Gedung dengan SRPM

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



Gambar 5. 1 Permodelan Struktur SRPMM pada SAP 2000 v.14

5.1.1 Pemodelan Komponen Struktur Tangga

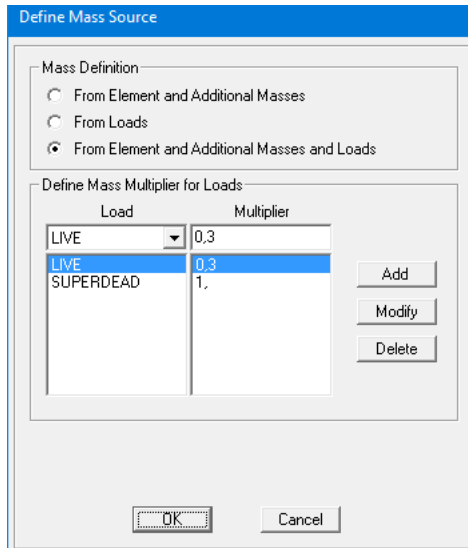
Pemodelan struktur tangga dalam proyek ini menggunakan bantuan program analisa SAP 2000 dimana komponen struktur tangga ini dimasukkan dalam pemodelan struktur utama. Adapun data – data pemodelan adalah sebagai berikut :

- a. Perletakan : Jepit – bebas – jepit
- b. Beban : Dead load (DL) dan Live load (LL)
- c. Kombinasi : 1,2 DL + 1,6 LL
- d. Distribusi : (uniform shell load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga

5.1.2 Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (mass source adalah massa struktur pada program bantu SAP 2000 v.14 yang digunakan pada perhitungan untuk analisa *modal* menggunakan pilihan “*mass definition: from element and additional masses and loads*” yang dimana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban beban tambahan ditambahkan dengan pembesaran sesuai dengan jenis bebannya. Massa-massa beban yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

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



Gambar 5. 2 Input *Mass Source* pada SAP 2000 v.14

5.1.3 Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa

Peninjauan gempa horizontal dibagi kedalam dua arah yaitu:

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

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

Faktor skala gaya diambil dari persamaan sebagai berikut:

$$\text{Faktor pembebanan} = \frac{I_e}{R} \cdot g$$

$$= \frac{1}{5} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,962$$

5.1.5 Kontrol Periode Fundamental SRPM

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 15 sebagai batas bawah sebesar:

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

Dimana:

h_n : Ketinggian struktur

C_t : Parameter pendekatan tipe struktur

x : Parameter pendekatan tipe struktur

Tabel 5. 1 Nilai Parameter Periode Pendekatan , C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75

Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Untuk nilai struktur beton SRPMM didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, sehingga:

$$T_a = 0,0466 \cdot (20,5\text{m})^{0,9} = 0,76 \text{ detik}$$

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

Tabel 5. 2 Koefisien untuk Batas Atas pada Pada Perioda yang Dihitung

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

Karena nilai $S_{D1} = 0,16$, maka didapatkan nilai $C_u = 1,58$ diperoleh dari hasil interpolasi, sehingga:

$$C_u \cdot T_a = 1,58 \cdot 0,76 \text{ detik} = 1,20 \text{ detik}$$

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut:

$$T_a \leq C_u \leq C_u \cdot T_a$$

$$0,76 \text{ detik} \leq 1,58 \text{ detik} \leq 1,20 \text{ detik}$$

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

5.1.6 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur

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

1. Nilai C_s minimum:

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

$$C_s \text{ min} = 0,044 \cdot 0,484 \cdot 1 \geq 0,01$$

$$C_s \text{ min} = 0,007 \geq 0,01$$

2. Nilai C_s :

- Untuk SRPM (arah x):

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,484}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,097$$

3. Nilai C_s max

- Untuk SRPM (arah x):

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,16}{0,706 \cdot \left(\frac{5}{1}\right)} = 0,045$$

Dari perhitungan nilai C_s di atas, maka dapat disimpulkan C_s yang digunakan $C_s = 0,045$

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana:

C_s : Koefisien respons seismik

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

Tabel 5. 3 Berat Struktur Didapatkan dari Base Reaction Fz untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup

	OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf	GlobalMX Kgf-m	GlobalMY Kgf-m	GlobalMZ Kgf-m
▶	1D + 1L	Combination	0,0000000153	1,00000002371	3833812,65	29251474,95	-62537750	0,0000006988

Maka berat struktur total adalah: 3.281.355,42 kg

Maka untuk nilai di arah X:

$$V_x = 0,045 \times 3.281.355,42 \text{ kg} = 147.660,994 \text{ kg}$$

$$0,85 V_x = 0,85 \times 147.660,994 \text{ kg} = 125.511,84 \text{ kg}$$

Untuk nilai di arah Y:

$$V_y = 0,045 \times 3.281.355,42 \text{ kg} = 147.660,994 \text{ kg}$$

$$0,85 V_y = 0,85 \times 147.660,994 \text{ kg} = 125.511,84 \text{ kg}$$

Hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari SAP 2000 v.14 didapatkan sebesar:

Tabel 5. 4 Base Reaction dari Program SAP 2000 v.14

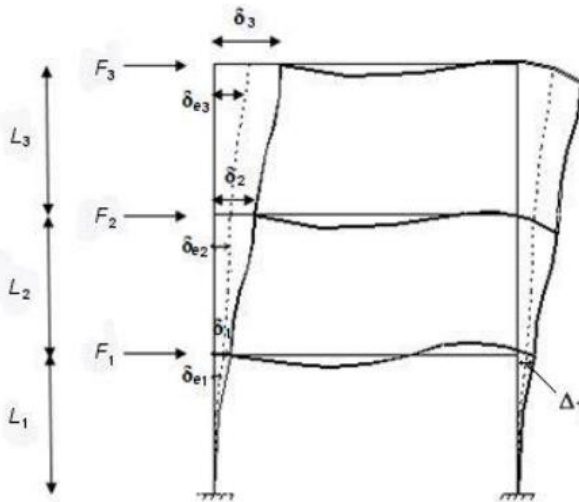
	OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf	GlobalMX Kgf-m	GlobalMY Kgf-m	GlobalMZ Kgf-m
▶	GEMPA X	LinStatic	-142436,2	0,000000004467	0,0000000005512	-0,0000001647	-1767021,1	1064446,35
	GEMPA Y	LinStatic	0,0000000285	-142438,4	0,00000001082	1767065,8	0,0000001952	-2398928,1

Untuk arah x = 125.511,84 kg < 142.436,2 kg (OK!)

Untuk arah y = 125.511,84 kg < 142.438,4 kg (OK!)

5.2 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Untuk mengetahui besarnya simpangan antar lantai perlu dicari terlebih dahulu nilai perpindahan elastis, δ_{xe} dari analisis struktur. Setelah itu nilai δ_{xe} dikalikan dengan faktor pembesaran C_d/I_e . Setelah itu dapat diketahui besarnya simpangan antar tingkat yang merupakan selisih nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada suatu tingkat dengan nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada tingkat di bawahnya. Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut berdasarkan SNI 1726-2012 Gambar 5:



Gambar 5. 3 Penentuan Simpangan Antar Lantai

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (\text{SNI 1726-2012 Pasal 7.8.6})$$

Dimana:

C_d = Faktor pembesaran defleksi = 4,5

δ_{xe} = Defleksi pada lantai x yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan = 1,0

Untuk nilai simpangan antar lantai ijin, Δ_i , berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 16 didapatkan yakni:

Tabel 5. 5 Simpangan Antar Lantai Ijin, Δ_i

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Maka didapatkan nilai $\Delta_i = 0,025 h_{sx}$

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah X

Tabel 5. 6 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Lantai (m)	δ_{ei}	δ_i	$\delta_{ei} - \delta_i$	Δ_i	Δa 0,01 hsx	Cek Syarat
			(dari SAP) (mm)	Cd. δ_{ei}/Te (mm)		$(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)}) \cdot Cd/Te$ (mm)		
R.Lift	20,5	2,5	12,538	56,42	43,88	1,4	25	OK
6	18,0	3	12,232	55,04	42,81	3,6	30	OK
5	15,0	3	11,431	51,44	40,01	6,6	30	OK
4	12,0	3	9,962	44,83	34,87	9,3	30	OK
3	9,0	3	7,890	35,50	27,61	11,3	30	OK
2	6,0	3	5,368	24,16	18,79	12,4	30	OK
1	3,0	3	2,617	11,78	9,16	10,7	30	OK
Kolom Pendek	1,0	1	0,229	1,03	0,80	1,0	10	OK

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah Y

Tabel 5. 7 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y

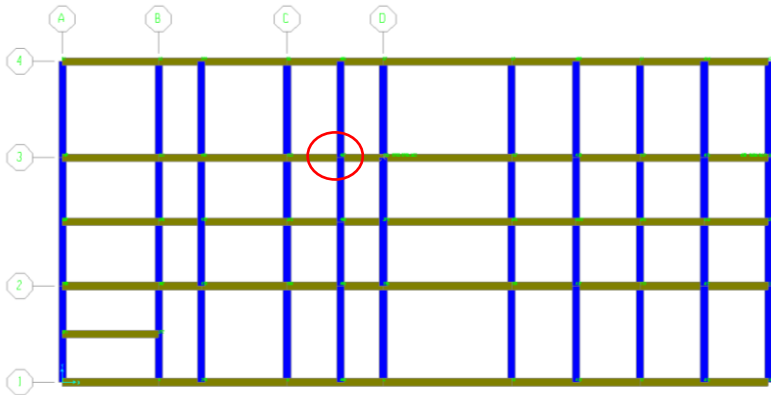
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Lantai (m)	δ_{ei}	δ_i	$\delta_{ei} - \delta_i$	Δ_i	Δa 0,01 hsx	Cek Syarat
			(dari SAP) (mm)	Cd. δ_{ei}/Te (mm)		$(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)}) \cdot Cd/Te$ (mm)		
R.Lift	20,5	2,5	13,14	59,13	45,99	1,8	25	OK
6	18,0	3	12,74	57,34	44,60	4,0	30	OK
5	15,0	3	11,85	53,31	41,46	7,1	30	OK
4	12,0	3	10,28	46,25	35,98	9,8	30	OK
3	9,0	3	8,10	36,46	28,35	11,8	30	OK
2	6,0	3	5,48	24,65	19,17	12,7	30	OK
1	3,0	3	2,65	11,91	9,26	10,8	30	OK
Kolom Pendek	1,0	1	0,24	1,06	0,82	1,1	10	OK

5.3 Pengecekan Gaya yang Terjadi

Pengecekan gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 diperlukan untuk memastikan permodelan yang ada sudah baik dan benar. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 dengan gaya yang terjadi dengan dihitung manual.

5.3.1 Pengecekan Gaya pada Joint Rection

Pengecekan joint reaction yang terjadi, dilakukan dengan mengecek pada joint (joint 222) sebagai berikut:



Gambar 5. 4 Balok yang Ditinjau

Untuk gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 pada joint yang ditinjau (joint 222) dengan aksial yang terjadi (beban DEAD) adalah sebagai berikut:

Aksial terjadi = 218.233,22 kg

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual adalah sebagai berikut:

- Pada lantai dasar
 - a. **Beban mati** tidak terfaktor:
 - Berat sendiri kolom = $(0,5 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1800 \text{ kg}}$
 - Berat sendiri kolom pendek = $(0,5 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 1\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{600 \text{ kg}}$
 - Berat sendiri sloof memanjang = $(0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{2205 \text{ kg}}$
 - Berat sendiri sloof melintang = $(0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{2205 \text{ kg}}$

b. Beban Superdead:

$$\text{Berat dinding} = (3 \times 5,25) \text{ m}^2 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{1693 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat dinding} = (3 \times 5,25) \text{ m}^2 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{1693 \text{ kg}}$$

Beban total:

$$= (1800 + 600 + 2205 + 2205 + 1693 + 1693) \text{ kg} = \mathbf{10196 \text{ kg}}$$

- Pada lantai 2-6

- a. **Beban mati** tidak terfaktor:

$$\text{Berat sendiri kolom} = (0,5 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 = \mathbf{9000 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat lantai a} = (0,12 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 2,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 = \mathbf{7290 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat lantai b} = (0,12 \times 3) \text{ m}^2 \times 2,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 = \mathbf{9720 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat lantai c} = (0,12 \times 3) \text{ m}^2 \times 3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 = \mathbf{12960 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok induk memanjang} = (0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{11025 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok induk melintang} = (0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{11025 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok anak memanjang} = (0,30 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 2,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{3240 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok anak melintang} = (0,15 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{2160 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat tangga 1} = (0,22 \times 1,30) \text{ m}^2 \times 3,35\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 = \mathbf{11497,2 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat tangga 2} = (0,22 \times 1,30) \text{ m}^2 \times 3,35\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 5 = \mathbf{11497,2 \text{ kg}}$$

Beban mati total:

$$= (9000 + 7290 + 9720 + 12960 + 11025 + 11025 + 3240 + 2160 + 11497,2 + 11497,2) \text{ kg} = \mathbf{89414 \text{ kg}}$$

b. Beban Superdead

Dinding pada balok = $(2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{3628,13 \text{ kg}}$

Dinding pada pelat a = $(2,25 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 322,5 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{8163,28 \text{ kg}}$

Dinding pada pelat b = $(2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 322,5 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{10884,4 \text{ kg}}$

Dinding pada pelat c = $(3 \times 3) \text{ m}^2 \times 322,5 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{14512,5 \text{ kg}}$

Keramik, M/E, plafond dan penggantung pada pelat a = $(2,25 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 147,6 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{3736,13 \text{ kg}}$

Keramik, M/E, plafond dan penggantung pada pelat b = $(2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 147,6 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{4981,5 \text{ kg}}$

Keramik, M/E, plafond dan penggantung pada pelat c = $(3 \times 3) \text{ m}^2 \times 147,6 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{6642 \text{ kg}}$

Berat sendiri pelat tangga 1 = $(3,35 \times 1,30) \text{ m}^2 \times 110 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{2395,25 \text{ kg}}$

Berat sendiri pelat tangga 2 = $(3,35 \times 1,30) \text{ m}^2 \times 110 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{2395,25 \text{ kg}}$

Beban superdead total:

= $(3628,13 + 8163,28 + 10884,4 + 14512,5 + 3736,13$

+ $4981,5 + 6642 + 2395,25 + 2395,25) \text{ kg} = \mathbf{57338 \text{ kg}}$

c. Beban Hidup tidak terfaktor:

Pelat lantai a = $(2,25 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 192 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{4860 \text{ kg}}$

Pelat lantai b = $(2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 192 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{6480 \text{ kg}}$

Pelat lantai c = $(3 \times 3) \text{ m}^2 \times 192 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{8640 \text{ kg}}$

$$\text{Pelat tangga} = (3,35 \times 1,3) \text{ m}^2 \times 341 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{7425,3 \text{ kg}}$$

$$\text{Pelat tangga} = (3,35 \times 1,3) \text{ m}^2 \times 341 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{7425,3 \text{ kg}}$$

Beban hidup total:

$$= (4860 + 6480 + 8640 + 7425,3 + 7425,3) \text{ kg} = \mathbf{34.830,6 \text{ kg}}$$

- Pada lantai atap

a. Beban mati tidak terfaktor:

$$\text{Berat sendiri pelat lantai a} = (0,12 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 2,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1458 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat lantai b} = (0,12 \times 3) \text{ m}^2 \times 2,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1944 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat lantai c} = (0,12 \times 3) \text{ m}^2 \times 3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{2592 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri pelat lantai d} = (0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1944 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok induk melintang} = (0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{2205 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok induk memanjang} = (0,35 \times 0,5) \text{ m}^2 \times 5,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{2205 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok anak melintang} = (0,3 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 3\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{864 \text{ kg}}$$

$$\text{Berat sendiri balok anak memanjang} = (0,3 \times 0,4) \text{ m}^2 \times 2,25\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{648 \text{ kg}}$$

Beban mati total:

$$= (1458 + 2944 + 2592 + 1944 + 2205 + 2205 + 864 + 648) \text{ kg} = \mathbf{13860 \text{ kg}}$$

b. Beban Superdead

$$\text{M/E, waterproofing, plafond dan penggantung pada pelat a} = (2,25 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 44,6\text{kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{225,79 \text{ kg}}$$

$$\text{M/E, waterproofing, plafond dan penggantung pada pelat b} = (2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 44,6 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{301,05 \text{ kg}}$$

M/E, waterproofing, plafond dan penggantung pada pelat c = $(3 \times 3) \text{ m}^2 \times 44,6 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{401,4 \text{ kg}}$

M/E, waterproofing, plafond dan penggantung pada pelat d = $(2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 44,6 \text{ kg/m}^2 \times 5 = \mathbf{301,05 \text{ kg}}$

Beban superdead total:

$$= (225,79 + 301,05 + 402,4 + 301,05) \text{ kg} = \mathbf{1229,29 \text{ kg}}$$

c. Beban Hidup tidak terfaktor:

Pelat lantai a = $(2,25 \times 2,25) \text{ m}^2 \times 96 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{486 \text{ kg}}$

Pelat lantai b = $(2,25 \times 3) \text{ m}^2 \times 96 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{648 \text{ kg}}$

Pelat lantai c = $(3 \times 3) \text{ m}^2 \times 96 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{864 \text{ kg}}$

Pelat lantai d = $(2,25 \times 1,3) \text{ m}^2 \times 96 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{648 \text{ kg}}$

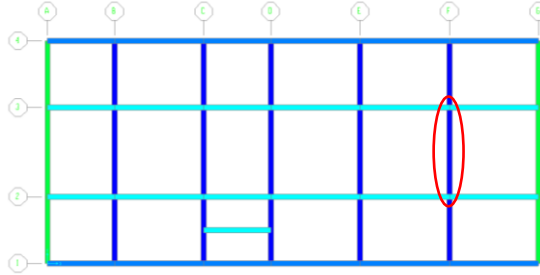
Beban hidup total:

$$= (486 + 648 + 864 + 648) \text{ kg} = \mathbf{2646 \text{ kg}}$$

Total joint reaction yang dihasilkan = $43.486,45 \text{ kg} + 110.084 \text{ kg} + 61.954 \text{ kg} = 215.524,79 \text{ kg}$
 $215.524,79 \text{ kg} \approx 218.233,22 \text{ kg}$

5.3.2 Pengecekan Gaya pada Balok

Pengecekan momen yang terjadi pada balok, dilakukan dengan mengecek pada balok lantai 2 sebagai berikut:



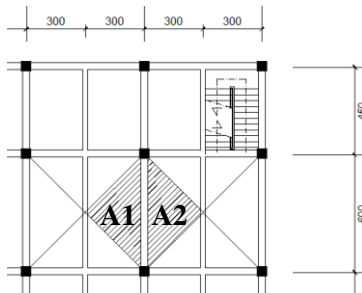
Gambar 5. 5 Balok yang Ditinjau

Untuk gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 pada balok yang ditinjau (frame 1117) dengan momen yang terjadi (kombinasi 1,2D + 1,6L) adalah sebagai berikut:

Momen tumpuan = -13248,98 kg.m

Momen lapangan = 7637,14 kg.m

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 6 Tributary Area pada Balok yang Ditinjau

$$A1 = \frac{6m \cdot 3m}{2} = 9 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{6m \cdot 3m}{2} = 9 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total} = A1 + A2 = 18 \text{ m}^2$$

Bentang balok (ℓn) = 6 m

a. **Beban mati** tidak terfaktor (per satuan panjang):

- Berat sendiri balok = $(0,35 \times 0,50) \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{420 \text{ kg/m}}$
- Berat sendiri pelat = $0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{288 \text{ kg/m}^2}$
- Dinding bata ringan CITICON® = $3 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{322,5 \text{ kg/m}}$
- Keramik + spesi = $\mathbf{110 \text{ kg/m}^2}$
- *Ducting mechanical* = $\mathbf{19 \text{ kg/m}^2}$
- Plafon = $\mathbf{8,6 \text{ kg/m}^2}$
- Penggantung langit-langit = $\mathbf{10 \text{ kg/m}^2}$

Beban mati tambahan total:

$$= (228 + 110 + 8,6 + 10 + 19 + 322,5) \text{ kg/m}^2 = 758,1 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban mati total per satuan panjang adalah:

$$D = \left(\frac{758,1 \text{ kg/m}^2 \cdot 18 \text{ m}^2}{6 \text{ m}} \right) + 420 \text{ kg/m}$$

$$D = 2694,3 \text{ kg/m}$$

b. **Beban hidup** tidak terfaktor (per satuan panjang):

$$\text{Beban hidup untuk apartemen} = \mathbf{192 \text{ kg/m}^2}$$

$$L = \left(\frac{192 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot 18 \text{ m}^2}{6 \text{ m}} \right) = 576 \text{ kg/m}$$

c. Kombinasi beban akibat gaya gravitasi:

$$q_u = 1,4D = 1,4 \cdot 2694,3 \text{ kg/m} = 3772,02 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$q_u = 1,2 (2694,3 \text{ kg/m}) + 1,6 (576 \text{ kg/m}) \\ = 4154,76 \text{ kg/m}$$

Diambil yang terbesar yakni $q_u = 4154,76 \text{ kg/m}$

Untuk menghitung momen yang terjadi pada balok, digunakan metode analisis berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 8.3.3, dimana:

Momen negatif di muka perletakan interior:

$$M^- = \frac{-q_u \cdot \ell n^2}{11} = \frac{-4154,76 \text{ kg} / \text{m} \cdot (6 \text{ m})^2}{11} = -$$

$$13.597,4 \text{ kg.m}$$

$$-13.597,4 \text{ kg.m} \approx -13.249 \text{ kg.m}$$

Momen positif di tengah bentang:

$$M^+ = \frac{q_u \cdot \ell n^2}{11} = \frac{4154,76 \text{ kg} / \text{m} \cdot (6 \text{ m})^2}{16} =$$

$$9.348,21 \text{ kg.m}$$

$$9.348,21 \text{ kg.m} \approx 7637,14 \text{ kg.m}$$

BAB VI

PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER

6.1 Perhitungan Struktur Pelat Lantai

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

Struktur pelat lantai yang dihitung pada bab ini merupakan pelat yang dikelilingi oleh balok. Untuk pelat 1 arah perhitungan penulangan pelat menggunakan SNI 2847-2013 sedangkan untuk pelat 2 menggunakan PBBI 1971. Dalam bab ini perhitungan pelat ini digunakan pada lantai 2 hingga lantai atap.

Tipe Pelat	Momen	lv / 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	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
II	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	11	11	11	11	10	10	8	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	
III	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
IVa	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125	
IVb	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	
Va	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
Vb	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125	
VIa	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
VIb	$M_{lx} = +0.001 q_l l_x^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	
	$M_{ly} = +0.001 q_l l_y^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
	$M_{tx} = +0.001 q_l l_x X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	
Keterangan:		= Terletak bebas																	
		= Terjepit penuh																	

Gambar 6. 1 Tabel Momen Pelat

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

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

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

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

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

Dimana :

Mtx = Momen tumpuan arah x

Mlx = Momen lapangan arah x

Mty = Momen tumpuan arah y

Mly = Momen lapangan arah y

X = koefisien (tabel 13.3.1 PBB1 1971)

6.1.1 Pembebanan Struktur Pelat Lantai

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

1. Beban Mati

- Berat sendiri pelat = tebal pelat x γ beton
= 0,12 m x 24 kN/m³
= 2,88 kN/m²
 - Beban keramik + spesi = 1,1 kN/m²
 - Beban ducting mekanikal = 0,19 kN/m²
 - Beban plafon = 0,086 kN/m²
 - Beban penggantung plafon = 0,1 kN/m²
 - Beban dinding = 1,075 kN/m³ x
3 m = 3,225 kN/m²
- $$q_{DL} = (2,8 + 1,1 + 0,19 + 0,086 + 0,1 + 3,225)$$
- $$\text{kN/m}^2$$
- $$= 7,581 \text{ kN/m}^2$$

2. Beban Hidup

- Beban hidup kamar (Lantai 2-6):
 $q_{LL} = 1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup atap (Lantai atap):
 $q_{LL} = 0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

3. Beban Ultimate

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

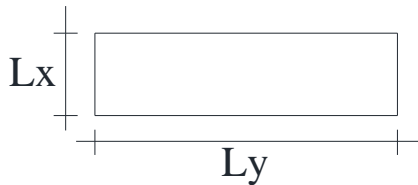
$$\begin{aligned} - q_U &= 1,4 \text{ qDL} && = 1,4 \text{ qDL} \\ &= 1,4 \cdot 7,581 \text{ kN/m}^2 && = 10,6134 \text{ kN/m}^2 \\ - q_U &= 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} \\ &= 1,2 \cdot 7,581 \text{ kN/m}^2 + 1,6 \cdot 1,92 \text{ kN/m}^2 \\ &= 12,1692 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai yang paling besar, yakni:

$$q_U = 12,17 \text{ kN/m}^2$$

6.1.2 Analisis Struktur Pelat Lantai

Untuk analisa struktur pelat lantai menggunakan tabel koefisien momen, momen-momen yang terjadi mengikuti ketentuan sebagai berikut:



Gambar 6. 2 Ketentuan Pada Analisa Pelat Lantai

Dimana: L_x = bentang pelat pendek
 L_y = bentang pelat panjang

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

1. Beban Mati
 - Berat sendiri pelat = $0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 288 \text{ kg/m}^2$
 - Beban keramik + spesi = 110 kg/m^2
 - Beban *ducting mechanical* = 19 kg/m^2
 - Beban plafon = $8,6 \text{ kg/m}^2$
 - Beban penggantung langit-langit = 10 kg/m^2
 - Beban dinding = $322,5 \text{ kg/m}^2$
 - $qDL = (283,2 + 110 + 19 + 5 + 10 + 322,5) \text{ kg/m}^2 = 758,1 \text{ kg/m}^2$

2. Beban Hidup
 - Untuk ruang kamar (lantai 2)-6 , $qL = 192 \text{ kg/m}^2$
 - Untuk lantai atap , $qL = 96 \text{ kg/m}^2$

3. Beban Kombinasi
 - $1,4 D = 1,4 (758,1 \text{ kg/m}^2) = 1061,34 \text{ kg/m}^2$
 - Untuk ruang kamar (lantai 2-6):
 - $1,2 D + 1,6 L = 1,2 (758,1 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (192 \text{ kg/m}^2)$
 $= 1216,92 \text{ kg/m}^2$
 - Untuk lantai atap:
 - $1,2 D + 1,6 L = 1,2 (758,1 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (96 \text{ kg/m}^2)$
 $= 1063,32 \text{ kg/m}^2$

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

1. Pelat Ukuran $6\text{m} \times 3\text{m}$
 - $L_n = 5,68 \text{ m}$
 - $S_n = 2,65 \text{ m}$

$$\beta_1 = \frac{5,68m}{2,65m} = 2,14 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Maka untuk momen yang terjadi:

Untuk lantai (2-6):

$$M_{lx} = 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 5,68m / 11 = 3562,879 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 5,68m / 10 = 3919,167 \text{ kg.m}$$

Untuk lantai atap:

$$M_{lx} = 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot 5,68m / 11 = 1593,651 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot 5,68m / 10 = 1753,017 \text{ kg.m}$$

2. Pelat Ukuran 4,5m x 3m

$$L_n = 4,18 \text{ m}$$

$$S_n = 2,65 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{4,18m}{2,65m} = 1,58 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

Koefisien momen untuk nilai β_1 adalah:

$$X_1 = 36; \quad X_2 = 76$$

$$X_3 = 17; \quad X_4 = 57$$

Maka untuk momen yang terjadi:

Untuk lantai 2-6:

$$M_{lx} = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 36 = 394,282 \text{ kg.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 17 = 186,189 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 76 = 832,373 \text{ kg.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 57 = 624,280 \text{ kg.m}$$

Untuk lantai atap:

$$M_{lx} = 0,001 \cdot 552,72 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 36 = 179,081 \text{ kg.m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot 552,72 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 17 = 84,566 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot 552,72 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 76 = 378,060 \text{ kg.m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot 552,72 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m \cdot 57 = 283,545 \text{ kg.m}$$

3. Pelat Ukuran 4,5m x 2,25m

$$L_n = 4,18 \text{ m}$$

$$S_n = 1,90 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{4,18\text{m}}{1,90\text{m}} = 2,20 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Maka untuk momen yang terjadi:

Untuk lantai (2-6):

$$M_{lx} = 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 4,18\text{m} / 11 = 1928,334 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 1216,92 \text{ kg/m}^2 \cdot 4,18\text{m} / 10 = 2121,168 \text{ kg.m}$$

Untuk lantai atap:

$$M_{lx} = 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot 4,18\text{m} / 11 = 862,531 \text{ kg.m}$$

$$M_{tx} = 544,32 \text{ kg/m}^2 \cdot 4,18\text{m} / 10 = 948,784 \text{ kg.m}$$

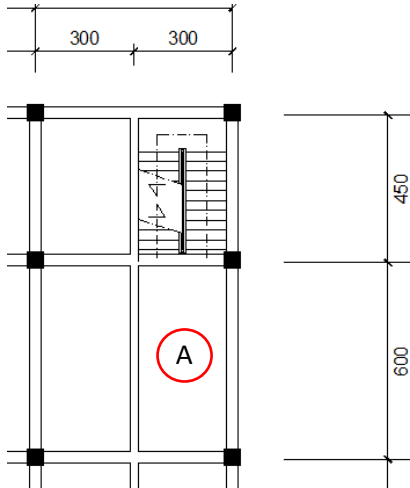
Tabel 6. 1 Perbandingan Momen yang Terjadi Dihitung Menggunakan SAP 2000 v.14 dan Tabel Koefisien Momen

Tipe Plat	Momen yang terjadi (kg.m)							
	SAP 2000 v.14				Koef. Momen PBI 1971 / SNI 2847-2013			
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Plat Lt 2-6 Ruang Kamar Apartemen ($q_L = 192 \text{ kg/m}^2$)								
Plat Tipe A (6m x 3m)	1932,46	(plat satu arah)	1781,73	(plat satu arah)	3919,17	(plat satu arah)	3562,88	(plat satu arah)
Plat Tipe B (3m x 4,5m)	742,98	587,31	294,78	126,42	832,37	624,28	394,28	186,19
Plat Tipe C (2,5m x 4,5m)	1696,81	(plat satu arah)	1542,43	(plat satu arah)	2121,17	(plat satu arah)	1928,33	(plat satu arah)
Plat Tipe D (4,5m x 4,5m)	487,41	487,41	194,59	194,59	582,01	582,01	235,04	235,04
Plat Lt. Atap ($q_L = 96 \text{ kg/m}^2$)								
Plat Tipe A (6m x 3m)	848,32	(plat satu arah)	732,72	(plat satu arah)	1753,02	(plat satu arah)	1593,65	(plat satu arah)
Plat Tipe B (3m x 4,5m)	287,02	189,53	97,52	76,38	378,06	283,55	179,08	84,57
Plat Tipe C (2,5m x 4,5m)	569,42	(plat satu arah)	489,56	(plat satu arah)	948,78	(plat satu arah)	862,53	(plat satu arah)

Dapat dilihat bahwa hasil momen yang terjadi hasil perhitungan menggunakan SAP 2000 v.14 relatif lebih kecil dibandingkan momen yang dihitung menggunakan tabel koefisien momen PBI 1971 maupun dengan menggunakan SNI 2847-2013, sehingga untuk perhitungan penulangan pelat akan menggunakan momen hasil perhitungan PBI 1971 dan SNI 2847-2013.

6.1.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat

6.1.3.1 Pelat Tipe A (3m x 6m)



Gambar 6. 3 Pelat Tipe A

$$L_y = 6000 \text{ mm}$$

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

$$L_n = 6000 \text{ mm} - \frac{350 \text{ mm}}{2} - \frac{300 \text{ mm}}{2} = 5680 \text{ mm}$$

$$S_n = 3000\text{mm} - \frac{350\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 2650\text{mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{5680\text{mm}}{2650\text{mm}} = 2,143 < 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

1. Perhitungan tulangan arah **Lx (bentang pendek)**

$$M_{lx} = 3562,879 \text{ kg.m} = 35,63 \text{ kN.m}$$

$$M_{tx} = 3919,167 \text{ kg.m} = 39,19 \text{ kN.m}$$

a. Perhitungan kebutuhan pada **Lapangan**

- Menghitung kebutuhan tulangan

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

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

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

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

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

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

$$p_{\max} = 0,0244$$

$$M_{lx} = 35,63 \text{ kN.m} = 35.628.790 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{35.628.790 \text{ N.mm}}{0,9} = 39.587.544,62 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{39.587.544,62 N \cdot mm}{1000 mm \cdot (93,5 mm)^2} = 4,528$$

N/mm²

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

$$p = \frac{1}{15,69} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 4,528 N / mm^2}{400 Mpa}} \right)$$

$$p = 0,0126$$

Karena $p > p_{min}$, maka dipakai $p = 0,0126$

Sehingga:

$$A_{s_{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0126 \cdot 1000 mm \cdot 93,5 mm$$

$$A_{s_{perlu}} = 1174,131 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D13-100 → A_s pakai = 1327,323 mm²

- Kontrol jarak tulangan

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

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

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

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

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

Syarat: $s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot c_c$ dan tidak

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

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

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

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

265mm

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

Jarak antar tulangan dipakai = 100 mm < 265 mm
(OK!)

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

$$V_u = \frac{w_u \cdot \ell_n}{2} = \frac{12,17 \text{ kN} / \text{m}^2 \cdot 5,68 \text{ m}}{2} = 34,56$$

kN

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

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

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

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm}$$

$$V_c = 87.526,06 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 87.526,06 \text{ kN} = 65.644,55 \text{ N}$$

$$= 65,64 \text{ kN}$$

$$34,56 \text{ kN} < 65,64 \text{ kN}$$

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

b. Perhitungan kebutuhan pada **Tumpuan**

- Menghitung kebutuhan tulangan

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d_x = t_{plat} - t_{se\ lim\ ut} - \frac{D}{2}$$

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

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

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

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

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

$$p_{\max} = 0,0244$$

$$M_{tx} = 39,19 \text{ kN.m} = 39.191.669 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{39.191.669 \text{ N.mm}}{0,9} = 43.546.299,08 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{43.546.299,08 N \cdot mm}{1000 mm \cdot (93,5 mm)^2} = 4,981$$

N/mm²

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

$$p = \frac{1}{15,69} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 4,98 N / mm^2}{400 Mpa}} \right)$$

$$p = 0,0140$$

Karena $p > p_{min}$, maka dipakai $p = 0,0140$

Sehingga:

$$As_{perlu} = p \cdot b \cdot d = 0,0140 \cdot 1000 mm \cdot 93,5 mm$$

$$As_{perlu} = 1.307,81 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D13-100 \rightarrow As pakai = 1327,32 mm²

- Kontrol jarak tulangan

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

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

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

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

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

Syarat: $s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot c_c$ dan tidak

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

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

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

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

265mm

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

Jarak antar tulangan dipakai = 100 mm < 265 mm (OK!)

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah:

$$V_u = \frac{w_u \cdot \ell_n}{2} = \frac{12,17 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,68 \text{ m}}{2} = 34,56$$

kN

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

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

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

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm}$$

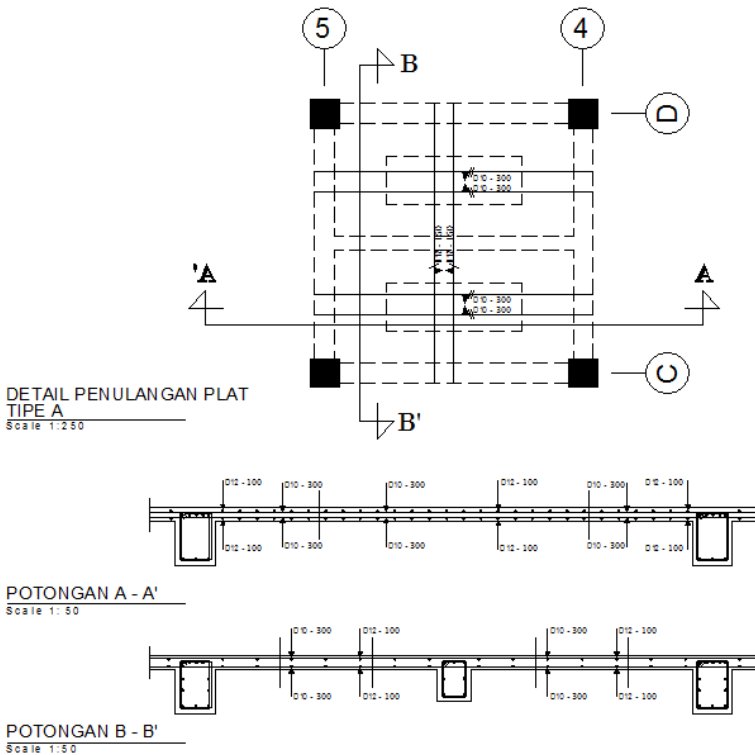
$$V_c = 87.526,06 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 87.526,06 \text{ kN} = 65.644,55 \text{ N}$$

$$= 65,64 \text{ kN}$$

$$34,56 \text{ kN} < 65,64 \text{ kN}$$

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



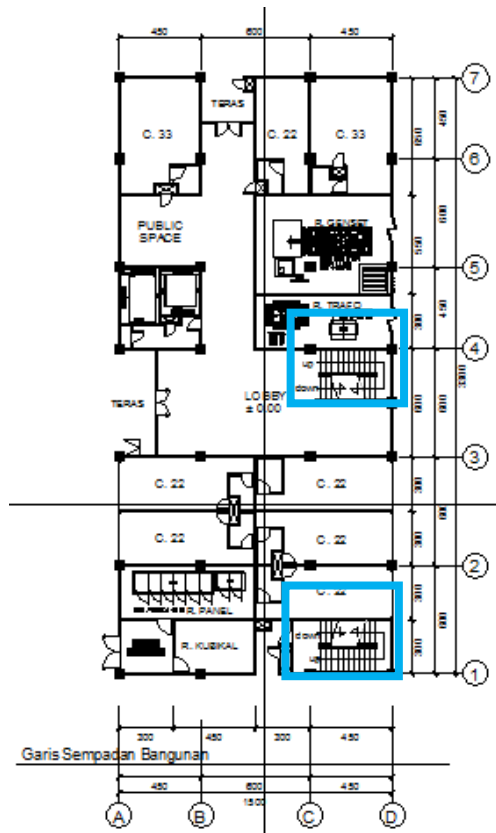
Gambar 6. 4 Penulangan Pelat Tipe A

Tabel 6. 2 Tabel Penulangan Plat Lantai

Tipe Plat	Momen yang Terjadi		fc'	fy	β_1	d	m	ρ min	Rn	ρ	p pakai	As perbu	Tulangan dipakai			Cek					
	kg.m	Mpa											Mpa	D	s		As pakai				
Plat Tipe 1A	Mlx	3562,88				93,5				0,0126	0,0126	1174,13	13	100	1327,32	OK!					
	Mtx	3919,17				93,5							13	100	1327,32						
	Mlx	1593,65				95							100	785,40	OK!						
Plat Tipe 1B	Mtx	1753,02			95				2,16	0,0056	0,0056	536,33	10	100	785,40	OK!					
	Mtx	832,37											94	1,05	0,0027		0,0035	329,00	12	200	565,49
Plat Tipe 2A	Mfy	624,28				82			1,03	0,0026	0,0035	287,00	12	200	565,49	OK!					
	Mtx	394,28				94							0,50	0,0013	0,0035		329,00	12	200	565,49	
	Mfy	186,19				82							0,31	0,0008	0,0035		287,00	12	200	565,49	
Plat Tipe 2B	Mtx	378,06	30	400	0,85				0,47	0,0012	0,0035	332,30	10	150	523,60	OK!					
	Mfy	283,55											85	0,44	0,0011		0,0035	297,30	10	150	523,60
	Mtx	179,08											95	0,22	0,0006		0,0035	332,30	10	150	523,60
Plat Tipe 3A	Mly	84,57							0,13	0,0003	0,0035	297,30	10	150	523,60	OK!					
	Mlx	1928,33											94	2,42	0,0064		0,0064	599,86	12	150	753,98
	Mtx	2121,17											94	2,67	0,0071		0,0071	663,56	12	150	753,98
Plat Tipe 3B	Mtx	862,53							1,06	0,0027	0,0035	332,30	10	200	392,70	OK!					
	Mtx	948,78											95	1,17	0,0030		0,0035	332,30	10	200	392,70
	Mtx	582,01											95	0,72	0,0018		0,0035	332,30	10	200	392,70
Plat Tipe 4	Mfy	582,01							0,90	0,0023	0,0035	297,30	10	200	392,70	OK!					
	Mtx	235,04											95	0,29	0,0007		0,0035	332,30	10	200	392,70
	Mfy	235,04											85	0,36	0,0009		0,0035	297,30	10	200	392,70

6.2 Desain Struktur Tangga

Struktur tangga yang didesain meliputi pelat tangga, balok tangga, pelat bordes serta balok bordes (bila memakai). Sebagai contoh perhitungan ditinjau tangga yang menghubungkan lantai dasar dengan lantai 2. Denah untuk penempatan tangga yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. 5 Denah Penempatan Tangga pada Lantai Dasar

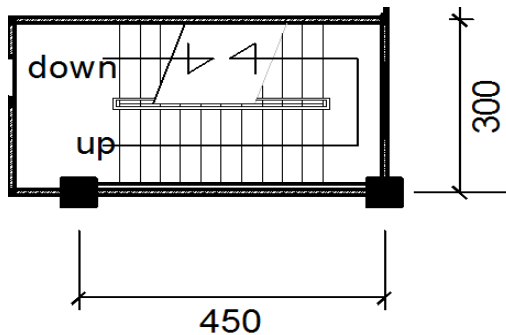
6.2.1 Desain Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Spesifikasi teknik untuk pelat tangga dan pelat bordes yang didesain adalah sebagai berikut:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

Tulangan menggunakan D16



Gambar 6. 6 Denah Tangga

Tebal pelat tangga = 150 mm

Tebal pelat bordes = 150 mm

Tebal efektif pelat tangga:

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 1 &= 0,5 \times i \times t = 0,5 \times 300 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \\ &= 22.500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 2 &= 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \times d \\ &= 0,5 \times ((300\text{mm})^2 + (150\text{mm})^2)^{0,5} \times d \\ &= 170 \text{ mm} \cdot d \end{aligned}$$

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

$$22.500 \text{ mm}^2 = 170 \text{ mm} \cdot d$$

$$d = 134,2 \text{ mm}; 0,5 d = 67,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif pelat tangga} &= 150 \text{ mm} + 67,1 \text{ mm} \\ &= 217,1 \text{ mm} \sim 220 \text{ mm} \\ &= 22 \text{ cm} = 0,22 \text{ m} \end{aligned}$$

6.2.2 Pembebanan Pada Tangga dan Bordes

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

1. Beban mati (DL)

Beban mati untuk tangga:

$$\text{Berat sendiri} = 0,22 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 528 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik + spesi} = 110 \text{ kg/m}^2$$

$$qDL = 638 \text{ kg/m}^2$$

Beban mati untuk bordes:

$$\text{Berat sendiri} = 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik + spesi} = 110 \text{ kg/m}^2$$

$$qDL = 470 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban hidup (LL)

$$\text{Beban hidup tangga / bordes} = 341 \text{ kg/m}^2$$

$$qLL = 341 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban ultimate

Beban ultimate untuk tangga:

$$qU \text{ tangga} = 1,2 qDL + 1,6 qLL$$

$$= 1,2 \cdot 638 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \cdot 341 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1311,2 \text{ kg/m}^2$$

Beban ultimate untuk bordes:

$$qU \text{ bordes} = 1,2 qDL + 1,6 qLL$$

$$= 1,2 \cdot 470 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \cdot 341 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1109,6 \text{ kg/m}^2$$

Untuk beban merata yang terjadi:

$$\text{Pada pelat tangga (datar)} = q \text{ tangga} \times \text{lebar tangga}$$

$$= 1311,2 \text{ kg/m}^2 \times 1,3 \text{ m}$$

$$= 1704,56 \text{ kg/m}$$

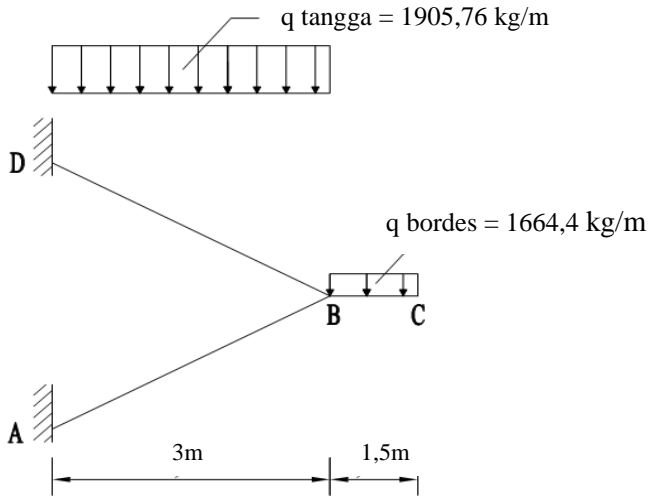
$$\text{Pada pelat bordes} = q \text{ bordes} \times \text{lebar bordes}$$

$$= 1109,6 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m}$$

$$= 1664,4 \text{ kg/m}$$

6.2.3 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 6. 7 Beban yang Terjadi pada Pelat Tangga dan Bordes

Penyelesaian untuk cross/distribusi momen:

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

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

$$\mu_{AB} = 0; \mu_{BC} = 0; \mu_{DB} = 0$$

Momen primer yang terjadi:

$$\begin{aligned} \text{MF BA} &= \frac{1}{12} \cdot q_{\text{tan gga}} \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 1905,76 \text{ kg} / \text{ m} \cdot (3 \text{ m})^2 \\ &= 3215,96 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MF AB} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{\text{tan gga}} \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \cdot 1905,76 \text{ kg} / \text{ m} \cdot (3 \text{ m})^2 \\ &= -3215,96 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MF BC} &= \frac{1}{2} \cdot q_{\text{bordes}} \cdot L^2 = \frac{1}{2} \cdot 1109,60 \text{ kg} / \text{ m} \cdot (1,5 \text{ m})^2 \\ &= -1872,45 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MF DB} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{\text{tan gga}} \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \cdot 1905,76 \text{ kg} / \text{ m} \cdot (3 \text{ m})^2 \\ &= -3215,96 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MF BD} &= \frac{1}{12} \cdot q_{\text{tan gga}} \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 1905,76 \text{ kg} / \text{ m} \cdot (3 \text{ m})^2 \\ &= 3215,96 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Tabel 6. 3 Tabel Penyelesaian Cross

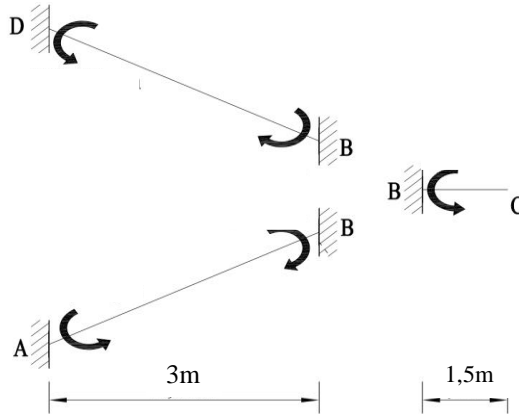
Titik	A	B			D
Batang	AB	BA	BC	BD	DB
FD	0	-0,5	0	-0,5	0
MF	-3215,96	3215,96	-1872,45	3215,96	-3215,96
MD	0	-2279,7	0	-2279,7	0
MI	-1139,9	0	0	0	-1139,9
MD	0	0	0	0	0
M akhir	-4355,83	936,23	-1872,45	936,23	-4355,83

$$\text{Kontrol, } \sum M_B = 0$$

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

$$936,23 \text{ kg.m} - 1872,45 \text{ kg.m} + 936,23 \text{ kg.m} = 0$$

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



Gambar 6. 8 Free Body Diagram pada Pelat Tangga dan Bordes

Maka, gaya yang terjadi pada batang AB adalah:

$$L = 3 \text{ m}$$

$$\sum MA = 0$$

$$-V_b \cdot 3 \text{ m} + 936,23 \text{ kg.m} - 4355,83 \text{ kg.m} + 0,5 \cdot 8575,90 \text{ kg/m} \cdot (4,5 \text{ m})^2 = 0$$

$$V_b = \frac{15.876,18 \text{ kg.m}}{4,5 \text{ m}} = 3528,04 \text{ kg}$$

$$\sum MB = 0$$

$$V_a \cdot 3 \text{ m} + 4355,83 \text{ kg.m} - 936,23 \text{ kg.m} - 0,5 \cdot 8575,90 \text{ kg/m} \cdot (4,5 \text{ m})^2 = 0$$

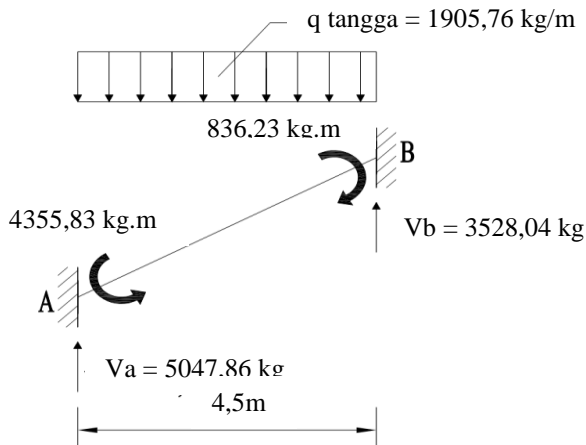
$$V_a = \frac{22.715,37 \text{ kg.m}}{4,5 \text{ m}} = 5047,86 \text{ kg}$$

$$\text{Kontrol, } \sum V = 0$$

$$V_a + V_b - q \cdot L = 0$$

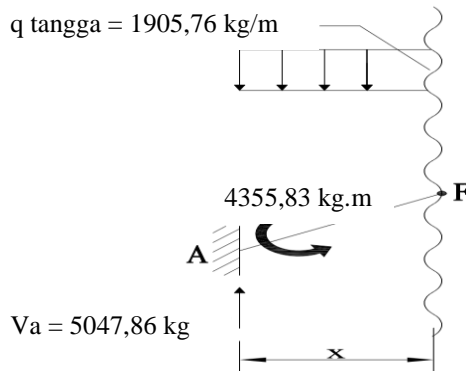
$$5047,86 \text{ kg} + 3528,04 \text{ kg} - 1905,76 \text{ kg/m} \cdot 4,5 \text{ m} = 0$$

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



Gambar 6. 9 Gaya yang Terjadi pada Batang AB

Momen maksimum terjadi pada gaya lintang $D = 0$ pada jarak x , sehingga:



Gambar 6. 10 Potongan Batang AB

$$\sum V = 0$$

$$V_a - q \cdot x = 0$$

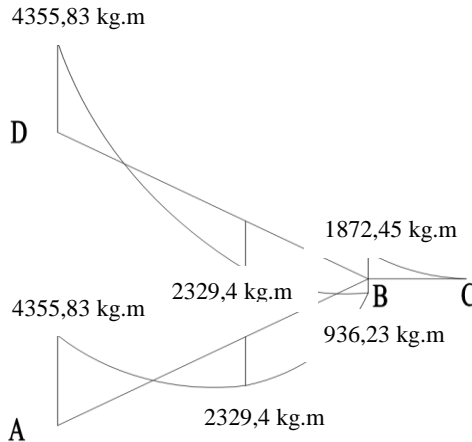
$$5047,86 \text{ kg} - 1905,76 \text{ kg.m} \cdot x = 0$$

$$x = 2,6 \text{ m}$$

Maka untuk momen maksimum yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= V_a \cdot x - 0,5 \cdot q \cdot x^2 - M_{ab} \\ &= 5047,86 \text{ kg} \cdot 2,6 \text{ m} - 0,5 \cdot 1905,76 \text{ kg/m} \cdot (2,6 \text{ m})^2 - 4355,83 \text{ kg.m} = 2329,42 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Maka untuk diagram momen yang terjadi adalah:



Gambar 6. 11 Diagram Momen Pelat Tangga dan Bordes

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

Didapatkan momen sebagai berikut:

$$\text{Momen tumpuan tangga} = -6758,61 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momen lapangan tangga} = 1991,52 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momen tumpuan bordes} = -3983,08 \text{ kg.m}$$

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

$$\text{Momen pelat tangga} = 4355,83 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momen bordes} = 1872,45 \text{ kg.m}$$

6.2.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

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

$$L_x = S_n = 1300 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{4500 \text{ mm}}{1300 \text{ mm}} = 3,46 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$d = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (13 \text{ mm} / 2) = 123,5 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada pelat tipe 1A pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 4 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Tangga

	Plat Tangga
Tebal plat (mm)	150
Mu (kN.m)	43,56
d (mm)	123,5
p min	0,0035
p	0,0097
p pakai	0,0097
As min (mm ²)	1192,49
As pakai (mm ²)	1327,32
Tulangan dipakai	D13-100
Cek jarak tul. (<300 mm)	OK!
Cek retak (<265 mm)	OK!
Vu (kN)	29,50
ϕ Vc	86,25
Cek Geser	OK!

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

$$20\% \times \text{Tulangan utama (As pakai)} = 0,2 \times 1327,32 \text{ mm}^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai D8-150 dengan As = 335,10 mm²

6.2.5 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

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

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

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3000 \text{ mm}}{1500 \text{ mm}} = 2 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

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

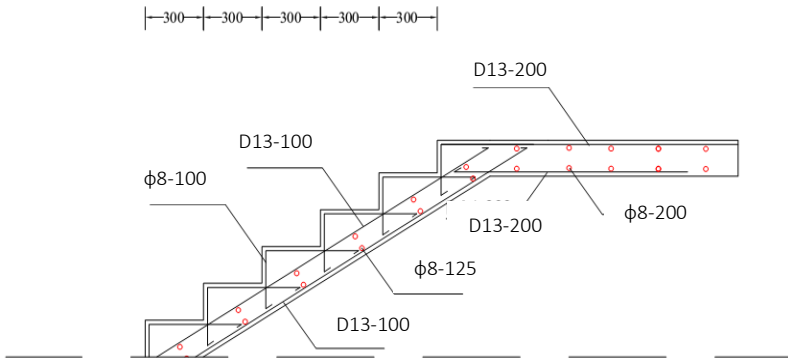
Tabel 6. 5 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Bordes

	Plat Bordes
Tebal plat (mm)	150
Mu (kN.m)	18,72
d (mm)	123,5
p min	0,0035
p	0,0035
p pakai	0,0035
As min (mm ²)	433,06
As pakai (mm ²)	663,66
Tulangan dipakai	D13-200
Cek jarak tul. (<300 mm)	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!
Vu (kN)	16,64
ϕ Vc	86,25
Cek Geser	OK!

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

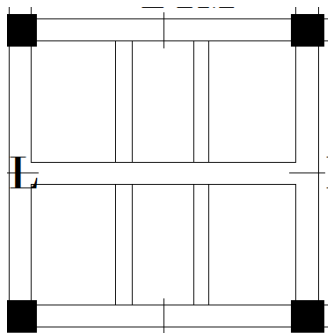
$$20\% \times \text{Tulangan utama (As pakai)} = 0,2 \times 663,66 \text{ mm}^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai D8-200 dengan As = 251,33 mm²



Gambar 6. 12 Penulangan Pelat Lantai Tangga dan Pelat Bordes

6.3 Desain Balok Penggantung Lift



Gambar 6. 13 Balok Lift yang Ditinjau dalam Perhitungan

Jika direncanakan balok penggantung lift sebagai berikut:

$$L = 2,25 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

Tulangan lentur = D16

Tulangan geser = D10

Dari hasil perhitungan pembebanan pada program bantu SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya sebagai berikut:

Mu tumpuan = -1851,43 kg.m = -18,51 kN.m

Mu lapangan = 3837,49 kg.m = 38,37 kN.m

Vu = 5283,62 kg = 52,84 kN

1. Perhitungan Tulangan **Tumpuan**

Syarat Menghitung kebutuhan tulangan

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = h - t_{se\ lim\ ut} - sengkang - \frac{D.lentur}{2}$$

$$d = 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{16\text{mm}}{2} = 342\text{mm}$$

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

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

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

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 30\text{Mpa}}{400\text{Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$p_{\max} = 0,0244$$

$$M_{tx} = 18,51 \text{ kN.m} = 18.514.300 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 20.571.444 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{20.571.444 \text{ N.mm}}{300\text{mm} \cdot (342\text{mm})^2} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

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

$$p = \frac{1}{15,69} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 0,59 N / mm^2}{400 Mpa}} \right)$$

$$p = 0,0015$$

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

Sehingga:

$$As_{\text{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,035 \cdot 300mm \cdot 342mm$$

$$As_{\text{perlu}} = 359 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai 2-D16 \rightarrow As pakai = 402 mm²

2. Perhitungan Tulangan **Lapangan**

Syarat Menghitung kebutuhan tulangan

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = h - t_{\text{se limit}} - \text{sengkang} - \frac{D.lentur}{2}$$

$$d = 400mm - 40mm - 10mm - \frac{16mm}{2} = 342mm$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{400 Mpa}{0,85 \cdot 30 Mpa} = 15,69$$

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

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

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$p_{\max} = 0,0244$$

$$M_{lx} = 38,37 \text{ kN.m} = 38.374.900 \text{ N.mm}$$

$$M_{ny} = 42.638.778 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{42.638.778 \text{ N.mm}}{300 \text{ mm} \cdot (342 \text{ mm})^2} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

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

$$p = \frac{1}{15,69} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 1,22 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0031$$

Karena $p < p_{\min}$, maka dinaikkan 30% menjadi
 $p_{\text{pakai}} = 0,0041$

Sehingga:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0041 \cdot 300 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 425 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai 3-D16 $\rightarrow A_s \text{ pakai} = 603 \text{ mm}^2$

3. Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor, **Vu sejarak d** dari muka tumpuan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.3.1.

Momen Nominal

Momen nominal diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 2D16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(402 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 21,02 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = \text{As} \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 402 \times 400 \times \left(342 - \frac{21,2}{2} \right)$$

$$= 53.289.120 \text{ Nmm}$$

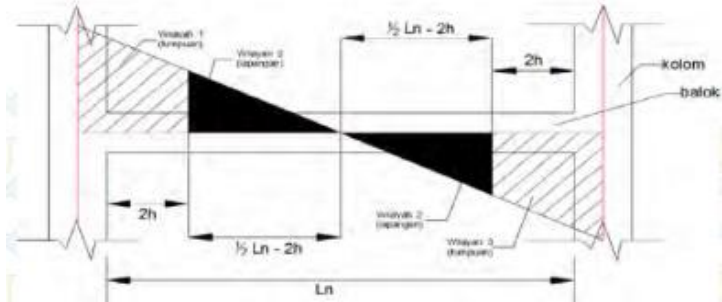
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1Ex + 0,3Ey , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 52.836 \text{ N}$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)
- Wilayah 2 (daerah lapangan) , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.



Gambar 6. 14 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa (SNI 03-2847-2013).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (*memenuhi*)}$$

Kuat Geser Beton [SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 \\ &= 95.534 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 300 \times 342 \\ &= 33.858 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 \\ &= 185.448 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 \\ &= 370.896 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

Gaya geser diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{\ell_n} + \frac{Wu \times \ell_n}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{\ell_n} + Vu$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

$Vu1$ = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned} Vu1 &= \frac{20.571.444}{2250} + 52.836 \\ &= 61.979 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$61.979 \text{ N} \geq 35.825 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$35.825 \text{ N} \leq 61.979 \text{ N} \leq 71.650 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$71.650 \text{ N} \geq 61.979 \text{ N} \leq 97.044 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$97.044 \text{ N} \geq 61.979 \text{ N} \leq 210.736 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow \text{Tulangan}$$

Geser

$$210.736 \text{ N} \geq 61.979 \text{ N} \leq 349.822 \text{ N} \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2**.

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= V_s \text{ min} \\ &= 33.858 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{maks})

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,88 \times 240 \times 340,5}{33.710} \\ &= 381 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) $d/4$

- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
 c) 24 kali diameter sengkang dan
 d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

- a. $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $100 \text{ mm} < \frac{432 \text{ mm}}{4}$
 $100 \text{ mm} < 108 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**
- b. $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$
 $100 \text{ mm} < 8(16 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**
- c. $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$
 $100 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

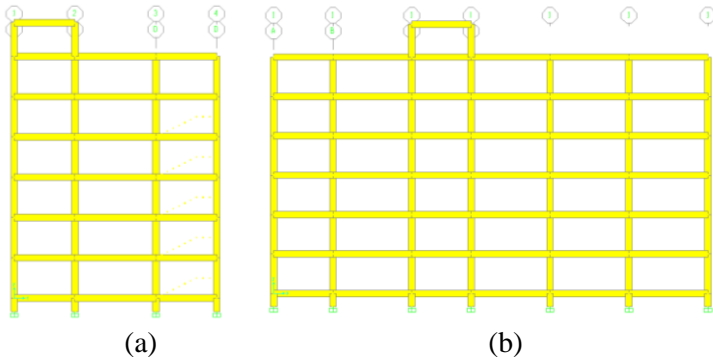
Jadi, penulangan geser balok untuk balok lift (30/40) pada dipasang $\varnothing 10 - 100 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII PERHITUNGAN STRUKTUR PRIMER

7.1 Umum

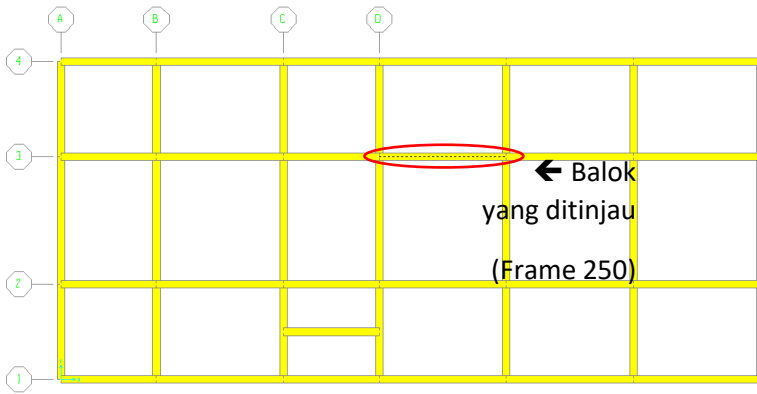
Untuk perhitungan struktur primer, portal pada bangunan yang akan ditinjau adalah sebanyak 2 portal. Portal tersebut dibagi menjadi 1 portal arah memanjang dan 1 portal arah melintang. Nantinya dari masing-masing portal akan dihitung untuk kebutuhan tulangan balok, kolom serta hubungan balok-kolom dari masing masing portal tersebut. Untuk portal yang ditinjau adalah sebagai berikut:



Gambar 7. 1 Portal yang Ditinjau; (a) Portal pada Bidang Y-Z; (b) Portal pada Bidang X-Z

7.2 Desain Struktur Balok Induk

Pada perhitungan penulangan balok induk, balok induk yang dihitung secara manual adalah balok induk yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Untuk perhitungan penulangan balok yang lain akan digunakan tabel pada program bantu Microsoft Excel.



Gambar 7. 2 Balok Induk yang Ditinjau dalam Perhitungan

7.2.1 Data Perencanaan

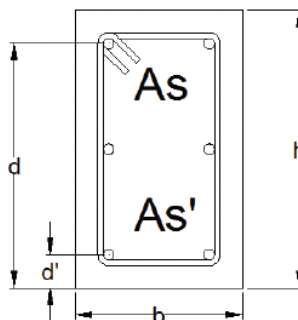
Tipe balok	: BS
As balok	: 3 (D-E)
Bentang balok (L balok)	: 6000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 350 mm
Dimensi balok (h balok)	: 500 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3000 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]

Jarak spasi tulangan antar lapis (s)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\
 &= 500 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 22) \\
 &= 439 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\
 &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 22) \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 7. 3 Tinggi Efektif Balok

7.2.2 Gaya yang Terjadi Pada Balok Induk

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

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

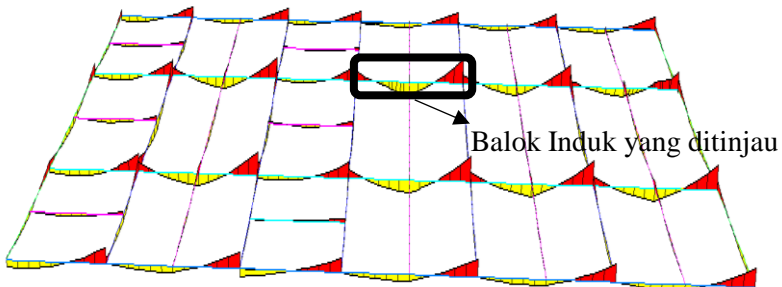
Kombinasi pembebanan non-gempa:

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

Kombinasi pembebanan gempa:

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

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



Gambar 7. 4 Diagram Momen Lentur Balok Induk It.1

Hasil Output Diagram Torsi

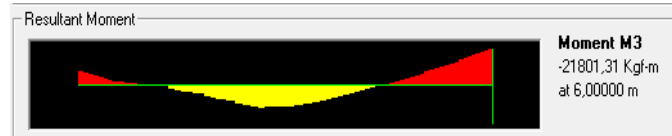
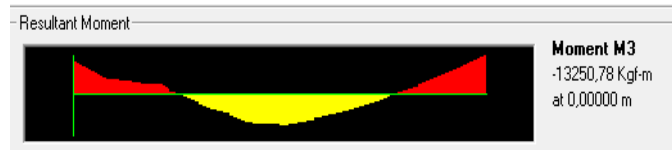


Gambar 7. 5 Diagram torsi pada balok

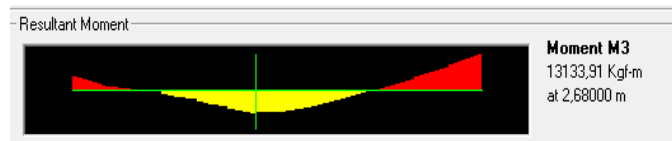
$$\text{Kombinasi } 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,3\text{Ex} + 1,0\text{Ey}$$

$$\text{Momen torsi} = 47.566.300 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 7. 6 Diagram momen (-) pada tumpuan kiri dan kanan akibat gravitasi dan gempa



Gambar 7. 7 Diagram momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa

$$\text{Kombinasi } 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$\text{Momen tumpuan kiri} = 132.507.800 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen tumpuan kanan} = 218.013.100 \text{ Nmm}$$

Kombinasi 1,2 DL + 1LL + 1Ex + 0,3Ey
 Momen lapangan = 131.339.100 Nmm
Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 7. 8 Diagram geser pada tumpuan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 ,Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom Gaya geser terfaktor $V_u = 105.644,8 \text{ N}$

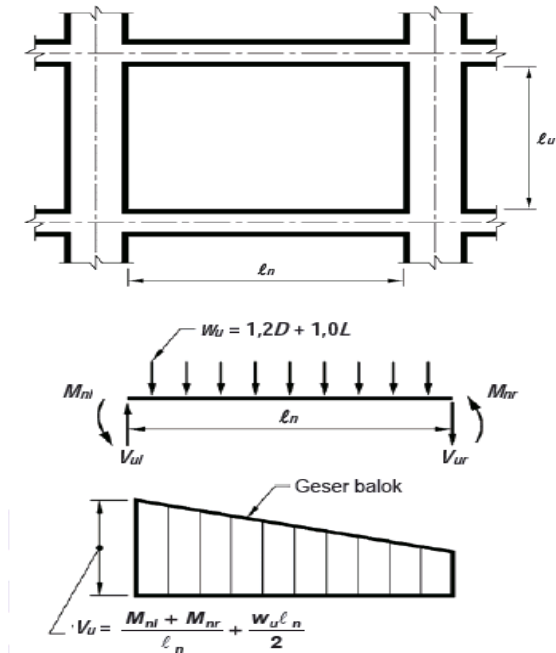
7.2.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g x f_c'}{10} = \frac{350 x 500 x 30}{10} = 525.000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D+1L+Ex+0,3Ey pada komponen struktur sebesar 41.307,17 N < 525.000 N.

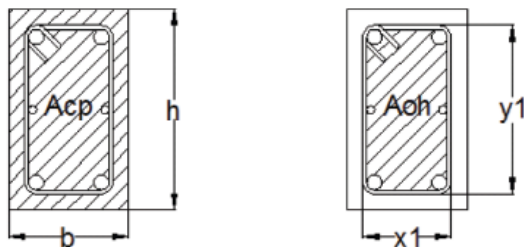
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 7. 9 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 35/50



Gambar 7. 10 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 350 \times 500 \\ &= 175.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1.700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (350\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (500\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\ &= 106.600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(350 - 2 \cdot 40 - 10) + (500 - 2 \cdot 40 - 10)] \\ &= 1.340 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.2.4 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

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

$$Tu = 47.566.300 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{47566300}{0.75} \\
 &= 63.142.245 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 144.502 \text{ N}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right) \\
 &= 6.142.245 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ max} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right) \\
 &= 24.420.975 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

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

$T_{u_{\min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$

$6.142.245 \text{ Nmm} < 47.566.300 \text{ Nmm} \rightarrow$ (**memerlukan tulangan puntir**)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

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

$$\sqrt{\left(\frac{144.502}{350 \times 439}\right)^2 + \left(\frac{47.566.300 \times 1340}{1,7 \times 106.600}\right)^2}$$

$$\leq \phi \left(\frac{0,16 \times \sqrt{30} \times 350 \times 439}{350 \times 439} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

$$3,431 \leq 4,272 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } Ao &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 106.600 \\ &= 90.610 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times A_o \times At \times F_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{63.421.733}{2 \times 90610 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 1,458 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned}Al &= 1,458 \times 1340 \times \left(\frac{240}{400}\right) \cot^2 45 \\ &= 1.172,403 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Al_{\min} &= \frac{0,42x\sqrt{f'c'}xAc_p}{F_y} - \left(\frac{At}{s}\right) Ph \frac{F_{yt}}{F_y} \\ &= \frac{0,42x\sqrt{30}x175.000}{400} - 1,458 \times 1.340 \frac{240}{400} \\ &= -165,962 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dengan } \frac{At}{s} \text{ tidak boleh kurang dari : } 0,175 \frac{bw}{f_{yt}} \\ 0,175 \frac{350}{240} = 0,255\end{aligned}$$

Maka nilai $\frac{At}{s} > 0,255 \rightarrow$ (memenuhi)

Kontrol :

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\min}$ maka gunakan Al_{\min}

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\min}$ maka gunakan Al_{perlu}

$1.172,403 \text{ mm}^2 \geq -165,962 \text{ mm}^2$ (maka gunakan Al_{perlu})

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar $1.172,40 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{1.172,40}{4} = 293,100 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :
 pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok
 pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 586,200 m²

pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2x \frac{Al}{4} = 2x \frac{1.172,403}{4} = 586,200 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{586,200}{0,25 \pi 16^2}$$

$$= 2,916 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D16

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} As &= n \times \text{Luasan } D \text{ puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang \geq As perlu

$$804,25 \text{ mm}^2 \geq 586,20 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 4D16.

TUMPUAN KANAN		TUMPUAN KIRI		LAPANGAN	
DIMENSI BALOK	350 X 500	DIMENSI BALOK	350 X 500	DIMENSI BALOK	350 X 500
TULANGAN ATAS	5 - D22	TULANGAN ATAS	4 - D22	TULANGAN ATAS	2 - D22
TULANGAN BAWAH	3 - D22	TULANGAN BAWAH	2 - D22	TULANGAN BAWAH	4 - D22
TULANGAN TORSI	4 - D16	TULANGAN TORSI	4 - D16	TULANGAN TORSI	4 - D16
SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 150

Gambar 7. 11 Penulangan Penampang Balok 35/50 (Frame 250)

7.2.5 Perhitungan Penulangan Lentur

7.2.5.1 Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
 $1,2 D + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 439 \\
 &= 263 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times Xb \\
 &= 0,75 \times 263 \\
 &= 198 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= d' \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 100 \\ &= 758.625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{758.625}{400} \\ &= 1.897 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 1.897 \times 30 \times \left(439 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 300.794.813 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 132.507.800 \text{ Nmm}$$

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

$$Mn = \frac{132.507.800}{0,8}$$

$$Mn = 147.230.889 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 147.230.889 \text{ Nmm} - 300.794.813 \text{ Nmm} \\
 &= -153.5639240 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -153.5639240 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,0542$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0406$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{132.507.800}{0,8} = 147.230.889 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{147.230.889}{350 \times 439^2} \\
 &= 2,1827 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,22)}{400}} \right] \\
 &= 0,0057
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\
 0,0035 &< 0,0057 < 0,0406
 \end{aligned}$$

(Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0057 \times 350 \times 439 \\
 &= 878 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 293 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}
 As \text{ perlu} &= 878 + 293 \\
 &= 1.171 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\
 &= \frac{1171}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\
 &= 3,1 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 1520,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\
 1520,53 \text{ mm}^2 &> 1171 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,30 As \\
 &= 0,30 \times 1171 \\
 &= 644 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{Lentur}} \\
 &= \frac{644}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\
 &= 1,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760,27 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 703 \text{ mm}^2 &> 760,27 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1} \\
 &\text{lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1} \\
 &= 54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{syarat}} \\
 54 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2-1}$$

$$= 206 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$206 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1521 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 761 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+)

$$\geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$761 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1521 \text{ mm}^2$$

$$761 \text{ mm}^2 \geq 507 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik 4D22 = 1521 mm²

As pakai tulangan tekan 2D22 = 761 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1521 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 68 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1521 \times 400 \times \left(439 - \frac{68}{2} \right)$$

$$= 246.372.064 \text{ Nmm}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

246.372.064 Nmm > 147.230.889 Nmm (**memenuhi**)

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (35/50) As 3 (D-E) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 4D22

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D22

7.2.5.2 Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi

:

$$1,2 D + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 439$$

$$= 263 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 263 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 100 \\ &= 758.625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{758.625}{400} \\ &= 1.897 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\ &= 1.897 \times 30 \times \left(739 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 300.794.813 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 218.013.100 \text{ Nmm}$$

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

$$Mn = \frac{218.013.100}{0,8}$$

$$Mn = 242.236.778 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 242.236.778 \text{ Nmm} - 300.794.813 \text{ Nmm}$$

$$= -58.558.035 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -58.558.035 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{218.013.100}{0,8} = 242.236.778 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{242.236.778}{350 \times 439^2}$$

$$= 3,591 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (3,59)}{400}} \right] \\ &= 0,0097 \\ \text{Syarat : } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0097 < 0,024 \quad (\text{Oke})\end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0097 \times 350 \times 439 \\ &= 1.493 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 293 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}As \text{ perlu} &= 1.493 + 293 \\ &= 1.786 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan } D_{Lentur}} \\ &= \frac{1.786}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\ &= 4,7 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.901 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1.901 \text{ mm}^2 > 1.786 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} \text{As}' &= 0,3 \text{ As} \\ &= 0,3 \times 1.786 \\ &= 829 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{\text{Lentur}}} \\ &= \frac{829}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\ &= 2,2 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.141 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1.141 \text{ mm}^2 > 918 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5D22 dan tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$= 35 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

35 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1}$$

$$= 92 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

92 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur \text{ tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan (-)}}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.901 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.141 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1.141 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1.901 \text{ mm}^2$$

$$1.141 \text{ mm}^2 \geq 633,67 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 5D22} = 1.901 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3D22} = 1.141 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.901 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 85 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = \text{As} \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} &= 1.901 \times 400 \times \left(439 - \frac{85}{2} \right) \\ &= 301.483.636 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka: } Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$$

$$301.483.636 \text{ Nmm} > 242.236.778 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (35/50) As 3 (D-E) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 3D22

7.2.5.3 Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,6 LL$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 439 \\ &= 263 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 263 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 100 \\ &= 758.625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\
 &= \frac{758.625}{400} \\
 &= 1.897 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\
 &= 1.897 \times 30 \times \left(439 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 300.794.813 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 Mu_{\text{lapangan}} &= 131.339.100 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\
 Mn &= \frac{131.339.100}{0,8} \\
 Mn &= 145.932.333 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$Mns = Mn - Mnc$

$$= 145.932.333 \text{ Nmm} - 300.794.813 \text{ Nmm}$$

$$= -154.862.479 \text{ Nmm}$$

Maka,

$Mns < 0$

$Mns = -154.862.479 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{131.339.100}{0,8} = 145.932.333 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{145.932.333}{350 \times 439^2} = 2,16 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (2,16)}{400}} \right]$$

$$= 0,0057$$

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

$$0,0035 < 0,0057 < 0,024 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0057 \times 400 \times 739$$

$$= 870 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar.

$$A_t = 293 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 870 + 293 \\ &= 1.163 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{\text{Lentur}}} \\ &= \frac{1.163}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\ &= 3,1 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.521 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1.521 \text{ mm}^2 &> 1.163 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} \text{As}' &= 0,30 \text{ As} \\ &= 0,3 \times 1.163 \\ &= 642 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{\text{Lentur}}} \\ &= \frac{642}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\ &= 1,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 761 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$761 \text{ mm}^2 > 700 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1}$$

lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D22

dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 54 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$54 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 206 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$206 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.521 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas D lentur} \\ &= 1 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 761 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 761 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 1.521 \text{ mm}^2 \\ 761 \text{ mm}^2 &\geq 507 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } 4D22 = 1.521 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D22 = 761 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(1.521 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \end{aligned}$$

$$a = 68 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_{pasang} &= As \cdot Fy \cdot x \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1.521 \times 400 \times \left(439 - \frac{68}{2} \right) \\
 &= 246.372.064 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{pasang} > Mn_{perlu}$
 $246.372.064 \text{ Nmm} > 145.932.333 \text{ Nmm}$
(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1(35/50) As 3(D-E) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 4D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis F
Lapis 1 : 2D22

7.2.6 Pehitungan Penulangan Geser

Tipe balok	: B1 (35/50)
Dimensi balok (b balok)	: 350 mm
Dimensi balok (h balok)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (35/50) As 3 (D-E) , didapat :	

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 4D22 = 1.521 mm²

As pakai tulangan tekan 2D22 = 761 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.521 x 400)}{0,85 x 30 x 350} \right)$$

$$a = 68 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.521 \times 400 \times \left(439 - \frac{68}{2} \right)$$

$$= 246.372.064 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 5D22 = 1.901 mm²

As pakai tulangan tekan 3D22 = 1.141 mm²

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tekan } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(1.901 x 400)}{0,85 x 30 x 350} \right)$$

$$a = 85 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.901 \times 400 \times \left(439 - \frac{85}{2} \right)$$

$$= 301.483.636 \text{ Nmm}$$

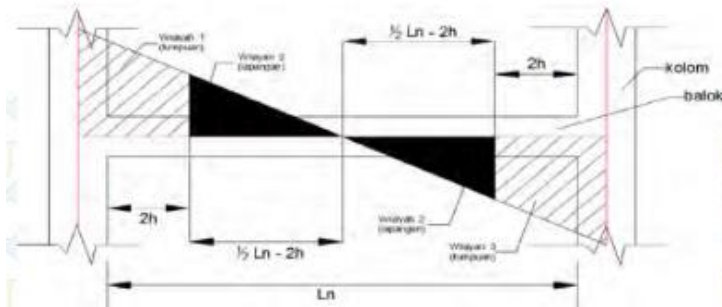
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1Ex + 0,3Ey , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 144.502 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (*daerah tumpuan*), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3**)
- Wilayah 2 (*daerah lapangan*), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 7. 12 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa (**SNI 03-2847-2013**).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (*memenuhi*)}$$

Kuat Geser Beton [SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 439 \\ &= 143.068 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 350 \times 439 \\ &= 50.705 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 350 \times 439 \\ &= 277.720 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 439 \\ &= 555.440 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok*1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)*

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

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 bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{218.013.100 + 147.230.889}{5500} + 144.502 \\ &= 215.314 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$215.314 \text{ N} \geq 53.650 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $53.650 \text{ N} \leq 215.314 \text{ N} \geq 107.301 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser
 Minimum

$107.301 \text{ N} \leq 215.314 \text{ N} \geq 145.329 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan
 Geser

$145.329 \text{ N} \leq 215.314 \text{ N} \leq 315.591 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan
 Geser

$315.591 \geq 215.314 \text{ N} \geq 523.881 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset} \\ &= \frac{144.502 - 0,75 \times 215.314}{0,75} \\ &= 144.018 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{157,88 \times 240 \times 439}{144.018} \\
 &= 115 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi*

$\frac{4}{}$

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$100 < \frac{439}{2}$$

$$100 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$100 < 600$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\varnothing 10 - 60 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

- a. $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $100\text{mm} < \frac{439\text{ mm}}{4}$
 $100\text{ mm} < 110\text{ mm}$ (Memenuhi)
- b. $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$
 $100\text{ mm} < 8(22\text{ mm})$
 $100\text{ mm} < 176\text{ mm}$ (Memenuhi)
- c. $S_{pakai} < 24 D_{senggang}$
 $100\text{ mm} < 24(10\text{ mm})$
 $100\text{ mm} < 240\text{ mm}$ (Memenuhi)
- d. $S_{pakai} < 300\text{ mm}$
 $100\text{ mm} < 300\text{ mm}$ (Memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1(35/50) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang $\emptyset 10 - 100\text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ell_n - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ell_n}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times \left(\frac{1}{2} \ell_n - 2h\right)}{\frac{1}{2} \ell_n}$$

$$= \frac{215.314 \times \left(\frac{1}{2} \times 5500 - 2 \times 500\right)}{\frac{1}{2} \times 5500}$$

$$= 137.018\text{ N}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser
 $137.018\text{ N} \geq 53.650\text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $53.650 \text{ N} \leq 137.018 \text{ N} \geq 107.301 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$107.301 \text{ N} \leq 137.018 \text{ N} \leq 145.329 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$145.329 \text{ N} \geq 137.018 \text{ N} \leq 315.591 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$315.591 \text{ N} \geq 137.018 \text{ N} \leq 523.881 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3** (tulangan geser minimum)

$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 50.705 \text{ N}$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s_{\min}}} \\ &= \frac{157,88 \times 240 \times 439}{50.705} \\ &= 326 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

3

$$S_{max} < \frac{d}{2}$$

$$200\text{mm} < \frac{439}{2}$$

$$200\text{mm} < 219,5\text{mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{max} < 600$$

$$200\text{mm} < 600\text{mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) Sengkang harus dispasikan tidak melebihi dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan)

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(3)]

$$a) S_{pakai} < \frac{d}{2}$$

$$200 \text{ mm} < \frac{439 \text{ mm}}{2}$$

$$200 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1(35/50) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

7.2.7 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 25 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1,3 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

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 tabel pada pasal 12.2* sebagai berikut

Tabel 7. 1 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,

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

ψ_t = faktor lokasi penulangan

ψ_e = faktor pelapis

Tabel 7. 2 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

Ψ_f faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
Ψ_e faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned}\lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \sqrt{30}} \right] 22 \\ &= 945,09 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

$$945,09 > 300 \text{ mm}$$

(memenuhi)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda d \\ &= \frac{1786}{1901} \times 945,09 \\ &= 887,91 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}\end{aligned}$$

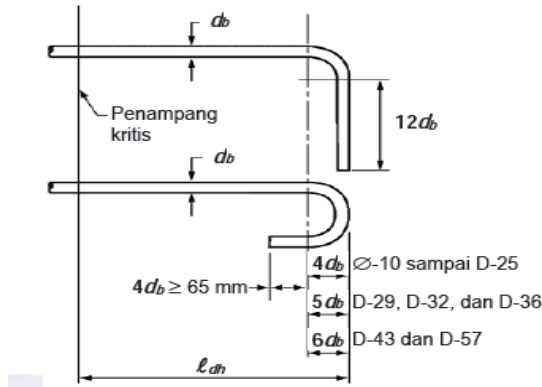
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 900 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.5*

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[*SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1*]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 7. 13 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 x 1 x 400}{1 x \sqrt{30}} x 22$$

$$\lambda_{dh} = 385,6 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$385,6 > 150 \text{ mm}$$

(memenuhi)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda_{hb} \\ &= \frac{1786}{1901} \times 385,6 \\ &= 362,27 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 400 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Peyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 fy}{\lambda \sqrt{f'_c}} db \qquad \lambda_{dc} = (0,043 fy) db$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \times 22 \qquad \lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 22$$

$$\lambda_{dc} = 385,6 \text{ mm} \qquad \lambda_{dc} = 378,4 \text{ mm}$$

Diambil 385,6 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As' \text{ perlu}}{As' \text{ pasang}} \lambda_d \\ &= \frac{829}{1141} \times 385,6 \\ &= 280,16 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

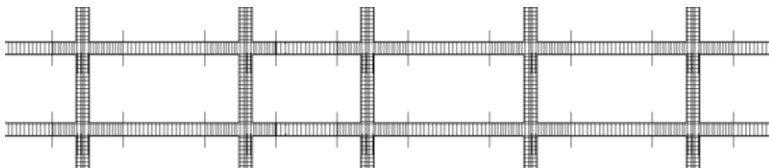
Panjang kait

$$4db + 4db = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm}$$

Gambar penulangan

TUMPUAN KANAN		TUMPUAN KIRI		LAPANGAN	
DIMENSI BALOK	350 X 500	DIMENSI BALOK	350 X 500	DIMENSI BALOK	350 X 500
TULANGAN ATAS	5 - D22	TULANGAN ATAS	4 - D22	TULANGAN ATAS	2 - D22
TULANGAN BAWAH	3 - D22	TULANGAN BAWAH	2 - D22	TULANGAN BAWAH	4 - D22
TULANGAN TORSI	4 - D16	TULANGAN TORSI	4 - D16	TULANGAN TORSI	4 - D16
SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 150

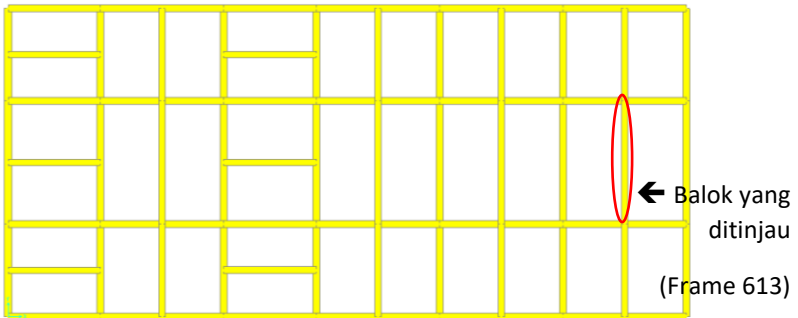
Gambar 7. 14 Gambar Penulangan Balok



Gambar 7. 15 Gambar Detail Penulangan Balok

7.3 Desain Struktur Balok Anak

Pada perhitungan penulangan balok anak, balok anak yang dihitung secara manual adalah balok anak yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Untuk perhitungan penulangan balok yang lain akan digunakan tabel pada program bantu Microsoft Excel.



Gambar 7. 16 Balok anak yang ditinjau dalam Perhitungan

7.3.1 Data Perencanaan

Tipe balok	: BA
As balok	: J (2-3)
Bentang balok (L balok)	: 6000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 400 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3000 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 12 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Jarak spasi tulangan antar lapis (s)	: 25 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]

Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]

Faktor β_1 : 0,85

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Maka, tinggi efektif balok :

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

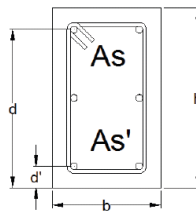
$$= 400 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 16)$$

$$= 342 \text{ mm}$$

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

$$= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 16)$$

$$= 58 \text{ mm}$$



Gambar 7. 17 Tinggi Efektif Balok

7.3.2 Gaya yang Terjadi Pada Balok Anak

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

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

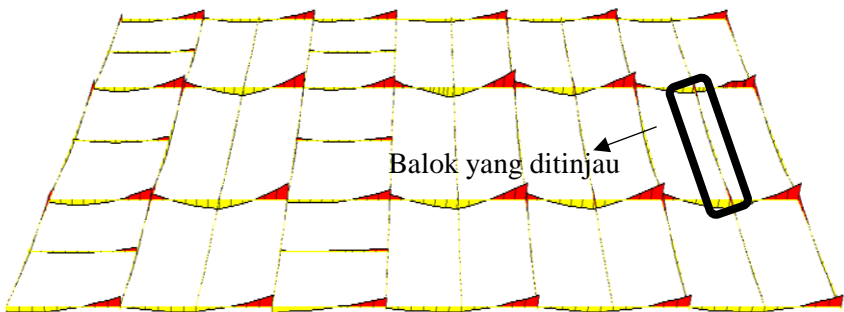
Kombinasi pembebanan non-gempa:

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

Kombinasi pembebanan gempa:

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

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



Gambar 7. 18 Diagram Momen Lentur Balok Anak It.1

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 7. 19 Diagram torsi pada balok

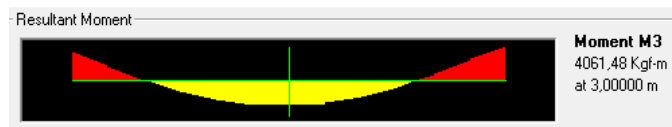
$$\text{Kombinasi } 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,3\text{Ex} + 1,0\text{Ey}$$

$$\text{Momen torsi} = 1.739.800 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 7. 20 Diagram momen (-) pada tumpuan kiri dan kanan akibat gravitasi dan gempa



Gambar 7. 21 Diagram momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa

$$\text{Kombinasi } 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$\text{Momen tumpuan kiri} = 48.303.000 \text{ Nmm}$$

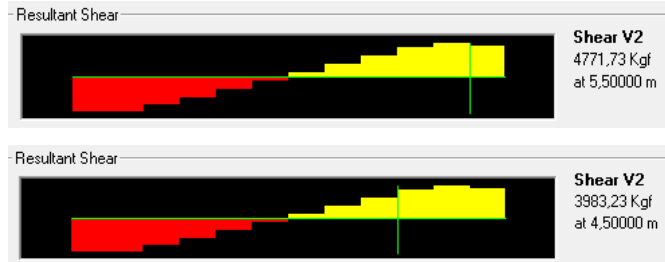
$$\text{Kombinasi } 1,2 \text{ DL} + 1\text{LL} + 1\text{Ex} + 0,3\text{Ey}$$

$$\text{Momen tumpuan kanan} = 60.667.000 \text{ Nmm}$$

Kombinasi 1,2 DL + 1,6LL

Momen lapangan = 40.614.800 Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 7. 22 Diagram geser pada tumpuan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 , V_u diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 cm dari as kolom
Gaya geser terfaktor $V_u = 47.717.300 \text{ N}$

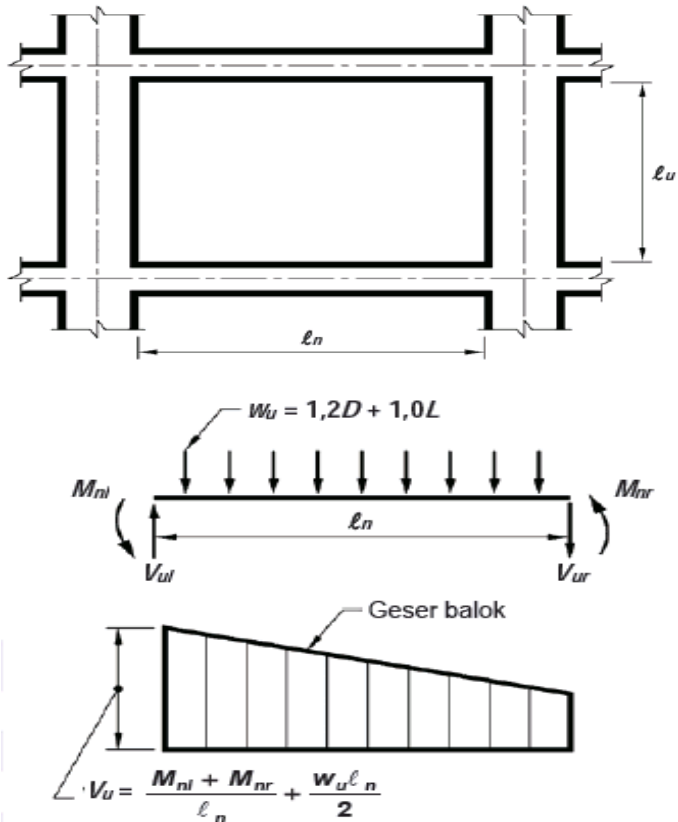
7.3.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g x f_c'}{10} = \frac{300 x 400 x 30}{10} = 360.000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D+1L+Ex+0,3Ey pada komponen struktur sebesar 20.659,77 N < 360.000 N.

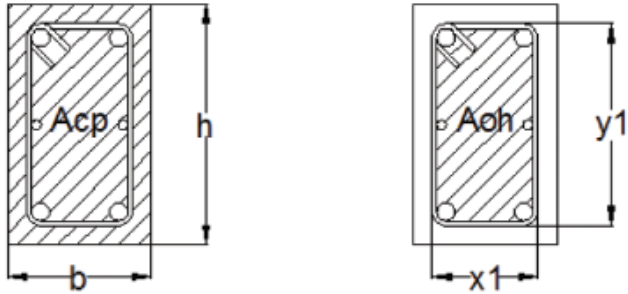
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 7. 23 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 7. 24 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 300 \times 400 \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (300\text{mm} - (2 \cdot 2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (400\text{mm} - (2 \cdot 2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\ &= 65.100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(300 - 2 \cdot 2.40 - 10) + (400 - 2 \cdot 2.40 - 10)] \\ &= 1.040 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.3.4 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

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

$T_u = 1.739.800 \text{ Nmm}$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{1.739.800}{0,75} \\ &= 2.319.733 \text{ N} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$V_u = 47.717 \text{ N}$

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

$$\begin{aligned} T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{120.000^2}{1.400} \right) \\ &= 3.506.989 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{120.000^2}{1.400} \right) \\ &= 13.943.451 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

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

$Tu_{\min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{\min} < Tu$

3.506.989 Nmm > 1.739.800 Nmm \rightarrow (**Tidak memerlukan tulangan puntir**)

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4 penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang. *Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 2D10.*

B2 M LANTAI 2			
TUMPUAN		LAPANGAN	
DIMENSI BALOK	300 X 400	DIMENSI BALOK	300 X 400
TULANGAN ATAS	3 - D13	TULANGAN ATAS	2 - D13
TULANGAN BAWAH	2 - D13	TULANGAN BAWAH	2 - D13
TULANGAN TORSI	2 - D10	TULANGAN TORSI	2 - D10
SENGKANG	$\phi 10 - 150$	SENGKANG	$\phi 10 - 200$

Gambar 7. 25 Penulangan Awal Penampang-penampang Kritis Balok 30/40 (Frame 613)

7.3.5 Perhitungan Penulangan Lentur

7.3.5.1 Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
 $1,2 D + 1,6 LL$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 205 \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{650.250}{400} \\ &= 1.626 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1.626 \times 30 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 194.749.875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 48.303.000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{48.303.000}{0,8}$$

$$M_n = 53.670.000 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ → maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ → maka tidak perlu tulangan lentur tekan

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

$$= 53.670.000 \text{ Nmm} - 194.749.875 \text{ Nmm}$$

$$= -141.079.875 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -141.079.875 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho b = \frac{0,85 f c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,0542$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b = 0,0406$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{132.507.800}{0,8} = 147.230.889 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{53.670.000}{300 \times 342^2} = 1,53 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,53)}{400}} \right]$$

$$= 0,0039$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0039 < 0,0406 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0039 \times 300 \times 342$$

$$= 405 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{405}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 2,0 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As_{pasang} = n_{pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$603 \text{ mm}^2 > 405 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,35 tulangan tarik

$As' = 0,35 As$

$= 0,35 \times 405$

$= 142 \text{ mm}^2$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{142}{142}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2}{142}$$

$$= 0,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$402 \text{ mm}^2 > 142 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 76 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$76 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 168 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat}$$

$$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times$

M lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 603 \text{ mm}^2$$

$$402 \text{ mm}^2 \geq 201 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 3D16 = 603 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai tulangan tekan } 2D16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(603 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 32 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 603 \times 400 \times \left(342 - \frac{32}{2} \right)$$

$$= 78.741.175 \text{ Nmm}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$78.741.175 \text{ Nmm} > 53.670.000 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) As J

(2-3) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D16

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D16

7.3.5.2 Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,0 LL + 1,0Ex + 0,3Ey$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 205 \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{650.250}{400} \\ &= 1.626 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1.626 \times 30 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 194.749.875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{u_{\text{tumpuan}}} &= 60.667.000 \text{ Nmm} \\
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 M_n &= \frac{60.667.000}{0,8} \\
 M_n &= 67.407.778 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ → maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ → maka tidak perlu tulangan lentur tekan

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

$$= 60.667.000 \text{ Nmm} - 194.789.875 \text{ Nmm}$$

$$= -127.342.097 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0$

$M_{ns} = -127.342.097 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho b = \frac{0,85 f c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b = 0,024$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{66.667.000}{0,8} = 67.407.778 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{67.407.778}{300 \times 342^2} = 1,921 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,92)}{400}} \right]$$

$$= 0,0050$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0035 < 0,0050 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0050 \times 300 \times 342$$

$$= 513 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{513}{\text{Luasan } D_{Lentur}}$$

$$= \frac{513}{1.786}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2}{}$$

$$= 2,5 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$A_s \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$603 \text{ mm}^2 > 513 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$As' = 0,3 As$

$= 0,3 \times 513$

$= 154 \text{ mm}^2$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan } D_{Lentur}}$$

$$= \frac{154}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 0,8 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$402 \text{ mm}^2 > 154 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$ → susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$ → susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 76 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

76 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 168 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

168 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur \text{ tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times$

$M_{lentur \text{ tumpuan (-)}}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 402 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 603 \text{ mm}^2 \\ 402 \text{ mm}^2 &\geq 201 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 3D16 = 603 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai tulangan tekan } 2D16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(603 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \end{aligned}$$

$$a = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603 \times 400 \times \left(342 - \frac{32}{2} \right) \\ &= 78.741.175 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka: } Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$$

$$78.741.175 \text{ Nmm} > 67.407.778 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) As

J (2-3) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D16

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D16

7.3.5.3 Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,6 LL + 0,5W$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 342 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 205 \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 650.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{650.250}{400} \\ &= 1.626 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1.626 \times 30 \times \left(342 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 194.749.875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u \text{ lapangan} = 40.614.800 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{40.614.800}{0,8}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 45.127.556 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ → maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ → maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 45.127.556 \text{ Nmm} - 194.749.875 \text{ Nmm} \\
 &= -149.622.319 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -149.662.319 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho b = \frac{0,85 f' c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{40.614.800}{0,8} = 45.172.556 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{45.172.556}{300 \times 342^2} = 1,29 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,29)}{400}} \right]$$

$$= 0,0033$$

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

$$0,0035 > 0,0033 < 0,024 \quad (\text{Tidak Oke})$$

Karena $\rho_{min} < \rho$, maka ρ diperbesar 30%. Sehingga

$$\rho = 0,0044$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0044 \times 300 \times 342$$

$$= 450 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}}$$

$$= \frac{450}{0,25 \times \pi \times 16^2}$$

$$= 2,2 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 603 \text{ mm}^2 &> 450 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,35 tulangan tarik

$$\begin{aligned} \text{As}' &= 0,3 \text{ As} \\ &= 0,3 \times 450 \\ &= 135 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{\text{Lentur}}} \\ &= \frac{135}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 0,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 402 \text{ mm}^2 &> 135 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D16
dan tulangan tekan 1 lapis 2D16

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1} \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

76 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

168 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 402 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 603 \text{ mm}^2 \\ 402 \text{ mm}^2 &\geq 201 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} \text{As pakai tulangan tarik 3D16} &= 603 \text{ mm}^2 \\ \text{As pakai tulangan tekan 2D16} &= 402 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(\text{As pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(603 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \end{aligned}$$

$$a = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603 \times 400 \times \left(342 - \frac{32}{2} \right) \\ &= 246.372.064 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka: } M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}}$$

$$78.741.175 \text{ Nmm} > 45.127.556 \text{ Nmm} \quad \text{(memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok BA (30/40) As J(2-3) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis

Lapis 1 : 3D16

- Tulangan Tekan 1 Lapis F

Lapis 1 : 2D16

7.3.6 Pehitungan Penulangan Geser

Tipe balok	: BA (30/40)
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BA (30/40) As J (2-3) , didapat :	

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D16 = 603 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(603 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603 \times 400 \times \left(342 - \frac{32}{2} \right) \\ &= 78.741.175 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D16 = 603 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(603 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 32 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 603 \times 400 \times \left(342 - \frac{32}{2} \right)$$

$$= 78.741.175 \text{ Nmm}$$

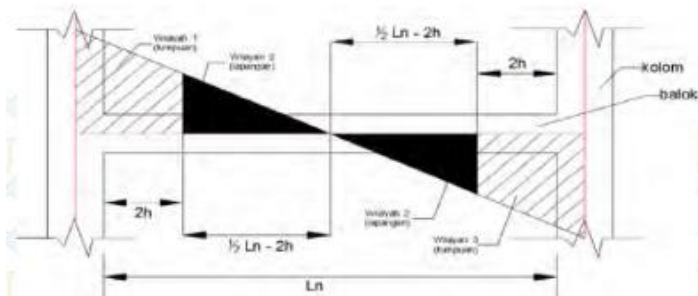
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1Ex + 0,3Ey , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 47.717 \text{ N}$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 7. 26 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa (*SNI 03-2847-2013*).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (*memenuhi*)}$$

Kuat Geser Beton [*SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1*]

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,17 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ &= 95.534 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 x b x d \\ &= 0,33 x 300 x 342 \\ &= 33.858 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,33 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ &= 185.448 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0,66 x \sqrt{f_c'} x b x d \\ &= 0,66 x \sqrt{30} x 300 x 342 \\ &= 370.896 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok1. Pada Wilayah 1 dan 3 (*Daerah Tumpuan*)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u x \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

[*SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3*]

Dimana :

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 bersih balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{67.407.778 + 53.670.000}{5500} + 47.717$$

$$= 69.731 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$69.731 \text{ N} \geq 35.825 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$35.825 \text{ N} \leq 69.731 \text{ N} \leq 71.650 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$71.650 \text{ N} \geq 69.731 \text{ N} \leq 97.044 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$97.044 \text{ N} \geq 69.731 \text{ N} \leq 210.736 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$210.736 \text{ N} \geq 69.731 \text{ N} \leq 349.882 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2**.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= V_s \text{ min} \\
 &= 33.858 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\
 &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\
 &= 157,88 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{157,88 \times 240 \times 342}{33.858} \\
 &= 381 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 50 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi*

4

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$50 < \frac{439}{2}$$

$$50 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$50 < 600 \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 50$ mm.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

- a. $S \text{ pakai} < \frac{d}{4}$
 $50 \text{ mm} < \frac{439 \text{ mm}}{4}$
 $50 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$ (Memenuhi)
- b. $S \text{ pakai} < 8 D \text{ lentur}$
 $50 \text{ mm} < 8(22 \text{ mm})$
 $50 \text{ mm} < 176 \text{ mm}$ (Memenuhi)
- c. $S \text{ pakai} < 24 D \text{ sengkang}$
 $50 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $50 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$ (Memenuhi)
- d. $S \text{ pakai} < 300 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (Memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BA(30/40) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang $\emptyset 10 - 50 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ell n - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ell n}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times \left(\frac{1}{2} \ell n - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ell n}$$

$$= \frac{69.731 \times \left(\frac{1}{2} \times 5500 - 2 \times 400 \right)}{\frac{1}{2} \times 5500} = 49.446 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser
 $49.446 \text{ N} \geq 35.825 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $35.825 \text{ N} \leq 49.446 \text{ N} \leq 71.650 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser
 Minimum

$71.650 \text{ N} \leq 49.446 \text{ N} \leq 97.044 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan
 Geser

$97.044 \text{ N} \geq 49.446 \text{ N} \leq 210.736 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan
 Geser

$210.736 \text{ N} \geq 49.446 \text{ N} \leq 349.822 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2&3** (tulangan geser minimum)

$$V_{s \text{ perlu}} = V_{s \text{ min}} = 33.585 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ min}}} \\ &= \frac{157,88 \times 240 \times 342}{33.585} \\ &= 381 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi
3

$$S_{max} < \frac{d}{2}$$

$$100\text{mm} < \frac{439}{2}$$

$$100\text{mm} < 219,5\text{mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{max} < 600$$

$$100\text{mm} < 600\text{mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan)

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

$$a. S_{pakai} < \frac{d}{2}$$

$$100 \text{ mm} < \frac{439 \text{ mm}}{2}$$

$$100 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BA(30/40) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

7.3.7 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 16 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1,3 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

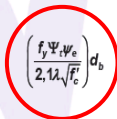
Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12*.

- 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 tabel pada pasal 12.2* sebagai berikut

Tabel 7. 3 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	 $\left(\frac{f_y \psi_s \psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_s \psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \psi_s \psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_s \psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana,

λd = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

Ψ_t = faktor lokasi penulangan

ψ_e = faktor pelapis

Tabel 7. 4 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

Ψ_t faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
ψ_e faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned}\lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \sqrt{30}} \right] 16 \\ &= 1417,63 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

$$556,42 > 300 \text{ mm}$$

memenuhi

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda d \\ &= \frac{513}{603} \times 556,42 \\ &= 473,37 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

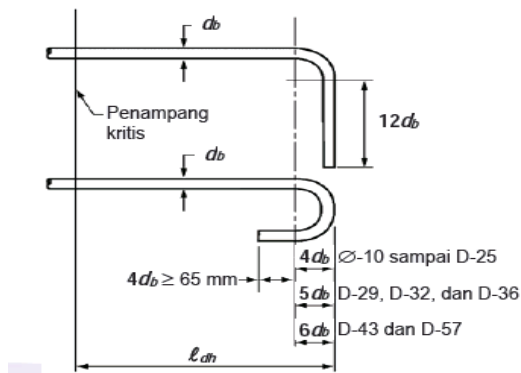
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 500 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / db$ dengan ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 7. 27 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \psi_e Fy}{\lambda \sqrt{f'_c}} x db$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 x 1 x 400}{1 x \sqrt{30}} x 16$$

$$\lambda_{dh} = 280,43 \text{ mm}$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$
 $280,43 > 150 \text{ mm}$ **(memenuhi)**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda_{hb}$$

$$= \frac{513}{603} x 280,43$$

$$= 238,57 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3
 Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 fy}{\lambda \sqrt{f'_c}} db \qquad \lambda_{dc} = (0,043 fy) db$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 x 400}{1 \sqrt{30}} x 16 \qquad \lambda_{dc} = (0,043 x 400) x 16$$

$$\lambda_{dc} = 280,43 \text{ mm} \qquad \lambda_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

Diambil 280,43 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As'_{perlu}}{As'_{pasang}} \lambda d \\ &= \frac{154}{402} \times 280,43 \\ &= 107,43 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

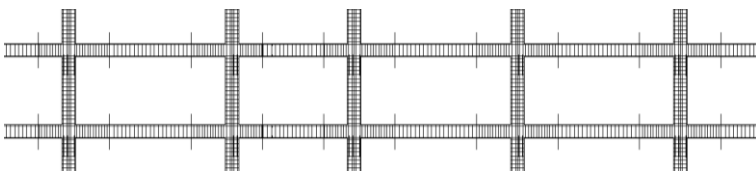
Panjang kait

$$4db + 4db = 4(16) + 4(16) = 128 \text{ mm}$$

Gambar penulangan

B2 M LANTAI 2			
TUMPUAN		LAPANGAN	
DIMENSI BALOK	300 X 400	DIMENSI BALOK	300 X 400
TULANGAN ATAS	3 - D13	TULANGAN ATAS	2 - D13
TULANGAN BAWAH	2 - D13	TULANGAN BAWAH	2 - D13
TULANGAN TORSI	2 - D10	TULANGAN TORSI	2 - D10
SENGKANG	φ10 - 150	SENGKANG	φ10 - 200

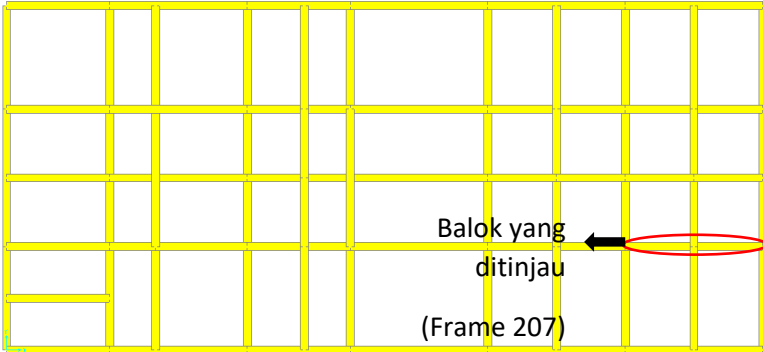
Gambar 7. 28 Gambar Penulangan Balok



Gambar 7. 29 Gambar Detail Penulangan Balok

7.4 Desain Struktur Sloof

Pada perhitungan penulangan sloof, sloof yang dihitung secara manual adalah sloof yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Untuk perhitungan penulangan sloof yang lain akan digunakan tabel pada program bantu Microsoft Excel.



Gambar 7. 30 Sloof yang Ditinjau dalam Perhitungan

7.4.1 Data Perencanaan

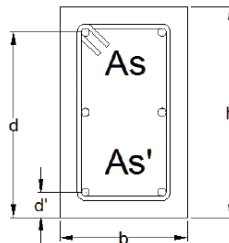
Tipe	: Sloof
As sloof	: 2 (I-K)
Bentang balok (L sloof)	: 6000 mm
Dimensi balok (b sloof)	: 350 mm
Dimensi balok (h sloof)	: 500 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3000 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 500 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm

Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 19 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Jarak spasi tulangan antar lapis (s)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

Maka, tinggi efektif sloof :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 500 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 7. 31 Tinggi Efektif Balok

7.4.2 Gaya yang Terjadi Pada Sloof

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan sloof.

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

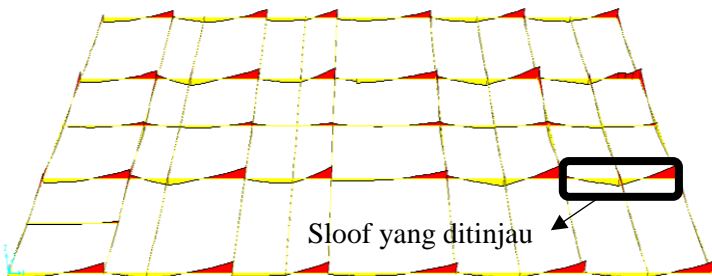
Kombinasi pembebanan non-gempa:

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

Kombinasi pembebanan gempa:

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

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



Gambar 7. 32 Diagram Momen Lentur Sloof

Hasil Output Diagram Torsi

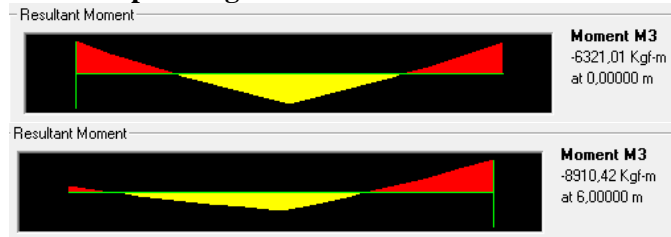


Gambar 7. 33 Diagram torsi pada sloof

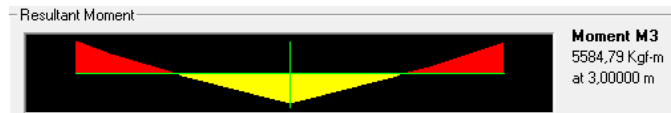
Kombinasi 0,9 DL + 0,3Ex + 1,0Ey

Momen torsi = 3.856.300 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 7. 34 Diagram momen (-) pada tumpuan kiri dan kanan akibat gravitasi dan gempa



Gambar 7. 35 Diagram momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa

Kombinasi 1,4 DL

Momen tumpuan kiri = 63.210.100 Nmm

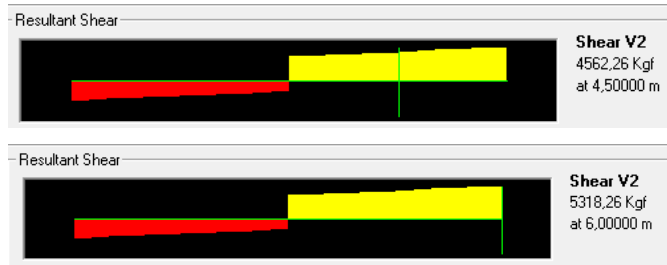
Kombinasi 1,2 DL + 1LL + 1Ex + 0,3Ey

Momen tumpuan kanan = 89.104.200 Nmm

Kombinasi 1,4 DL

Momen lapangan = 55.947.900 Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 7. 36 Diagram geser pada tumpuan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2 , V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom Gaya geser terfaktor $V_u = 53.182.600 \text{ N}$

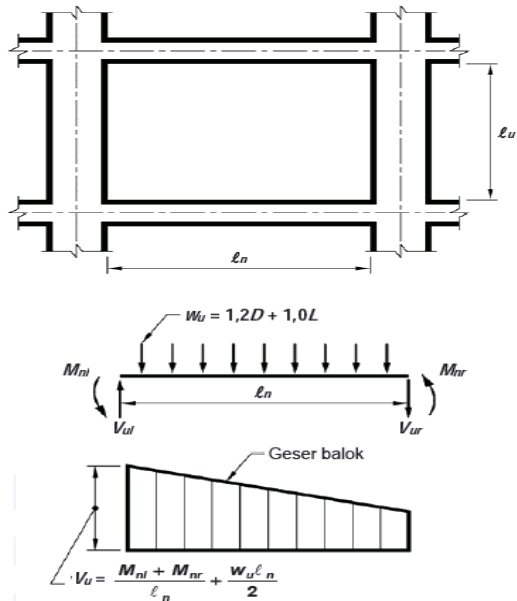
7.4.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Sloof harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g x f_c'}{10} = \frac{350 x 500 x 30}{10} = 525.000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D+1L+Ex+0,3Ey pada komponen struktur sebesar $59.850 \text{ N} < 525.000 \text{ N}$.

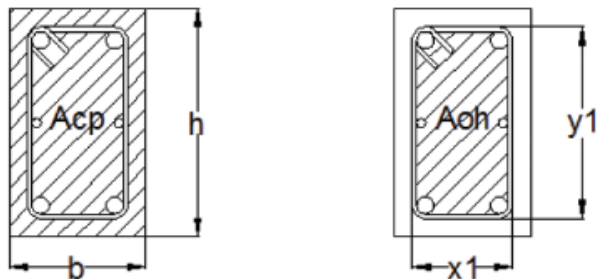
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 7. 37 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 35/50



Gambar 7. 38 Luasan A_{cp} dan P_{cp}

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{sloof} \times h_{sloof} \\ &= 350 \times 500 \\ &= 175.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{sloof} + h_{sloof}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1.700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{sloof} - \\ &\quad 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (350\text{mm} - (2 \cdot 240\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (500\text{mm} - \\ &\quad (2 \cdot 240\text{mm}) - 10\text{mm}) \\ &= 106.600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{sloof} - \\ &\quad 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(350 - 2 \cdot 240 - 10) + (500 - 2 \cdot 240 - 10)] \\ &= 1.340 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.4.4 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 0,9 DL + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Tu = 3.856.300 Nmm

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{3.856.300}{0.75} \\
 &= 5.141.733 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 53.183 \text{ N}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right) \\
 &= 6.142.245 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ max} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right) \\
 &= 24.420.975 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

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

$T_{u_{\min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$

$6.142.245 \text{ Nmm} > 3.856.300 \text{ Nmm} \rightarrow$ **(memerlukan tulangan puntir)**

Jadi, penampang sloof memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

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

$$\sqrt{\left(\frac{53.183}{350 \times 439}\right)^2 + \left(\frac{3.856.300 \times 1340}{1,7 \times 106.600}\right)^2}$$

$$\leq \phi \left(\frac{0,16 \times \sqrt{30} \times 350 \times 439}{350 \times 439} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

$$0,4365 \leq 4,2722 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, penampang sloof mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi$$

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

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

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

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 106.600 \\ &= 90.610 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times A_o \times At \times F_{yt} \times \cot \emptyset} \\ &= \frac{5.141.733}{2 \times 90.610 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 0,118 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned}Al &= 0,118 \times 1340 \times \left(\frac{240}{400}\right) \cot^2 45 \\ &= 95,049 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Al_{\min} &= \frac{0,42x\sqrt{f'c'}xAc_p}{F_y} - \left(\frac{At}{s}\right)Ph \frac{F_{yt}}{F_y} \\ &= \frac{0,42x\sqrt{30}x175.000}{400} - 0,118 \times 1.340 \frac{240}{400} \\ &= 911,391 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan $\frac{At}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{bw}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{350}{240} = 0,255$$

Maka nilai $\frac{At}{s} < 0,255 \rightarrow$ (tidak memenuhi)

Kontrol :

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\min}$ maka gunakan Al_{\min}

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\min}$ maka gunakan Al_{perlu}

$95,049 \text{ mm}^2 \leq 911,391 \text{ mm}^2$ (maka gunakan Al_{\min})

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar $911,391 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang sloof

$$\frac{Al}{4} = \frac{911,391}{4} = 227,848 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik sloof

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan sloof

Maka masing sisi atas dan bawah sloof mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 586,200 m²

pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2x \frac{Al}{4} = 2x \frac{911,391}{4} = 455,696 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{455,696}{0,25 \pi 19^2}$$

$$= 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 2D19

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} As &= n \times \text{Luasan } D \text{ puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 19^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang \geq As perlu

$$566,77 \text{ mm}^2 \geq 455,696 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 2D19.

SI LANTAI 1					
TUMPUAN KANAN		TUMPUAN KIRI		LAPANGAN	
DIMENSI SLOOF	350 X 500	DIMENSI SLOOF	350 X 500	DIMENSI SLOOF	350 X 500
TULANGAN ATAS	2 - D19	TULANGAN ATAS	2 - D19	TULANGAN ATAS	2 - D19
TULANGAN BAWAH	2 - D19	TULANGAN BAWAH	2 - D19	TULANGAN BAWAH	2 - D19
TULANGAN TORSI	2 - D10	TULANGAN TORSI	2 - D10	TULANGAN TORSI	2 - D10
SENGKANG	Ø10 - 100	SENGKANG	Ø10 - 100	SENGKANG	Ø10 - 150

Gambar 7. 39 Penulangan Awal Penampang-penampang Kritis Sloof 35/50 (Frame 250)

7.4.5 Perhitungan Penulangan Lentur

7.4.5.1 Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
 $1,2 D + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 440,5 \\
 &= 264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times Xb \\
 &= 0,75 \times 264 \\
 &= 198 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 100 \\ &= 758.625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{758.625}{400} \\ &= 1.897 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\ &= 1.897 \times 400 \times \left(440,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 301.932.750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} Mu_{tumpuan} &= 63.210.100 \text{ Nmm} \\ Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\ &= \frac{63.210.100}{0,8} \\ Mn &= 70.233.444 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

 $Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan $Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 70.233.444 \text{ Nmm} - 301.932.750 \text{ Nmm}$$

$$= -231.699.306 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -231.699.306 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,0542$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0406$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi} = \frac{63.210.100}{0,8} = 70.233.444 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{70.233.444}{350 \times 440,5^2} = 1,034 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,034)}{400}} \right]$$

$$= 0,0026$$

Syarat : $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$
 $0,0035 > 0,0026 < 0,0406$ (Tidak Oke)
 Karena $\rho < \rho \text{ min}$, maka digunakan $\rho \text{ min} = 0,0035$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 350 \times 439 \\ &= 540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 227 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= 878 + 227 \\ &= 767 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{767}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 2,7 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 851 \text{ mm}^2 &> 767 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 767 \\ &= 230 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D_{Lentur}} \\ &= \frac{230}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 0,8 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 567 \text{ mm}^2 &> 230 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 96,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$$96,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat}}$$

$$212 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada sloof

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang \times luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 851 \text{ mm}^2$$

As' pasang = n pasang \times luasan D lentur

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 851 \text{ mm}^2$$

$$567 \text{ mm}^2 \geq 283,67 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } 3D19 = 851 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D19 = 567 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{(851 \times 400)}{(0,85 \times 30 \times 350)} \right)$$

$$a = 38 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = \text{As} \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 851 \times 400 \times \left(439 - \frac{38}{2} \right)$$

$$= 143.443.266 \text{ Nmm}$$

$$\text{Maka: } Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$$

$$143.443.266 \text{ Nmm} > 70.233.444 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur sloof memanjang (35/50) As 2 (I-K) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D19

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D19

7.4.5.2 Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,0 LL + 1,0 Ex + 0,3 Ey$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 439 \\
 &= 264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times Xb \\
 &= 0,75 \times 264 \\
 &= 198 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= d' \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 100 \\
 &= 758.625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\
 &= \frac{758.625}{400} \\
 &= 1.897 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\
 &= 1.897 \times 30 \times \left(440,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 301.932.750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 89.104.200 \text{ Nmm}$$

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

$$Mn = \frac{89.104.200}{0,8}$$

$$Mn = 99.004.667 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$Mns = Mn - Mnc$

$$= 99.004.667 \text{ Nmm} - 301.093.750 \text{ Nmm}$$

$$= -202.928.083 \text{ Nmm}$$

Maka,

$Mns < 0$

$Mns = -202.928.083 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{Fy} + \frac{600}{600 + Fy} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,024$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{89.104.200}{0,8} = 99.004.667 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{99.004.667}{350 \times 440,5^2}$$

$$= 1,46 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (1,46)}{400}} \right]$$

$$= 0,0038$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0038 < 0,024$ (Oke)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0038 \times 350 \times 440,5$$

$$= 579 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik , maka luasannya pun bertambah besar.

$$At = 228 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$As \text{ perlu} = 579 + 228$$

$$= 807 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan } D_{Lentur}}$$

$$= \frac{807}{0,25 \times \pi \times 19^2}$$

$$= 2,8 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 851 \text{ mm}^2 &> 807 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} \text{As}' &= 0,3 \text{ As} \\ &= 0,3 \times 807 \\ &= 242 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan } D_{\text{Lentur}}} \\ &= \frac{242}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 567 \text{ mm}^2 &> 242 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1} \\ &\text{lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 96,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

96,5 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 212 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

212 mm \geq 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{lentur \text{ tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan (-)}}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 851 \text{ mm}^2$$

$$567 \text{ mm}^2 \geq 283,67 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 3D19} = 851 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D19} = 567 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(\text{As pakai tul tarik} \times Fy)}{0,85 \times f'c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(851 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \end{aligned}$$

$$a = 38 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= \text{As} \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 851 \times 400 \times \left(440,5 - \frac{38}{2} \right) \\ &= 143.443.266 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$

$$143.443.266 \text{ Nmm} > 99.004.667 \text{ Nmm} \quad \text{(memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur sloof (35/50) As 2 (I-K) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D19

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D19

7.4.5.3 Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2 D + 1,6 LL$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 440,5 \\ &= 264 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} Xmax &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 264 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} Xmin &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 100 \\ &= 758.625 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{758.625}{400} \\ &= 1.897 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times Fy \times \left(d - \frac{\beta 1 \times Xr}{2} \right) \\
 &= 1.897 \times 30 \times \left(440,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 301.932.750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 \text{Mu}_{\text{lapangan}} &= 55.847.900 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\
 &= \frac{55.847.900}{0,8} \\
 Mn &= 62.053.222 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 62.053.222 \text{ Nmm} - 301.932.750 \text{ Nmm}$$

$$= -239.879.528 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -239.879.528 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b = 0,024$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{55.847.900}{0,8} = 62.053.222 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{62.053.222}{350 \times 440,5^2} = 0,91 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,69) \cdot (0,91)}{400}} \right]$$

$$= 0,0023$$

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

$$0,0035 > 0,0023 < 0,024 \quad (\text{Tidak Oke})$$

Karena $\rho < \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{min} = 0,0035$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 400 \times 440,5$$

$$= 540 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar.

$$A_t = 227 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$A_s \text{ perlu} = 540 + 227$$

$$= 767 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As\ perlu}{Luasan\ D_{Lentur}} \\
 &= \frac{767}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 2,7\ buah \approx 3\ buah
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 As\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 851\ mm^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

851 mm² > 767 mm² (**memenuhi**)Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,3\ As \\
 &= 0,3 \times 767 \\
 &= 230\ mm^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As\ perlu}{Luasan\ D_{Lentur}} \\
 &= \frac{230}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 0,8\ buah \approx 2\ buah
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 As\ pasang &= n\ pasang \times luasan\ D\ lentur \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567\ mm^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

567 mm² > 700 mm² (**memenuhi**)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 96,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$96,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{tekan} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$212 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua

ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times$
 M lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 567 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} 851 \text{ mm}^2 \\ 761 \text{ mm}^2 &\geq 283,67 \text{ mm}^2 \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 3D19} = 851 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D19} = 567 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{(As pakai tul tarik} \times F_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(851 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \end{aligned}$$

$$a = 38 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= \text{As} \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1.521 \times 400 \times \left(440,5 - \frac{38}{2} \right) \\ &= 143.442.266 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $M_{n_{pasang}} > M_{n_{perlu}}$
 $143.442.266 \text{ Nmm} > 65.053.222 \text{ Nmm}$
(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof (35/50) As 2(I-K) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
 Lapis 1 : 3D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis F
 Lapis 1 : 2D19

7.4.6 Pehitungan Penulangan Geser

Tipe	: Sloof (35/50)
Dimensi balok (b sloof)	: 350 mm
Dimensi balok (h sloof)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada Sloof (35/50) As 2 (I-K) , didapat :	

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik 3D19} = 851 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D19} = 567 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(851 x 400)}{0,85 x 30 x 350} \right)$$

$$a = 38 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \cdot x \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 851 \times 400 \times \left(440,5 - \frac{38}{2} \right)$$

$$= 143.443.266 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 3D19 = 851 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai tulangan tekan } 2D19 = 567 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(As \text{ pakai tul tarik } x Fy)}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$= \left(\frac{(851 x 400)}{0,85 x 30 x 350} \right)$$

$$a = 38 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \cdot x \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 851 \times 400 \times \left(440,5 - \frac{38}{2} \right)$$

$$= 143.443.266 \text{ Nmm}$$

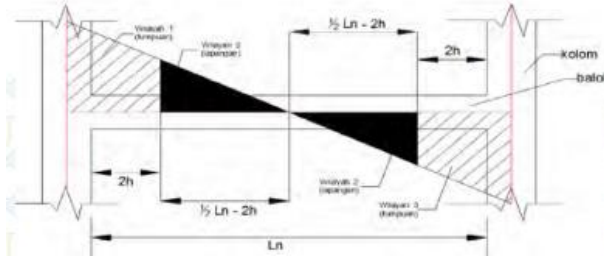
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1Ex + 0,3Ey , dari analisa SAP 2000 didapatkan :

$$\text{Gaya geser terfaktor } Vu = 53.183 \text{ N}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 7. 40 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa (SNI 03-2847-2013).

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton [SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 440,5 \\ &= 143.557 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 350 \times 440,5 \\ &= 50.878 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \max &= 0,33 x \sqrt{f'c'} x b x d \\
 &= 0,33 x \sqrt{30} x 350 x 440,5 \\
 &= 278.669 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_s \max &= 0,66 x \sqrt{f'c'} x b x d \\
 &= 0,66 x \sqrt{30} x 350 x 440,5 \\
 &= 557.338 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 Vu1 &= \frac{Mnr + Mnr}{\ell_n} + \frac{Wu x \ell_n}{2} \\
 Vu1 &= \frac{Mnr + Mnr}{\ell_n} + Vu
 \end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3]

Dimana :

$Vu1$ = Gaya geser pada muka perletakan

Mnl = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = Panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned}
 Vu1 &= \frac{99.004.667 + 70.233.444}{5500} + 53.183 \\
 &= 83.954 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 x \emptyset x Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$83.954 \text{ N} \geq 53.834 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 x \emptyset x Vc \leq Vu \leq \emptyset x Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$53.834 \text{ N} \leq 83.954 \text{ N} \leq 107.668 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$107.668 \text{ N} \geq 83.954 \text{ N} \leq 145.826 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$145.826 \text{ N} \geq 83.954 \text{ N} \leq 316.669 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$316.669 \text{ N} \geq 83.954 \text{ N} \leq 525.671 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2**.

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= V_s \text{ min} \\ &= 50.878 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,88 \times 240 \times 440,5}{144.018} \\ &= 326 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi

$\frac{4}{d}$

$$S_{max} < \frac{d}{2}$$

$$100 < \frac{439}{2}$$

$$1000 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{max} < 600$$

$$100 < 600 \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang dan
- 300 mm

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

a. $S_{pakai} < \frac{d}{4}$

$$100 \text{ mm} < \frac{439 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} < 110 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

b. $S_{pakai} < 8 D_{lentur}$

$$100 \text{ mm} < 8(22 \text{ mm})$$

$$100 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

c. $S_{pakai} < 24 D_{sengkang}$

$$100 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk sloof(35/50) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10 – 100 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ell_n - 2h} &= \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ell_n} \\ Vu2 &= \frac{Vu1x \left(\frac{1}{2} \ell_n - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ell_n} \\ &= \frac{83.954 \times \left(\frac{1}{2} \times 5500 - 2 \times 500 \right)}{\frac{1}{2} \times 5500} \\ &= 53.425 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$53.425 \text{ N} \geq 53.834 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$53.834 \text{ N} \geq 53.425 \text{ N} \geq 107.668 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Minimum

$107.668 \text{ N} \leq 53.425 \text{ N} \leq 145.826 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset (Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs_{\max}) \rightarrow$ Tulangan

Geser

$145.826 \text{ N} \geq 53.425 \text{ N} \leq 316.669 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 5

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 V_{s_{\max}}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$316.669 \text{ N} \geq 53.425 \text{ N} \leq 525.671 \text{ N}$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3** (tulangan geser minimum)

$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 50.878 \text{ N}$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ min}} \\ &= \frac{157,88 \times 240 \times 439}{50.705} \\ &= 326 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser (tulangan minimum)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 3**

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$200 \text{ mm} < \frac{439}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$.

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a) Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok (lapangan)

[SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)]

$$a. S_{pakai} < \frac{d}{2}$$

$$200 \text{ mm} < \frac{439 \text{ mm}}{2}$$

$$200 \text{ mm} < 219,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk sloof (35/50) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki.

7.4.7 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2; 12.3; dan 12.5 dimana perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai:

$$d_b = 19 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1,3 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

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 tabel pada pasal 12.2* sebagai berikut

Tabel 7. 5 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 λ_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,

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

Ψ_t = faktor lokasi penulangan

ψ_e = faktor pelapis

Tabel 7. 6 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

Ψ_f faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
Ψ_e faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned}\lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \sqrt{30}} \right] 19 \\ &= 660,74 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

$$660,74 > 300 \text{ mm}$$

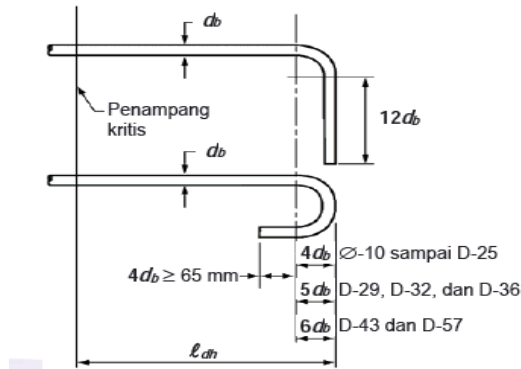
(memenuhi)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \lambda d \\ &= \frac{807}{851} \times 660,74 \\ &= 626,58 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik
700 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik
 Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.5*
 Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.
[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]
 Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 7. 41 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} x db$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 x 1 x 400}{1 x \sqrt{30}} x 19$$

$$\lambda_{dh} = 330,02 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$330,02 > 150 \text{ mm}$$

(memenuhi)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As\ perlu}{As\ pasang} \lambda_{hb} \\ &= \frac{807}{851} \times 330,02 \\ &= 312,96\text{ mm} \approx 400\text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 400 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(19) = 228\text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= \frac{0,24 fy}{\lambda \sqrt{f'_c}} db & \lambda_{dc} &= (0,043 fy) db \\ \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{30}} \times 19 & \lambda_{dc} &= (0,043 \times 400) \times 19 \\ \lambda_{dc} &= 333,02\text{ mm} & \lambda_{dc} &= 326,8\text{ mm}\end{aligned}$$

Diambil 333,02 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{As'\ perlu}{As'\ pasang} \lambda_d \\ &= \frac{242}{567} \times 333,02 \\ &= 142,14\text{ mm} \approx 200\text{ mm}\end{aligned}$$

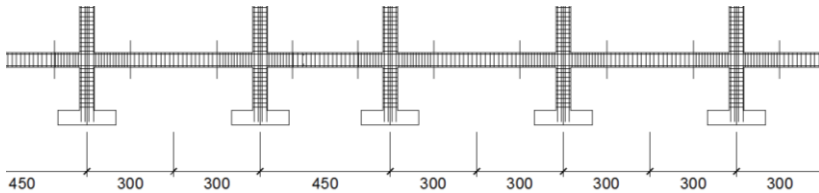
Panjang kait

$$4db + 4db = 4(19) + 4(19) = 152\text{ mm}$$

Gambar penulangan

S1 LANTAI 1					
TUMPUAN KANAN		TUMPUAN KIRI		LAPANGAN	
DIMENSI SLOOF	350 X 500	DIMENSI SLOOF	350 X 500	DIMENSI SLOOF	350 X 500
TULANGAN ATAS	2 · D19	TULANGAN ATAS	2 · D19	TULANGAN ATAS	2 · D19
TULANGAN BAWAH	2 · D19	TULANGAN BAWAH	2 · D19	TULANGAN BAWAH	2 · D19
TULANGAN TORSI	2 · D10	TULANGAN TORSI	2 · D10	TULANGAN TORSI	2 · D10
SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 150

Gambar 7. 42 Gambar Penulangan Sloof



Gambar 7. 43 Gambar Detail Penulangan Sloof

7.5 Desain Struktur Kolom

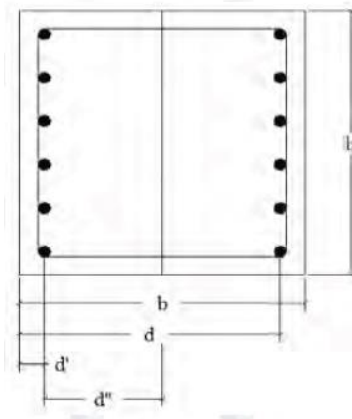
7.5.1 Data Perencanaan

- Tipe kolom : KS
- As kolom : D-3
- Frame : 130
- Tinggi kolom atas : 3000 mm
- Tinggi kolom bawah : 3000 mm
- Tinggi kolom Pendek : 1000 mm
- b kolom : 500 mm
- h kolom : 500 mm
- Kuat tekan beton (f_c') : 30 MPa
- Modulus elastisitas beton (E_c) : $4700 \sqrt{f_c'}$
- Modulus elastisitas baja (E_s) : 200.000 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_y geser) : 240 MPa
- Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) : 19 mm
- Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 10 mm
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1]
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3]
- Faktor β_1 : 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]
- Faktor reduksi kekuatan lentur (\emptyset) : 0,65
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2)]
- Faktor reduksi kekuatan geser (\emptyset) : 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

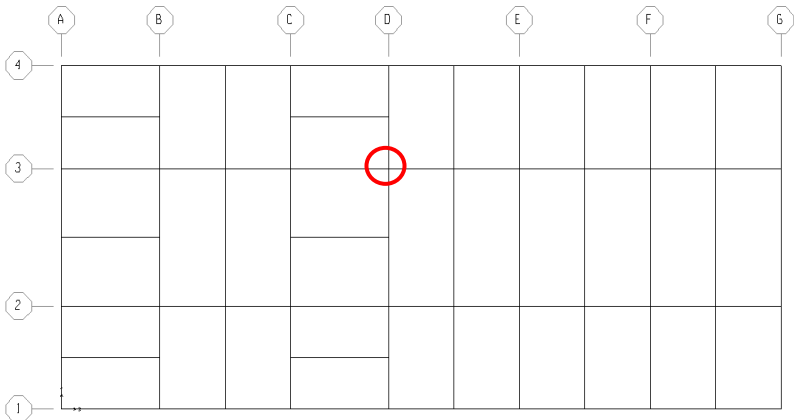
Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\
 &= 500 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\
 &= 440,5 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\
 &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 19) \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) - \frac{1}{2} (500) \\
 &= 190,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

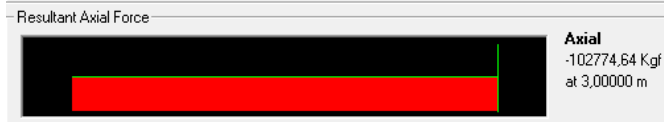


Gambar 7. 44 Tinggi Efektif Kolom



Gambar 7. 45 Denah Posisi Kolom K-1 (60/60) Pada As G - 9

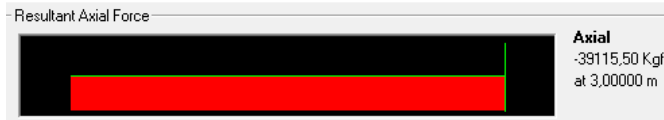
Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 130 didapatkan:
Gaya Aksial Kolom



$$P_{DL} \text{ (DEAD)} = 102774,4 \text{ N}$$

$$P_u \text{ (1,2 DL)} = 1,2 \times 102774,4 \text{ N}$$

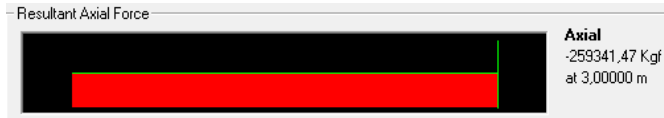
$$= 1.233.295,92 \text{ N}$$



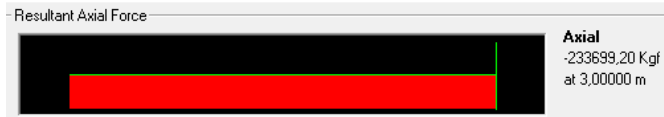
$$P_{DL} \text{ (LIVE)} = 391.155 \text{ N}$$

$$P_u \text{ (1,6 L)} = 1,6 \times 391.155 \text{ N}$$

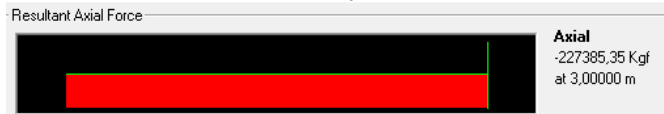
$$= 625.848 \text{ N}$$



$$P_u \text{ (1,2 DL + 1,6 LL)} = 2.593.414,7 \text{ N}$$



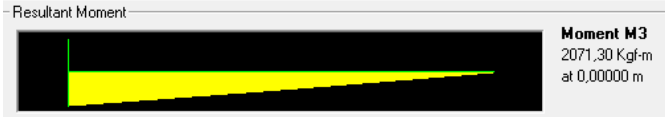
$$P_u \text{ (1,2D + 1,6L + Ex + 0,3Ey)} = 2.336.992 \text{ N}$$



$$P_u \text{ (1,2D + 1,6L + 0,3Ex + Ey)} = 2.273.853,5 \text{ N}$$

- Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL

Momen arah sumbu X



$$M_{2ns} = 20.713.000 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 467.900 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{2ns} = 33.762.900 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 26.331.900 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

M_{1ns} = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (SNI 03-2847-2013)

M_{2ns} = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (SNI 03-2847-2013)

Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X

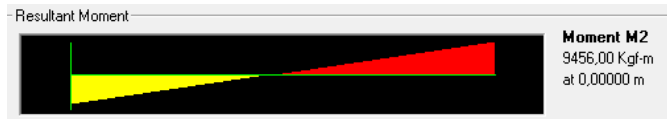


$$M_{2s} = 83.585.900 \text{ Nmm}$$

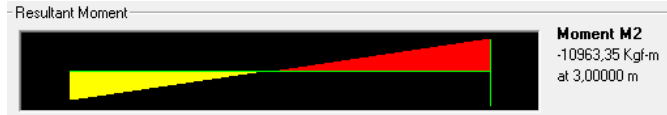


$$M_{1s} = 48.704.300 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{1s} = 94.560.000 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 109.633.500 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa

M1s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.
[SNI 03-2847-2013]

M2s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.
[SNI 03-2847-2013]

7.5.2 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen

struktur kolom tidak boleh lebih dari $Ag \cdot f_c' / 10$ dan Bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (Ketentuan Kolom untuk SRPMM).

$$\frac{Ag \cdot f_c'}{10}$$

$$2.593.414,7 \text{ N} \leq \frac{500.500.30}{10}$$

$$2.593.414,7 \text{ N} > 750.000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol kelangsingan kolom

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{1,2 \text{ PDL}}{1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}}$$

$$= \frac{1,2 \times 1027746,4 \text{ N}}{2.593.414,7}$$

$$= 0,761$$

Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk kolom (50/50)

$$Elk = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$I_g = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,7 \times 1/12 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}^3$$

$$= 3.645.833.333 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{30 \text{ MPa}}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned}
 Elk &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3.645.833.333}{1 + 0,761} \\
 &= 21.324.051.171.508 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok memanjang (35/50)

$$\begin{aligned}
 Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d} \\
 &(\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ig &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 350 \times (500)^3 \\
 &= 1.276.041.667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ec &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 1276041667}{1 + 0,761} \\
 &= 39394749291720,70 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok melintang (35/50)

$$\begin{aligned}
 Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d} \\
 &(\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ig &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 350 \times (500)^3 \\
 &= 1.276.041.667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ec &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Elb &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 1276041667}{1 + 0,761} \\
 &= 39394749291720,70 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Sloof memanjang (35/50)

$$Elb = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 350 \times (500)^3 \\
 &= 1.276.041.667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Elb &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 1276041667}{1 + 0,761} \\
 &= 39394749291720,70 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Sloof melintang (35/50)

$$Elb = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 350 \times (500)^3 \\
 &= 1.276.041.667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_b &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 1276041667}{1 + 0,761} \\
 &= 39394749291720,70 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

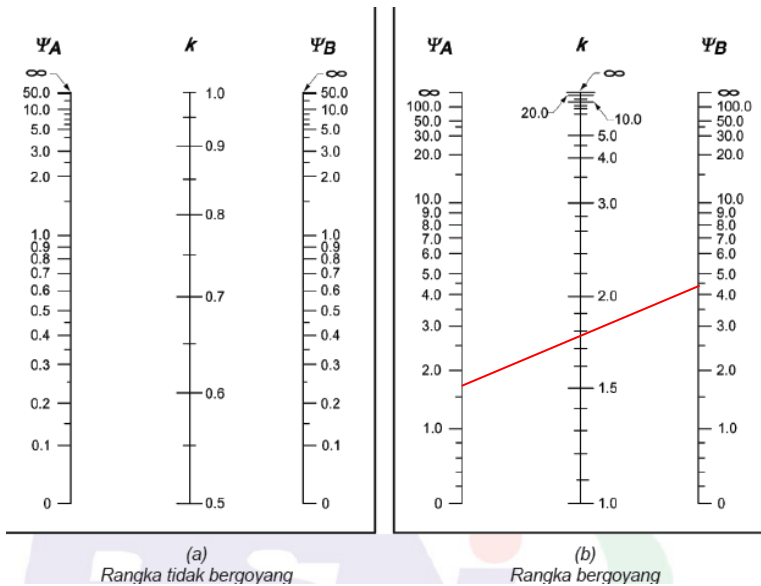
Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktro panjang tekuk (k)

Kekakuan Kolom atas

$$\begin{aligned}
 \Psi_a &= \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom\ atas}}{(EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1}} \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

Kekakuan Kolom bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi_b &= \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom\ bawah}}{(EI/L)_{S_1} + (EI/L)_{S_1} + (EI/L)_{S_1} + (EI/L)_{S_1}} \\
 &= 5
 \end{aligned}$$



Gambar 7. 46 Faktor Panjang Efektif (K)

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7
 Dari grafik alignment didapatkan $K = 1,85$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut SNI 2847-2013 psl 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 h$$

$$r = 0,3 \times 500$$

$$= 150 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

Nilai $\frac{k \times Lu}{r} \leq 22$; Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

Nilai $\frac{k \times Lu}{r} \geq 22$; Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom langsing)
 $\frac{1,85 \times 3000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \leq 22$
 $37 \geq 22 \rightarrow$ maka kolom termasuk kolom langsing (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10)

7.5.3 Cek Syarat "Strong Coloumn Weak Beam"

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.2.2, kekuatan kolom harus memenuhi nilai $\sum M_{nc} \geq 1,2 \cdot \sum M_{nb}$, dimana perhitungannya sebagai berikut:

a. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$:

- Menentukan lebar efektif balok

Lebar balok (bw) = 350 mm

Tinggi balok (hw) = 500 mm

Tebal plat (hf) = 120 mm

be = bw + 8 hf = 350 mm + 8 . 120 mm = 1310 mm

be = bw + 2 hw = 350 mm + 2 . 500 mm = 1350 mm

Dipilih nilai terkecil, maka: be = 1310 mm.

- Menghitung tinggi efektif

As tul. lentur atas balok = 5D22 = 1.901 mm²

As tul. lentur bawah balok = 3D22 = 1.141 mm²

Luas tul. atas (As tarik) = As tarik balok + As plat

$$= 1.901 \text{ mm}^2 + \left(2 \times 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \right)$$

$$= 2806,207 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{1.901 \cdot \left(40 + 10 + 22 + \frac{22}{2} \right) + \left(4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2 \right) \cdot \left(22 + \frac{10}{2} \right) + \left(4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2 \right) \left(120 - 22 - \frac{10}{2} \right)}{2806,207}$$

$$y = 72,66 \text{ mm}$$

$$d \text{ tekan} = h - y = 500 \text{ mm} - 72,66 \text{ mm} = 427,34 \text{ mm}$$

$$d \text{ tarik} = h - t - \text{senggang} - d. \text{lentur} - d. \text{lentur}/2$$

$$d \text{ tarik} = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 22\text{mm}/2$$

$$d \text{ tarik} = 417 \text{ mm}$$

- Menentukan M_{nb}^- dan M_{nb}^+

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.901\text{mm}^2 \cdot 400\text{Mpa}}{0,85 \cdot 30\text{Mpa} \cdot 350\text{mm}} = 85,2 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^- = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$M_{nb}^- = 1,25 \cdot 1.901\text{mm}^2 \cdot 400\text{Mpa} \cdot \left(427,34\text{mm} - \frac{85,2\text{mm}}{2} \right)$$

$$M_{nb}^- = 365.695.370 \text{ N.mm} = 365,695 \text{ kN.m}$$

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.141\text{mm}^2 \cdot 400\text{Mpa}}{0,85 \cdot 30\text{Mpa} \cdot 350\text{mm}} = 51,14 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^+ = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$M_{nb}^+ = 1,25 \cdot 1.141\text{mm}^2 \cdot 400\text{Mpa} \cdot \left(427,34\text{mm} - \frac{51,14\text{mm}}{2} \right)$$

$$M_{nb}^+ = 227.376.106,7 \text{ N.mm} = 227,376 \text{ kN.m}$$

Maka

$$\sum M_{nb} = M_{nb}^- + M_{nb}^+ = 365,695\text{kN.m} + 227,276\text{kN.m}$$

$$\sum M_{nb} = 592,971 \text{ kN.m}$$

$$1,2 \cdot \sum M_{nb} = 1,2 \times 591,971 \text{ kN.m} = 711,57 \text{ kN.m}$$

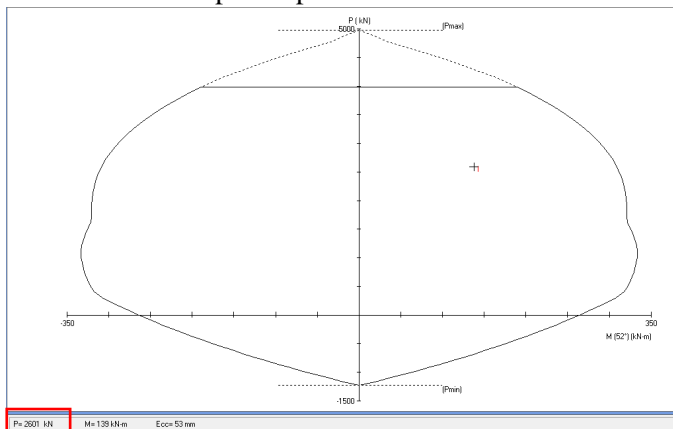
- b. Menentukan nilai $\sum M_{nc}$:

Untuk menentukan nilai M_{nc} , didapatkan dari diagram interaksi P-M antara kolom atas dengan kolom bawah (yang ditinjau) dengan program bantu *pcaColoumn*. Untuk gaya-gaya kolom atas yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$P \text{ maks} = 260.100 \text{ kg} = 2601 \text{ kN}$$

$$M \text{ maks} = 24.460 \text{ kg.m} = 244,6 \text{ kN.m}$$

Untuk diagram interaksi kolom bawah ditampilkan pada **Gambar 7.47** sedangkan untuk diagram interaksi kolom atas ditampilkan pada **Gambar 7.48**.



Gambar 7. 47 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Bawah

```

Material Properties:
=====
f'c = 30 MPa          fy = 400 MPa
Ec = 25743 MPa       Es = 200000 MPa
Ultimate strain = 0.003 mm/mm
Beta1 = 0.83245

Section:
=====
Rectangular: Width = 500 mm          Depth = 500 mm

Gross section area, Ag = 250000 mm^2
Ix = 5.20833e+009 mm^4              Iy = 5.20833e+009 mm^4
Xo = 0 mm                          Yo = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A615M
Size Diam (mm) Area (mm^2)         Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 10      10      71 # 13      13      129 # 16      16      199
# 19      19      284 # 22      22      367 # 25      25      510
# 29      29      645 # 32      32      819 # 36      36      1006
# 43      43      1452 # 57      57      2581

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #13 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 3408 mm^2 at 1.36%
12 #19 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No.      Pu      Mux      Muy      fMnx      fMny      fMn/Mu
-----
1      2593.0      84.0      109.0      188.5      244.6      2.244

*** Program completed as requested! ***

```

Gambar 7. 48 Output Diagram Interaksi P-M Kolom
Desain Atas

Dari gambar diatas, didapatkan nilai M_{nc} kolom bawah dan M_{nc} kolom atas yakni:

$$M_{nc} \text{ kolom bawah} = 2593,0 \text{ kN.m}$$

$$M_{nc} \text{ kolom atas} = 2601,0 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nc} = M_{nc_bawah} + M_{nc_atas}$$

$$\sum M_{nc} = 2593,0 \text{ kN.m} + 2601,0 \text{ kN.m} = \text{kN.m}$$

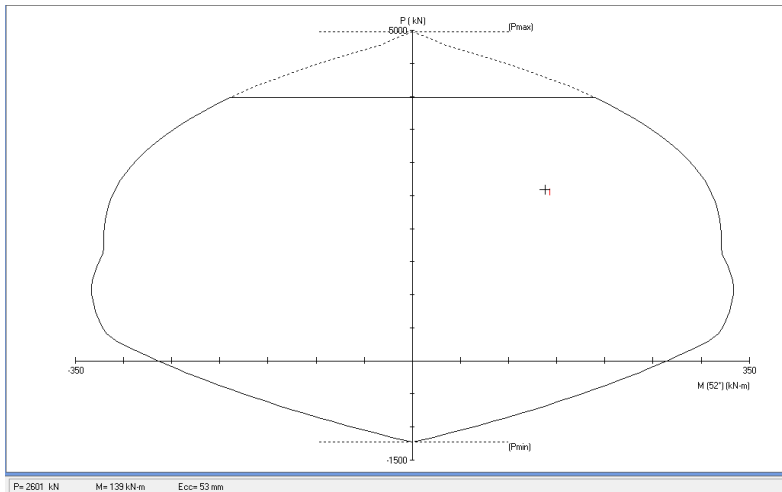
$$\text{Maka dilakukan cek syarat } \sum M_{nc} \geq 1,2 \cdot \sum M_{nb}$$

$$5194 \text{ kN.m} \geq 711,57 \text{ kN.m (OK!)}$$

Maka syarat “*strong coloumn weak beam*” telah terpenuhi.

7.5.4 Tentukan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal dibatasi yakni tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$. Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan memanjang, digunakan program bantu *pcaColumn* dan didapatkan sebagai berikut:



Gambar 7. 49 Diagram Interaksi pada Program *pcaColumn*

Didapatkan konfigurasi penulangan 12-D19 untuk menahan gaya-gaya yang ada pada kolom dengan $\rho = 1,36\%$ atau $0,0136$ sehingga nilai $0,01 < \rho < 0,06$ telah terpenuhi.

7.5.4.1 Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa $(1,2D+1L+1Ex + 0,3Ey)$

$M1s = 48.704.300 \text{ Nmm}$

$$M_{2s} = 83.585.900 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L :

$$M_{1ns} = 6856300 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 24700400 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai P_c (P kritis) Pada Kolom

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

$$P_c = \frac{9,86 \times 21.324.051.171.508}{(1,85 \times 3000)^2}$$

$$= 6.825.635 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$= 28 \times 6.825.635 \text{ N}$$

$$= 191.117.773 \text{ N}$$

$$P_u = 2.593.414,7 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$= 28 \times 2.593.414,7 \text{ N}$$

$$= 72.615.612 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

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

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{72.615.612}{0,75 \times 191.117.773}} \geq 1$$

$$\delta_s = 2,03 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 2,03$ dalam perhitungan perbesaran momen.

(SNI 2013-10.10.7.4)

Pembesaran momen :

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

$$= 6.856.300 \text{ Nmm} + (2,03 \times 48.704.300 \text{ Nmm})$$

$$= 105.568.470 \text{ Nmm}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 284.700.400 \text{ Nmm} + (2,03 \times 83.585.900 \text{ Nmm}) \\
 &= 194.109.376 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 194.109.376 \text{ Nmm}$$

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned}
 \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Øgeser}) - \text{Ølentur} \\
 &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - 19 \text{ mm} \\
 &= 440,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

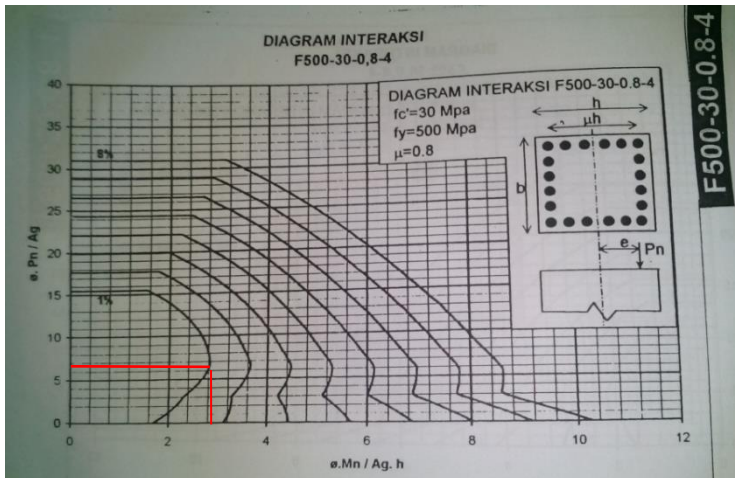
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{440,5}{500} = 0,881$$

Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\
 &= \frac{2.593.414,7 \text{ Nmm}}{500 \times 500} = 10,374 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi M_n}{A_g \cdot h} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\
 &= \frac{194.109.376 \text{ Nmm}}{500 \times (500)^2} = 1,553 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,01$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,01 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 2500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luas tulangan D19}} \\ n &= \frac{2500}{283,385} \\ &= 8,82 \approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \times (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) \\ &= 12 \times (1/4 \cdot \pi \cdot (19\text{mm})^2) \\ &= 3400,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 12D22 .

$$\begin{aligned} \% \text{ Tulangan Terpasang} &= \frac{A_{s_{\text{pasang}}}}{\frac{b \times h}{3400,62}} \times 100\% \\ &= \frac{3400,62}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 1,360\% < 8\% \quad (\text{ok}) \end{aligned}$$

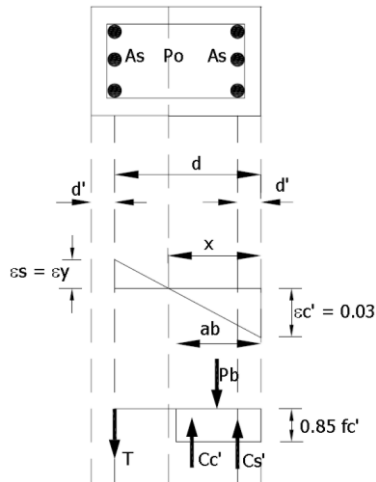
Mencari e perlu dan e min

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{194.109.376 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 298.629.809 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{2.593.414,7 \text{ N}}{0,65} \\ &= 3.989.869 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\ &= 298.629.809 \text{ Nmm} / 3.989.869 \text{ N} \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03h) \\ &= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\ &= 30,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek kondisi balance:

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} 19 = 59,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 - \frac{1}{2} 600 = 190,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \\ &= \frac{600}{(600 + 400 \text{ MPa})} 440,5 \text{ mm} \\ &= 264,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \cdot x_b \\ &= 224,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s'} &= A_{s'} (f_y - 0,85 \cdot f_{c'}) \\ &= 3.400,62 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\ &= 1.273.532 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 3.400,62 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1.360.248 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{c'} &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'} \cdot b \cdot x_b \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 264,3 \\ &= 2.864.351 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum V=0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.864.351 \text{ N} + 1.273.532 \text{ N} - 1.360.248 \text{ N}$$

$$P_b = 2.777.635 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 2.777.635 \text{ N} \left(440,5 - 190,5 - \frac{224,66}{2} \right) +$$

$$1.273.532 \text{ N} (440,5 - 190,5 - 59,5) + 1.360.248 \text{ N} \cdot$$

$$190,5$$

$$= 896.077.524 \text{ Nmm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 896.077.524 \text{ Nmm} / 2.777.635 \text{ N}$$

$$= 323 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{min} < e_{perlu} < e_{balanced}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

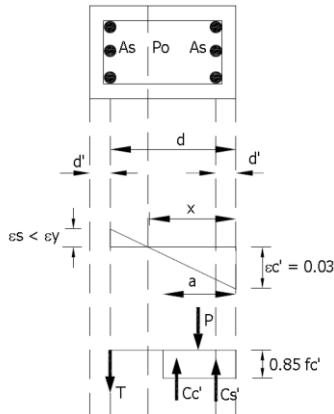
$e_{min} < e_{perlu} > e_{balanced}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{min} < e_{perlu} < e_b$

$30,24 \text{ mm} < 75 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat : $e < e_b$
 $75 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$ (ok)

Mencari nilai x

$$\begin{aligned} a &= 0,54 d \\ 0,85 \cdot x &= 0,54 \times 440,5 \text{ mm} \\ x &= 279,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

(*Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
 G.SALMON hal. 423*)

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot x \\ &= 0,85 \cdot 279,85 \\ &= 237,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= 0,00172 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 344,44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= f_y/E_s \\ &= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kontrol :} \quad \epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0,00172 &< 0,002 \text{ (ok)} \\ F_s &< F_y \\ 344,44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa (ok)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3400,62 \text{ mm}^2 (400\text{MPa} - 0,85 \cdot 30\text{MPa}) \\ &= 1.273.532 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 279,85 \\ &= 3.032.843 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 3400,62 \text{ mm}^2 \left(\frac{440,5}{279,85} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 1.171.325 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum V=0 \rightarrow P &= C_c' + C_s' - T \\ &= 3.032.843 + 1.273.532 - 1.171.325 \\ &= 3.135.050 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat :} \quad P &> P_b \\ 3.135.050 &> 2.777.635 \text{ N (ok)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= C_c' \left(d - d'' - \frac{a}{2}\right) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 3.032.843 \text{ N} \left(440,5 - 190,5 - \frac{237,87}{2}\right) + \\ &\quad 1.273.532 \text{ N} (440,5 - 190,5 - 59,5) + \\ &\quad 1.171.325 \text{ N} \cdot 190,5 \\ &= 863.244.733 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}M_{n\text{terpasang}} &> M_n \\ 863.244.733\text{Nmm} &> 298.629.809 \text{ Nmm (memenuhi)}\end{aligned}$$

7.5.4.2 Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah Y pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D+1L+0,3Ex + 1Ey)

$$M1s = 93.225.200 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 108.732.300 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L :

$$M1ns = 17.729.800 \text{ Nmm}$$

$$M2ns = 26.510.800 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai Pc (P kritis) Pada Kolom

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

$$P_c = \frac{9,86 \times 21.324.051.171.508}{(1,85 \times 3000^2)}$$

$$= 6.825.635 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$= 28 \times 6.825.635 \text{ N}$$

$$= 191.117.773 \text{ N}$$

$$P_u = 2.593.414,7 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$= 28 \times 2.593.414,7 \text{ N}$$

$$= 72.615.612 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

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

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{72.615.612}{0,75 \times 191.117.773}} \geq 1$$

$$\delta_s = 2,03 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 2,03$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 17.729.800 \text{ Nmm} + (2,03 \times 93.225.200 \text{ Nmm}) \\ &= 206.675.372 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 26.510.800 \text{ Nmm} + (2,03 \times 10.832.300 \text{ Nmm}) \\ &= 246.885.619 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 246.885.619 \text{ Nmm}$$

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{\O geser}) - \text{\O lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 19 \text{ mm} \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

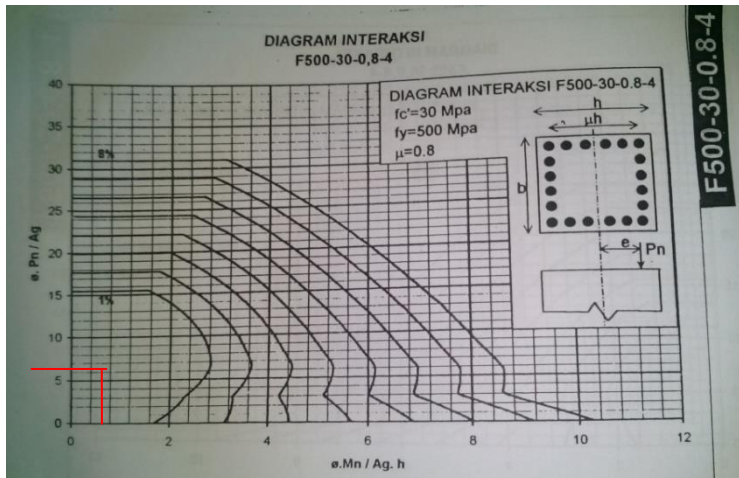
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{440,5}{500} = 0,881$$

Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned} \frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{259.314,7 \text{ Nmm}}{500 \times 500} = 10,37 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned} \frac{\phi M_n}{A_g \cdot h} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{246.885.619 \text{ Nmm}}{500 \times (500)^2} = 2,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,01$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,01 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 2500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 3400,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D19}} \\ n &= \frac{2500}{3400,62} \\ &= 8,82 \approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \times (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) \\ &= 12 \times (1/4 \cdot \pi \cdot (19\text{mm})^2) \\ &= 3400,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah Y menggunakan tulangan sebesar 10D22.

$$\begin{aligned} \text{Prosentase Tulangan Terpasa} &= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{\frac{b \times h}{3400,62}} \times 100\% \\ &= \frac{3400,62}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{246.885.619 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 379.824.030 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{2.593.414,7 \text{ N}}{0,65} \\ &= 3.989.869 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e \text{ perlu} &= M_u/P_u \\ &= 379.824.030 \text{ Nmm} / 3.989.869 \text{ N} \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e \text{ min} &= (15,24 + 0,03h) \\ &= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\ &= 30,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum V=0 \rightarrow P_b &= C_c' + C_s' - T \\ &= 2.864.351 \quad \text{N} + 1.273.532 \quad \text{N} - \\ & 1.360.248 \text{N} \\ &= 2.777.635 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_b &= P_b \times e_b \\ &= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 2.864.531 \quad \text{N} \left(440,5 - 190,5 - \frac{224,655}{2} \right) + \\ & 1.273.532 \quad \text{N} (440,5 - 190,5 - 59,5) + \\ & 1.360.248 \text{ N} \cdot 190,5 \\ &= 896.077.524 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_b &= M_b / P_b \\ &= 896.077.524 \text{ Nmm} / 2.777.635 \text{ N} \\ &= 323 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

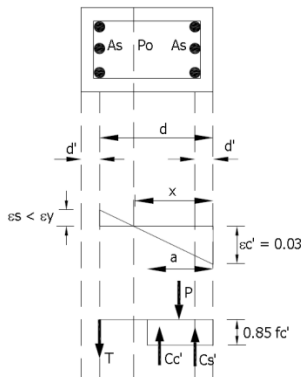
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$

$30,24 \text{ mm} < 95 \text{ mm} < 323 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat : $e < e_b$

$$95 \text{ mm} < 323 \text{ mm (ok)}$$

Mencari nilai x

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 440,5 \text{ mm}$$

$$x = 279,85 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 279,85$$

$$= 237,87 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003$$

$$= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1\right) \cdot 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600$$

$$= \left(\frac{440,5}{279,85} - 1\right) \cdot 600$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$E_y = f_y / E_s$$

$$= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol : $\epsilon_s < \epsilon_y$

$$0,00172 < 0,002 \dots (\text{ok})$$

$$f_s < f_y$$

$$344,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3400,62 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 1.273.532 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 279,85$$

$$= 3.032.843 \text{ N}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600$$

$$= 3400,62 \text{ mm}^2 \left(\frac{440,5}{279,85} - 1\right) \cdot 600$$

$$= 1.171.325 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 3.032.843 \text{ N} + 1.273.532 \text{ N} - 1.171.325 \text{ N} \\
 &= 3.135.050 \text{ N}
 \end{aligned}$$

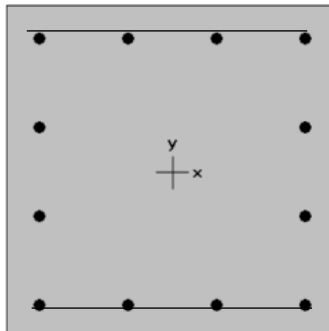
$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } & P > P_b \\
 & 3.135.050 \text{ N} > 2.777.635 \text{ N (Ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{a}{2} \right) + Cs'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 3.032.843 \text{ N} \left(440,5 - 190,5 - \frac{237,87}{2} \right) + \\
 &1.273.532 \text{ N} (440,5 - 190,5 - 59,5) + 1.171.325 \text{ N} \cdot \\
 &190,5 \\
 &= 863.244.733 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{terpasang}}} &> M_n \\
 863.244.733 \text{ Nmm} &> 379.824.030 \text{ Nmm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 12D19 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:



Gambar 7. 50 Penampang Kolom K1

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times \phi_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

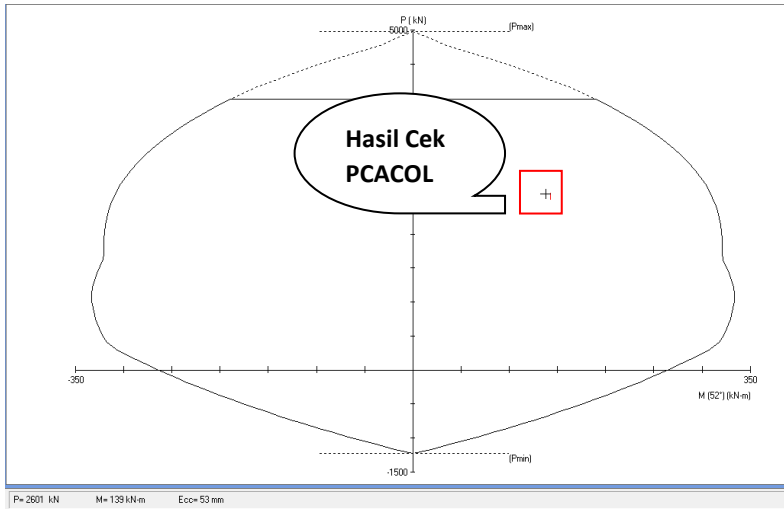
$$S_{\max} = 108 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

(maka tulangan lentur disusun 1 lapis)

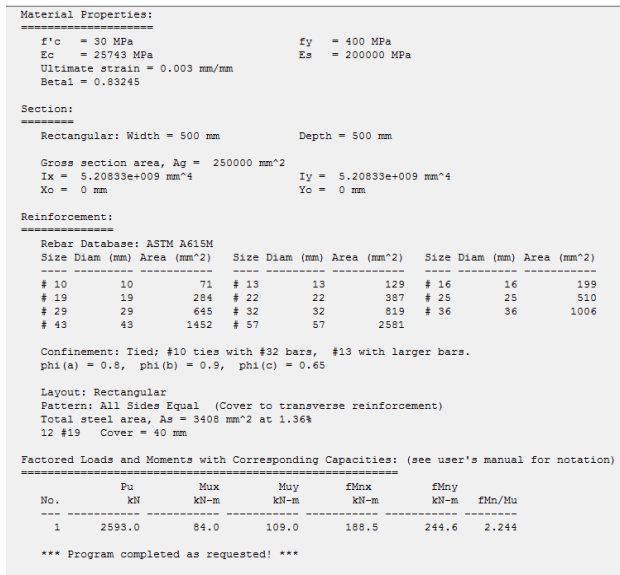
Cek dengan program pcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	= 30 N/mm ²
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 N/mm ²
Modulus elastisitas	= 25742, 96 N/mm ²
β_1	= 0,85
b kolom	= 500 mm
h kolom	= 500 mm
Tulangan Kolom Pasang	= 12 D19



Gambar 7. 51 Grafik Akibat Momen Pada PCACOL



Gambar 7. 52 Hasil Output Pada Pccolumn

Bersasarkan Output dari pcaColumn

$M_{ux} = 84,0 \text{ kNm} < M_{nx} = 188,5 \text{ kNm}$

$M_{uy} = 109,0 \text{ kNm} < M_{ny} = 244,6 \text{ kNm}$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 12D19

Presentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= 12 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 3400,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{3400,62 \text{ mm}^2}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= 1,36 \% < 8\% \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCACOL lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

7.5.4.3 Perhitungan Geser Kolom

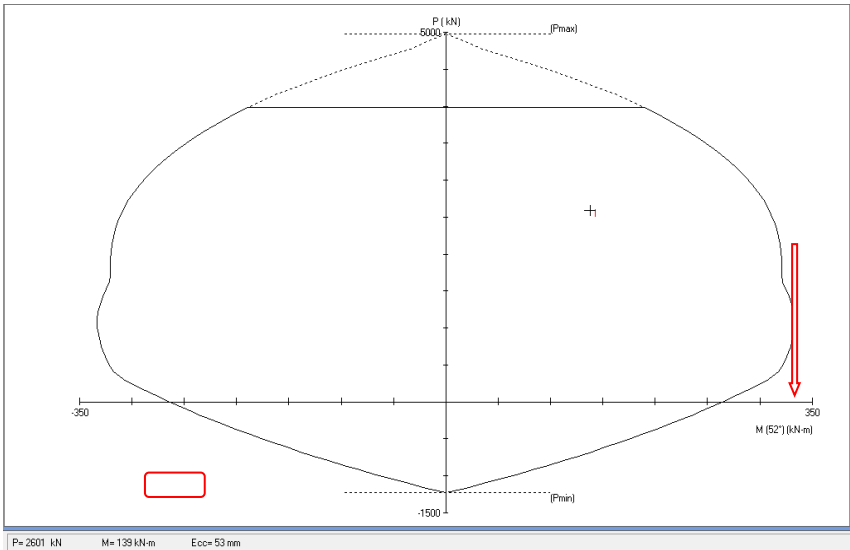
Data Perencanaan

h kolom	: 500 mm
b kolom	: 500 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 3000 mm
Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Diameter Tulangan lentur	: D19
Diameter Tulangan geser	: D10
Faktor Reduksi	: 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.3.2.(3))	

Berdasarkan hasil out put program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom /K1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_u &= (1,2D + 1,6L) \\ &= 2.593.414,7 \text{ N} \end{aligned}$$

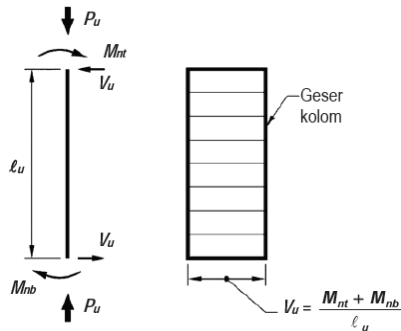
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcalol sebagai berikut :



Gambar 7. 53 Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM

$$M_{nt} = 188500000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 244600000 \text{ Nmm}$$



Gambar 7. 54 Lintang Rencana Untuk SRPMM

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

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

M_{nt} = Momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{188.500.000}{0,75} = 251.333.333 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ub}}{\phi} = \frac{244.600.000}{0,75} = 326.133.333 \text{ Nmm}$$

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

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} = \frac{577.466.667}{3000} = 192.489 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa (SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq \frac{25}{3} \text{ N/mm}^2$$

$$5,477 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Kekuatan geser pada beton :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left[1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \left[1 + \frac{2.593.414,7 \text{ N}}{14 \times 250000 \text{ mm}^2} \right] \\
 &\quad \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 440,5 \\
 &= 357.041 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= 0,33 \times b \times d \\
 &= 0,33 \times 500 \times 440,5 \\
 &= 72.682,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\max}} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 500 \times 440,5 \\
 &= 398.098,45 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_{s_{\max}} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 440,5 \\
 &= 796.196,896 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi penulangan geser :

Kondisi 1 :

$$\begin{aligned}
 V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c &\rightarrow (\text{Tidak Perlu Tulangan Geser}) \\
 192.489 \geq 133.890 &(\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kondisi 2 :

$$\begin{aligned}
 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c &\rightarrow (\text{Tulangan Geser Minimum}) \\
 133.890 \leq 192.489 \leq 267.781 &(\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kondisi 3 :

$$\begin{aligned}
 \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) &\rightarrow (\text{Perlu Geser Minimum}) \\
 267.781 \geq 192.489 \leq 322.293 &(\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kondisi 4 :

$$\begin{aligned}
 \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) &\rightarrow (\text{Tulangan Geser}) \\
 322.293 \geq 192.489 \leq 566.355 &(\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kondisi 5 :

$$\emptyset (V_c + V_{S_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_{S_{\max}}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

$$566.355 \geq 192.489 \leq 864.928 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan *Kondisi 2*.

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$V_{S_{\text{perlu}}} = V_s \text{ min} = 0,33 \times b \times d = 72682,5 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot F_{yv} \cdot d}{V_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{16598040}{72682,5} \\ &= 228,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan $S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2

$$\begin{aligned} S_{\text{pakai}} &\leq \frac{d}{2} \\ 100 \text{ mm} &\leq \frac{440,5 \text{ mm}}{2} \\ 100 \text{ mm} &\leq 220 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{pakai}} &\leq 600 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Sehingga dicoba pakai tulangan geser $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$

Cek Persyaratan SPRMM 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) Setengah dimensi d ,
 $S_o \leq 1/2 \times d$
 $100 \text{ mm} \leq 1/2 \times 440,5 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 220 \text{ mm}$ (Memenuhi)
 - b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
 $S_o \leq 8 \times \varnothing_{\text{lentur}}$
 $100 \text{ mm} \leq 8 \times 19 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$ (Memenuhi)
 - c) 24 kali diameter sengkang ikat,
 $S_o \leq 24 \times \varnothing_{\text{sengkang}}$
 $100 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$ (Memenuhi)
 - d) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
 $S_o \leq 1/2 \times b_w$
 $100 \text{ mm} \leq 1/2 \times 500 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$ (Memenuhi)
 - e) $S_o \leq 600 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$ (Memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, Maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 100 mm

Maka, dipakai S_o sebesar $\varnothing 10 - 100 \text{ mm}$.

Panjang L_o tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,

$$L_o = \frac{1}{6} \times (3000 - 500)$$

$$L_o = \frac{1}{6} \times 2500$$

$$= 416 \text{ mm}$$

- b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 500 \text{ mm}$$

- c) $L_o > 450 \text{ mm}$

Maka dipakai L_o sebesar 600 mm

Sehingga dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ sejarak 600 mm dari muka hubungan balok kolom.

- 2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o = 0,5 \times 100 \text{ mm} = 55 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.
- 3) Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$. Maka pada daerah setelah sejarak $L_o = 600 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$.

7.5.4.4 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 $f_y = 420 \text{ Mpa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 19 \geq 300 \text{ mm}$$

$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 550 mm

7.5.4.5 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus diambil sebesar:

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c + k_{tr}}{d_b}\right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{\left(\frac{75 + 0}{19}\right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = 14,80$$

$$l_d = 14,80 \times 19 \text{ mm}$$

$$l_d = 281,21 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

$$F_s = 60\% \times f_y$$

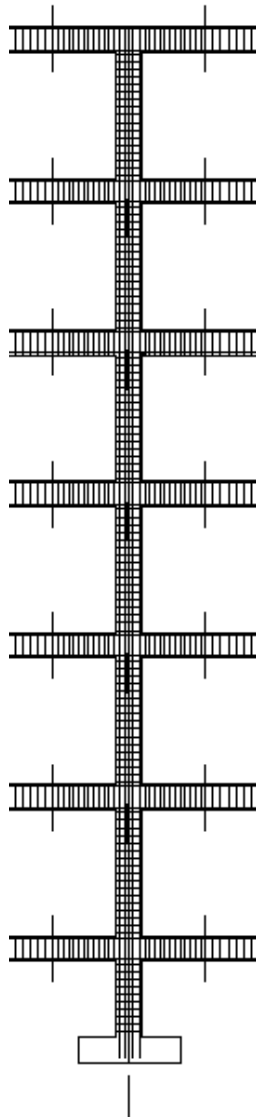
$$= 240 \text{ MPa}$$

$$F_s > f_y \rightarrow l_d \text{ pakai} = 1,3 \times 300 \text{ mm}$$

$$= 390 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Tabel 7. 7 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe kolom	Penulangan	
	Kolom Lantai 1 50/50	Lentur
Geser		Ø10 – 150
Kolom Lantai 2 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø10 – 150
Kolom Lantai 3 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø10 – 150
Kolom Lantai 4 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø10 – 150
Kolom Lantai 5 50/50	Lentur	12D19
	Geser	Ø10 – 150



Gambar 7. 55 Penulangan Portal As 2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VIII PERHITUNGAN VOLUME PENULANGAN

8.1 Perhitungan Volume Penulangan Kolom

8.1.1 Lantai 1-6 (Typikal)

Kolom Struktur

Jumlah titik kolom	= 7 x 28 = 196 titik
Tinggi kolom	= 3000 mm
Tulangan utama	= 12D19
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 550 mm
Panjang penyaluran (L_d)	= 400 mm
Bengkokan ($12d_b$)	= 228 mm
Kait ($4d_b$)	= 76 mm

Tulangan Utama

- Panjang tulangan utama
$$L = (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan}$$
$$= (3000 \text{ mm} + 400 \text{ mm} \times 2 + 550 \text{ mm}) \times 12$$
$$= 52200 \text{ mm}$$
- Bengkokan pada tulangan utama
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$
$$= 2 \times 12 \times 196$$
$$= 4704 \text{ buah}$$
$$B = 12d_b \times 24$$
$$= 12 \times 19 \text{ mm} \times 24$$
$$= 5472 \text{ mm}$$
- Kait pada tulangan utama
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$
$$= 2 \times 12 \times 196$$
$$= 4704 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} K &= 76 \text{ mm} \times 24 \\ &= 1824 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berat baja tulangan D19

$$\begin{aligned} B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,019^2 \\ &= 2,226 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter

$$\begin{aligned} \text{Panjang total tulangan} &= 52200 + 5472 + 1824 \\ &= 59496 \text{ mm} \\ &= 59,496 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 59,496 \text{ meter} \times 2,226 \text{ kg/m} \\ &= 132,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom per lantai

$$\begin{aligned} V &= 132,44 \text{ kg} \times 196 \\ &= 25957,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tulangan Geser/ Beugel

- Panjang Beugel

$$\begin{aligned} L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\ & (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\ &= ((500 - 40) \times 2) + ((500 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\ & 0,01) \\ &= 1912,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah beugel per 1 kolom

$$\begin{aligned} n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antar tulangan}) + 1 \\ &= (3000 / 150) + 1 \\ &= 21 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah kait per lantai

$$\begin{aligned} n &= 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 2 \times 21 \times 28 \\ &= 1176 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah bengkokan per lantai
 - $n = 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$
 - $= 3 \times 21 \times 28$
 - $= 1764 \text{ buah}$
- Berat baja tulangan $\varnothing 10$,
 - $B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$
 - $= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$
 - $= 0,62 \text{ kg/m}$
- Panjang total tulangan geser per 1 kolom,
 - $L_{\text{total}} = 1912,28 \text{ mm} \times 21$
 - $= 40157,88 \text{ mm}$
 - $= 40,158 \text{ meter}$
 - $\approx 40,2 \text{ meter}$
- Berat total tulangan per 1 kolom,
 - $V_{\text{total}} = 40,2 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$
 - $= 24,92 \text{ kg}$
- Berat total tulangan kolom lantai 1-6,
 - $V = 24,92 \text{ kg} \times 196$
 - $= 4885,10 \text{ kg}$

8.1.2 Kolom lift

Jumlah titik kolom	$= 4 \times 1 = 4 \text{ titik}$
Tinggi kolom	$= 2500 \text{ mm}$
Tulangan utama	$= 12D19$
Tulangan geser	$= \varnothing 10$
Jarak antar tulangan geser	$= 150 \text{ mm}$
Tebal selimut beton	$= 40 \text{ mm}$
Sambungan lewatan kolom	$= 550 \text{ mm}$
Panjang penyaluran (L_d)	$= 400 \text{ mm}$
Bengkokan ($12d_b$)	$= 228 \text{ mm}$
Kait ($4d_b$)	$= 76 \text{ mm}$

Tulangan Utama

- Panjang tulangan utama
 - $L = (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 +$

- sambungan lewatan) x jumlah tulangan
 $= (2500 \text{ mm} + 400 \text{ mm} \times 2 + 550 \text{ mm}) \times 12$
 $= 46200 \text{ mm}$
- Bengkakan pada tulangan utama
 - n $= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$
 $= 2 \times 12 \times 4$
 $= 96 \text{ buah}$
 - B $= 12d_b \times 24$
 $= 12 \times 19 \text{ mm} \times 24$
 $= 5472 \text{ mm}$
 - Kait pada tulangan utama
 - n $= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$
 $= 2 \times 12 \times 4$
 $= 96 \text{ buah}$
 - K $= 76 \text{ mm} \times 24$
 $= 1824 \text{ mm}$
- Berat baja tulangan D19
 Bj $= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$
 $= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,019^2$
 $= 2,226 \text{ kg/m}$
- Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter
 Panjang total tulangan $= 46200 + 5472 + 1824$
 $= 53496 \text{ mm}$
 $= 53,496 \text{ meter}$
- Berat total tulangan per 1 kolom
 $V_{\text{total}} = 53,496 \text{ meter} \times 2,226 \text{ kg/m}$
 $= 119,08 \text{ kg}$
- Berat total tulangan kolom per lantai
 V $= 119,08 \text{ kg} \times 4$
 $= 433,02 \text{ kg}$

Tulangan Geser/ Beugel

- Panjang Beugel
 $L = ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan})$

$$= ((500 - 40) \times 2) + ((500 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times 0,01)$$

$$= 1912,28 \text{ mm}$$

- Jumlah beugel per 1 kolom

$$n = (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antar tulangan}) + 1$$

$$= (2500 / 150) + 1$$

$$= 17,67 \text{ buah}$$

$$\approx 18$$

- Jumlah kait per lantai

$$n = 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 18 \times 4$$

$$= 144 \text{ buah}$$

- Jumlah bengkokan per lantai

$$n = 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 3 \times 18 \times 4$$

$$= 216 \text{ buah}$$

Berat baja tulangan $\emptyset 10$,

$$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$

$$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$$

$$= 0,62 \text{ kg/m}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$L_{\text{total}} = 1912,28 \text{ mm} \times 18$$

$$= 34421,04 \text{ mm}$$

$$= 34,42 \text{ meter}$$

$$\approx 34,5 \text{ meter}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$V_{\text{total}} = 34,5 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$$

$$= 21,34 \text{ kg}$$

Berat total tulangan per lantai,

$$V = 21,34 \text{ kg} \times 4$$

$$= 85,36 \text{ kg}$$

8.1.3 Kolom Pendek

Jumlah titik kolom	= 1 x 28 = 28 titik
Tinggi kolom	= 1000 mm
Tulangan utama	= 12D19
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 100 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 550 mm
Panjang penyaluran (L_d)	= 400 mm
Bengkokan ($12d_b$)	= 228 mm
Kait ($4d_b$)	= 76 mm

Tulangan Utama

- Panjang tulangan utama
 - L = (Tinggi kolom + panjang penyaluran x 2 + sambungan lewatan) x jumlah tulangan
 - = (1000 mm + 400 mm x 2 + 550 mm) x 12
 - = 28200 mm
 - Bengkokan pada tulangan utama
 - n = 2 x jumlah tulangan x jumlah kolom
 - = 2 x 12 x 28
 - = 672 buah
 - B = $12d_b \times 24$
 - = 12 x 19 mm x 24
 - = 5472 mm
 - Kait pada tulangan utama
 - n = 2 x jumlah tulangan x jumlah kolom
 - = 2 x 12 x 28
 - = 672 buah
 - K = 76 mm x 24
 - = 1824 mm
- Berat baja tulangan D19
- Bj = $7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$
 - = $7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,019^2$
 - = 2,226 kg/m

$$\begin{aligned} \text{Panjang 1 lonjor tulangan} &= 12 \text{ meter} \\ \text{Panjang total tulangan} &= 28200 + 5472 + 1824 \\ &= 35496 \text{ mm} \\ &= 35,496 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total tulangan per 1 kolom} \\ V_{\text{total}} &= 35,496 \text{ meter} \times 2,226 \text{ kg/m} \\ &= 79,01 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total tulangan kolom per lantai} \\ V &= 79,01 \text{ kg} \times 28 \\ &= 2212,39 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tulangan Geser/ Beugel

- Panjang Beugel

$$\begin{aligned} L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\ &(4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\ &= ((500 - 40) \times 2) + ((500 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\ &0,01) \\ &= 1912,28 \text{ mm} \end{aligned}$$
 - Jumlah beugel per 1 kolom

$$\begin{aligned} n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antar tulangan}) + 1 \\ &= (1000 / 100) + 1 \\ &= 11 \text{ buah} \end{aligned}$$
 - Jumlah kait per lantai

$$\begin{aligned} n &= 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 2 \times 11 \times 28 \\ &= 616 \text{ buah} \end{aligned}$$
 - Jumlah bengkokan per lantai

$$\begin{aligned} n &= 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 3 \times 11 \times 28 \\ &= 924 \text{ buah} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Berat baja tulangan } \emptyset 10, \\ B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2 \\ &= 0,62 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= 1912,28 \text{ mm} \times 11 \\ &= 21035,08 \text{ mm} \\ &= 21,035 \text{ meter} \\ &\approx 21,1 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 21,1 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m} \\ &= 13,04 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per lantai,

$$\begin{aligned} V &= 13,04 \text{ kg} \times 28 \\ &= 365,17 \text{ kg} \end{aligned}$$

8.1.4 Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom

Tabel 8. 1 Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom

Type Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (kg)	Volume Tul.Geser (kg)	Volume Total
Kolom Struktur	Lantai Dasar	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 1	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 2	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 3	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 4	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 5	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 6	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Pendek	Di bawah Sloof	2212,39	365,17	2577,56
Kolom Lift	Atap	433,02	85,36	518,38
Volume		184350,5	34646,23	218996,73

Tabel 8. 2 Jumlah Tulangan Yang Dibutuhkan

Type Kolom	Lantai	Panjang Tul. Utama (m)	Panjang Tul. Geser (m)	Total (m)	Jumlah Tulangan
Kolom Struktur	Lantai Dasar	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Struktur	Lantai 1	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Struktur	Lantai 2	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Struktur	Lantai 3	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Struktur	Lantai 4	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Struktur	Lantai 5	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Struktur	Lantai 6	52200	1912,28	54112,28	4510
Kolom Pendek	Di bawah Sloof	46200	1912,28	48112,28	4009,36
Kolom Lift	Atap	28200	1912,28	30112,28	2509,36

Tabel 8. 3 Rekapitulasi Jumlah Bengkokan dan Kaitan

Type Kolom	Lantai	Tul. Utama		Tul. Geser	
		Bengkokan	Kaitan	Bengkokan	Kaitan
Kolom Struktur	Lantai Dasar	5472	1824	1176	1764
Kolom Struktur	Lantai 1	5472	1824	1176	1764
Kolom Struktur	Lantai 2	5472	1824	1176	1764
Kolom Struktur	Lantai 3	5472	1824	1176	1764
Kolom Struktur	Lantai 4	5472	1824	1176	1764
Kolom Struktur	Lantai 5	5472	1824	1176	1764
Kolom Struktur	Lantai 6	5472	1824	1176	1764
Kolom Pendek	Di bawah Sloof	5472	1824	616	924
Kolom Lift	Atap	5472	1824	114	216

8.2 Perhitungan Volume Penulangan Balok

Perhitungan volume pembesian balok dibedakan menjadi 2 macam, tulangan utama dan sengkang, berikut ini adalah contoh perhitungannya:

• Perhitungan Volume

Perhitungan pembesian balok induk memanjang Lt.2

Lebar balok = 0,35 m

Tinggi balok = 0,50 m

D tulangan :

Tulangan atas = 22 mm = 0,022 m

Tulangan sengkang = 10 mm = 0,010 m

Tulangan bawah = 22 mm = 0,022 m

Tulangan tengah = 16 mm = 0,016 m

Cover = 40 mm = 0,040 m

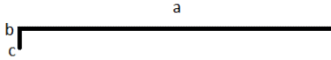
n tulangan atas = 2 buah

n tulangan bawah = 3 buah

n tulangan samping = 2 buah

TUMPUAN KANAN		TUMPUAN KIRI		LAPANGAN	
DIMENSI BALOK	350 X 500	DIMENSI BALOK	350 X 500	DIMENSI BALOK	350 X 500
TULANGAN ATAS	5 - D22	TULANGAN ATAS	4 - D22	TULANGAN ATAS	2 - D22
TULANGAN BAWAH	3 - D22	TULANGAN BAWAH	2 - D22	TULANGAN BAWAH	4 - D22
TULANGAN TORSI	4 - D16	TULANGAN TORSI	4 - D16	TULANGAN TORSI	4 - D16
SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 100	SENGKANG	φ10 - 150

Gambar 8. 1 Detai Penulangan Balok

Tulangan utama atas (menerus)

Gambar 8. 2 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas

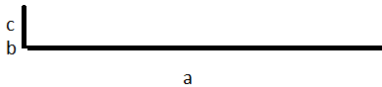
$$\begin{aligned} a &= \text{panjang balok} + (l_{dh}) \\ &= 5,8 \text{ m} + (0,2 \text{ m}) \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 2,5 \times d \\ &= 2,5 \times 0,022 \\ &= 0,055 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= 12 \times d \\ &= 12 \times 0,022 \text{ m} \\ &= 0,264 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= a + b + c \\ &= 6 \text{ m} + 0,055 \text{ m} + 0,264 \text{ m} \\ &= 6,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total} &= 6,9 \text{ m} \times 2 \text{ buah} \\ &= 13,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Tulangan utama bawah (menerus)

Gambar 8. 3 Potongan Tulangan Balok Sisi bawah

$$\begin{aligned} a &= \text{panjang balok} + (l_{dh}) \\ &= 5,8 \text{ m} + (0,2 \text{ m}) \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

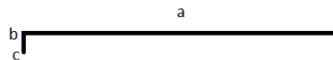
$$\begin{aligned} b &= 2,5 \times d \\ &= 2,5 \times 0,022 \\ &= 0,055 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= 8 \times d \\ &= 8 \times 0,022 \text{ m} \\ &= 0,176 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= a + b + c \\ &= 6 \text{ m} + 0,055 \text{ m} + 0,176 \text{ m} \\ &= 6,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total} &= 6,9 \text{ m} \times 3 \text{ buah} \\ &= 20,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Tulangan tekan (tumpuan kanan)



Gambar 8. 4 Potongan Tulangan tekan Balok tumpuan kiri

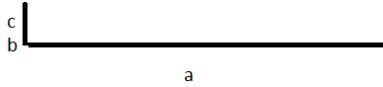
$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{4} L_{\text{balok}} + L_{\text{dh}} + L_{\text{penyaluran tekan bs}} \\ &= 1,5 \text{ m} + 0,264 \text{ m} + 0,45 \text{ m} \\ &= 2,214 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 2,5 \times d \\ &= 2,5 \times 0,022 \\ &= 0,055 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= 12 \times d \\ &= 12 \times 0,022 \text{ m} \\ &= 0,264 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= a + b + c \\ &= 2,214 \text{ m} + 0,055 \text{ m} + 0,264 \text{ m} \\ &= 2,533 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total} &= 2,533 \text{ m} \times 3 \text{ buah} \\ &= 7,2 \text{ m} \end{aligned}$$

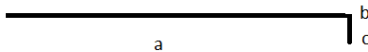
Tulangan tarik (tumpuan kiri)

Gambar 8. 5 Potongan Tulangan tarik tumpuan kiri

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{4} L_{\text{balok}} + L_{\text{dh}} + L_{\text{penyaluran tekan bs}} \\
 &= 1,5 \text{ m} + 0,264 \text{ m} + 0,85 \text{ m} \\
 &= 2,214 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \times d \\
 &= 2,5 \times 0,022 \\
 &= 0,055 \text{ m} \\
 c &= 8 \times d \\
 &= 8 \times 0,022 \text{ m} \\
 &= 0,176 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= a + b + c \\
 &= 2,214 \text{ m} + 0,055 \text{ m} + 0,176 \text{ m} \\
 &= 2,533 \text{ m}
 \end{aligned}$$

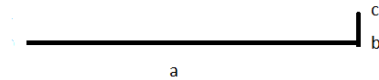
$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= 2,533 \text{ m} \times 3 \text{ buah} \\
 &= 7,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan (tumpuan kanan)

Gambar 8. 6 Potongan Tulangan tekan Balok Sisi kanan

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{1}{4} L_{\text{balok}} + L_{\text{penyaluran tekan bs}} \\
 &= 1,5 \text{ m} + 0,9 \text{ m} \\
 &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

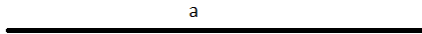
$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= 2,4 \text{ m} \times 3 \text{ buah} \\
 &= 7,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik (tumpuan kanan)

Gambar 8. 7 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{1}{4} L_{\text{balok}} + L_{\text{penyaluran tarik bs}} \\
 &= 1,5 \text{ m} + 0,9 \text{ m} \\
 &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= 2,4 \text{ m} \times 3 \text{ buah} \\
 &= 7,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

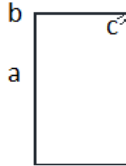
Tulangan torsi

Gambar 8. 8 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas

$$\begin{aligned}
 L &= L_{\text{balok}} \\
 &= 6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= 6 \text{ m} \times 4 \text{ buah} \\
 &= 24 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tulangan sengkang



Gambar 8. 9 Potongan Tulangan Balok Sisi Atas

$$a_1 = \text{lebar balok} - (2 \times \text{cover})$$

$$= 0,35 \text{ m} - (2 \times 0,04)$$

$$= 0,27 \text{ m}$$

$$a_2 = \text{tinggi balok} - (2 \times \text{cover})$$

$$= 0,50 \text{ m} - (2 \times 0,04)$$

$$= 0,42 \text{ m}$$

$$b = \frac{90^\circ}{360^\circ} \times 2\pi r$$

$$= \frac{90^\circ}{360^\circ} \times 2\pi(4 \times 0,010)$$

$$= 0,063 \text{ m}$$

$$c = 0,075 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = 2a_1 + 2a_2 + 4b_1 + 2c$$

$$= 2 \times (0,27 \text{ m}) + 2 \times (0,42 \text{ m}) + 4 \times (0,063 \text{ m}) + 2$$

$$(0,075 \text{ m})$$

$$= 1,782 \text{ m}$$

$$\text{Banyak sengkang tumpuan} = \frac{5,8 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} + 1 = 30 \text{ buah}$$

$$\text{Banyak sengkang lapangan} = \frac{5,8 \text{ m}}{0,15 \text{ m}} + 1 = 20 \text{ buah}$$

$$\text{Total banyak sengkang} = 25 + 17 = 50 \text{ buah}$$

$$\text{Panjang total} = 1,5 \text{ m} \times 50 \text{ buah}$$

$$= 75 \text{ m}$$

Panjang tulangan D10	= 75 m = 75 m/12m = 6,25 lonjor \approx 7 lonjor
Panjang tulangan D 16	= 24 m = 24 m/12m = 2 lonjor
Panjang tulangan D22	= 13,8m + 20,7m + 7,2m + 7,2m + 4,8m = 53,7 m /12m = 4,475 lonjor \approx 5 lonjor

Dengan perhitungan seperti cara diatas di hitung pula untuk tulangan balok pada bentang selanjutnya dan diperoleh volume total tulangan balok induk yang dibutuhkan sebagai berikut :

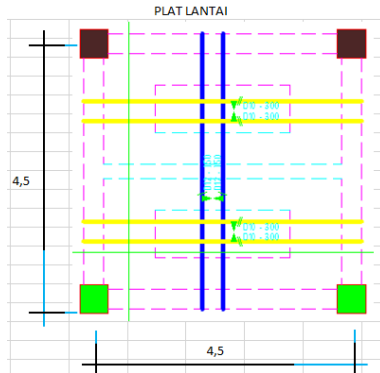
Tabel 8. 4 Rekapitulasi Volume Penulangan Balok

ϕ	Tot Lnjr Bersih	Panjang Total (m)	Berat (kg/m)	Berat Total (Kg)
10	1652	19824	0,62	12216,04
13	441	5292	1,04	5511,20
16	73	876	1,58	1381,92
19	691	8292	2,22	18446,15
22	288	3456	2,98	10307,62

8.3 Perhitungan Volume Penulangan Pelat

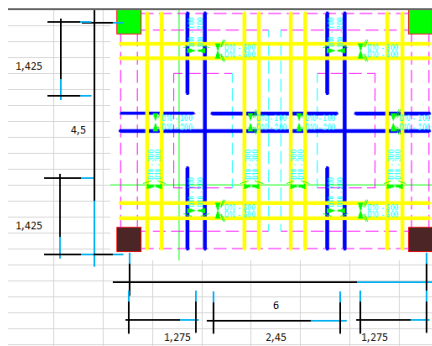
Berikut terlampir perhitungan volume penulangan pelat:

-Plat Type 1A



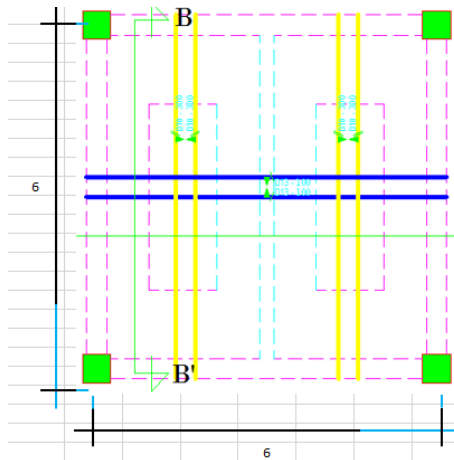
Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	12	28	4,5	3780	0,89	3354,24	315	0
Susut	10	13	4,5	1755	0,62	1081,47	147	9

-Plat Type 1B



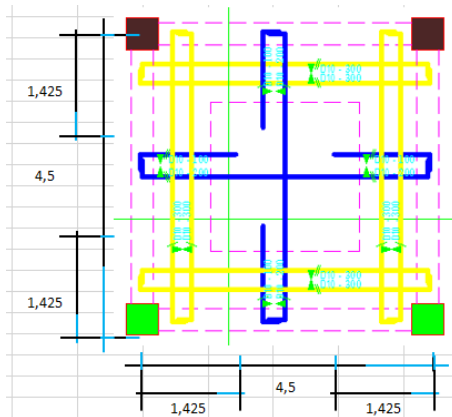
Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump Ver	10	108	1,425	6925,5	0,62	4267,67	578	10,5
Tump Hor	10	42	5	9450	0,62	5823,33	788	6
Lap ver	10	12	4,5	2430	0,62	1497,43	203	6
Lap hor	10	12	6	3240	0,62	1996,57	270	0
Susut ver	10	20	4,5	4050	0,62	2495,71	338	6
Susut hor	10	12	6	3240	0,62	1996,57	270	0

-Plat Type 1C



Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	13	57	6	13680	1,04	14246,63	1140	0
Susut	10	18	6	4320	0,62	12662,09	360	0

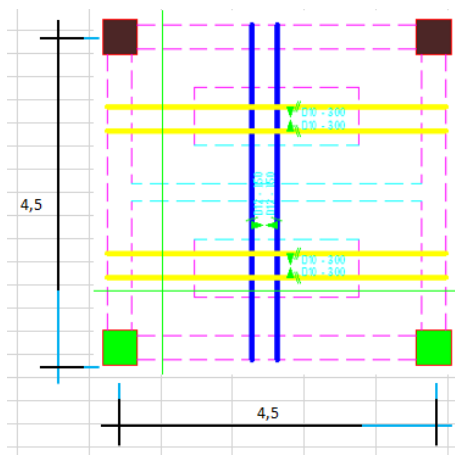
-Plat Type 1D



Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump Ver	10	83	1,425	118,275	0,62	72,88	10	1,725
Tump Hor	10	83	1,425	118,275	0,62	72,88	10	1,725
Lap ver	10	12	4,5	54	0,62	33,28	5	6
Lap hor	10	12	4,5	54	0,62	33,28	5	6

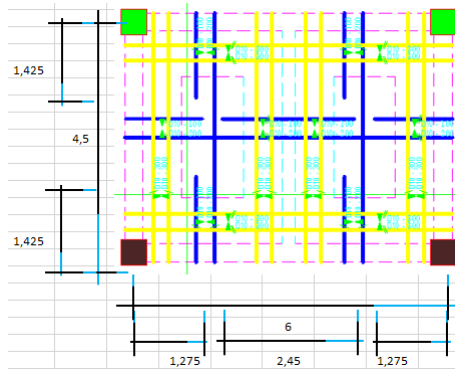
Susut ver	10	12	4,5	54	0,62	33,28	5	6
Susut hor	10	12	4,5	54	0,62	33,28	5	6

-Plat Type 2A



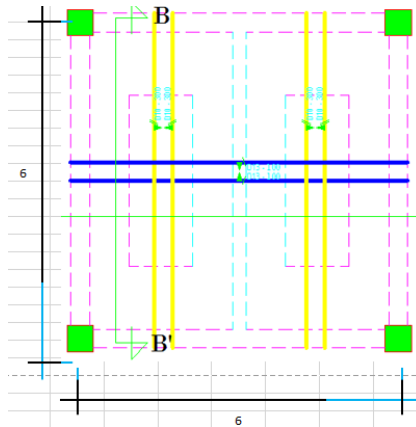
Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	10	42	4,5	567	0,62	349,40	48	9
Susut	10	13	4,5	351	0,62	216,29	30	9

-Plat Type 2B



Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump Ver	10	108	1,425	1539	0,62	948,37	129	9
Tump Hor	10	42	5	2100	0,62	1294,07	175	0
Lap ver	10	12	4,5	540	0,62	332,76	45	0
Lap hor	10	12	6	720	0,62	443,68	60	0
Susut ver	10	20	4,5	900	0,62	554,60	75	0
Susut hor	10	12	6	720	0,62	443,68	60	0

-Plat Type 2C



Jenis	Diameter tulangan (mm)	Jumlah potong (buah)	Panjang bentang (m)	Panjang Total (m)	BJ Besi (kg/m)	Total Berat (kg)	Jumlah lonjor (buah)	Sisa (m)
Tump/Lap	10	113	6	2712	0,62	1671,20	226	0
Susut	10	18	6	864	0,62	532,42	72	0

Rekapitulasi

Tabel 8. 5 Rekapitulasi Volume Penulangan Pelat

ϕ	Tot Lnjr Bersih	Panjang Total (m)	Berat (kg/m)	Berat Total (Kg)
10	3907	46884	0,62	28891,09
12	315	3780	0,89	3354,24
13	1140	13680	1,04	14246,63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IX KESIMPULAN DAN SARAN

9.1 KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan suatu struktur gedung berton bertulang didaerah zona II dapat dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan nilai $R = 5$.
2. Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan Gedung Apartemen “B” Surabaya dengan metode SRPMM. Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :

- **Komponen Pelat**

1. Pada pelat lantai menggunakan beton sebagai berikut :

Tipe Plat	Momen yang Terjadi		f'c	fy	β_1	d	m	p min	Rn	p	p pakai	Tulangan dipakai			Cek	
	kg.m											Mpa	Mpa	mm		mm
Plat Tipe 1A	Mdx	3562,88	30	400	0,85	93,5	15,69	0,0035	4,53	0,0126	0,0126	1174,13	13	100	1327,32	OK!
	Mtx	3919,17				93,5			4,98	0,0140	0,0140	1307,81	13	100	1327,32	OK!
Plat Tipe 1B	Mdx	1593,65				95			1,96	0,0051	0,0051	485,43	10	100	785,40	OK!
	Mtx	1753,02				95			2,16	0,0056	0,0056	536,53	10	100	785,40	OK!
Plat Tipe 2A	Mdx	832,37				94			1,05	0,0027	0,0025	329,00	12	200	565,49	OK!
	Mty	624,28				82			1,03	0,0026	0,0025	287,00	12	200	565,49	OK!
Plat Tipe 2B	Mdx	394,28				94			0,50	0,0013	0,0025	329,00	12	200	565,49	OK!
	Mty	186,19				82			0,31	0,0008	0,0025	287,00	12	200	565,49	OK!
Plat Tipe 3A	Mtx	378,06				95			0,47	0,0012	0,0025	332,50	10	150	523,60	OK!
	Mty	283,55				85			0,44	0,0011	0,0025	297,50	10	150	523,60	OK!
Plat Tipe 3B	Mdx	179,08				95			0,22	0,0006	0,0025	332,50	10	150	523,60	OK!
	Mty	84,57				85			0,13	0,0003	0,0025	297,50	10	150	523,60	OK!
Plat Tipe 4	Mdx	1928,33				94			2,42	0,0064	0,0064	599,86	12	150	753,98	OK!
	Mtx	2121,17				94			2,67	0,0071	0,0071	665,56	12	150	753,98	OK!
Plat Tipe 3B	Mdx	863,53				95			1,06	0,0027	0,0025	332,50	10	200	392,70	OK!
	Mtx	948,78				95			1,17	0,0030	0,0025	332,50	10	200	392,70	OK!
Plat Tipe 4	Mtx	582,01				95			0,72	0,0018	0,0025	332,50	10	200	392,70	OK!
	Mty	582,01				85			0,90	0,0023	0,0025	297,50	10	200	392,70	OK!
	Mdx	235,04	95	0,29	0,0007	0,0025	332,50	10	200	392,70	OK!					
	Mty	235,04	85	0,36	0,0009	0,0025	297,50	10	200	392,70	OK!					

▪Komponen Tangga

Type	Tanjakan (cm)	Injakan (cm)	Kemiringan (θ)	Tebal Pelat (cm)	Arah Penulangan	Tulangan Tangga	Tulangan Bordes
1	15	30	26,57	15	X	D16-100	D16-150
					Y		

▪Komponen Balok

Tipe balok	Bentang balok	Dimensi	Tulangan torsi	Tulangan Lentur				Tulangan geser	
	cm	cm		Tumpunan		Lapangan		Tumpunan	Lapangan
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BS1 (memanjang)	600	35/50	4D-16	5D-22	3D-22	4D-22	2D-22	\emptyset 10-100	\emptyset 10-200
BS2 (melintang)	600	35/50	2D-13	5D-19	3D-19	3D-19	2D-19	\emptyset 10-100	\emptyset 10-150
BA	600	30/40	2D-12	3D-16	2D-16	3D-16	2D-16	\emptyset 10-50	\emptyset 10-100
S1 (memanjang)	600	35/50	2D-19	3D-19	2D-19	3D-19	2D-16	\emptyset 10-100	\emptyset 10-150
S2 (melintang)	600	35/50	2D-19	3D-19	2D-19	2D-19	2D-19	\emptyset 10-100	\emptyset 10-150
B.Lift	600	30/40	-	2D-19	2D-19	2D-19	2D-19	\emptyset 10-100	\emptyset 10-100

Bentuk = Bujur Sangkar

Sengkang = Non-Spiral

▪Komponen Kolom

Tipe kolom	Penulangan	
Kolom Lantai 1 50/50	Lentur	12D19
	Geser	\emptyset 10 – 150
Kolom Lantai 2 50/50	Lentur	12D19
	Geser	\emptyset 10 – 150
Kolom Lantai 3 50/50	Lentur	12D19
	Geser	\emptyset 10 – 150
Kolom Lantai 4 50/50	Lentur	12D19
	Geser	\emptyset 10 – 150
Kolom Lantai 5 50/50	Lentur	12D19
	Geser	\emptyset 10 – 150

Bentuk = Bujur Sangkar

Sengkang = Non-Spiral

3. Dari perhitungan analisa kebutuhan volume besi tulangan dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

- Komponen kolom

Type Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (kg)	Volume Tul.Geser (kg)	Volume Total
Kolom Struktur	Lantai Dasar	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 1	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 2	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 3	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 4	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 5	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Struktur	Lantai 6	25957,87	4885,10	30842,97
Kolom Pendek	Di bawah Sloof	2212,39	365,17	2577,56
Kolom Lift	Atap	433,02	85,36	518,38
Volume		184350,5	34646,23	218996,73

Rasio pembesian : 106,6 kg/m³

▪ **Komponen balok**

ϕ	Tot Lnjr Bersih	Panjang Total (m)	Berat (kg/m)	Berat Total (Kg)
10	1652	19824	0,62	12216,04
13	441	5292	1,04	5511,20
16	73	876	1,58	1381,92
19	691	8292	2,22	18446,15
22	288	3456	2,98	10307,62

Rasio pembesian : 85 kg/m³

▪ **Komponen pelat**

ϕ	Tot Lnjr Bersih	Panjang Total (m)	Berat (kg/m)	Berat Total (Kg)
10	3907	46884	0,62	28891,09
12	315	3780	0,89	3354,24
13	1140	13680	1,04	14246,63

Rasio pembesian : 46 kg/m³

9.2 SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dalam pengumpulan data perencanaan diusahakan didapatkan dengan lengkap mulai gambar arsitek dan stuktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.
2. Untuk proses perhitungan perencanaan menggunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang dipelajari dari semester 1 sampai 6.

3. Proses penentuan preliminary desain stuktur primer harus mempertimbangan efesiensi dari ukuran yang digunakan seperti mempertimbangan kemudahan dalam pelaksanaan, kemampuan penampang.
4. Pertahankan apa yang telah dikerjakan, selama perencanaan maupun perhitungan yang dilakukan tidak keluar dari koridor peraturan
5. Jangan takut untuk mempelajari hal-hal baru, sekalipun hal tersebut belum pernah disampaikan di dalam kurikulum perkuliahan
6. Tetap terus mencoba dan pantang putus asa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, **“Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727- 2013)”**, Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, **“Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2013)”**, Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, **“Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726- 2012)”**, Jakarta, 2012.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. **“Peraturan Beton Bertulang 1971”**, Bandung, 2013.

Kementrian Pekerjaan Umum. **“PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur”**. Jakarta, 2013.

Wang. Chu-Kia dan Charles G. Salmon, **“Desain Beton Bertulang Jilid 1 Dan 2 Edisi Keempat”**.

BIODATA PENULIS 1



Penulis bernama Debby Hendika Putra, dilahirkan di Madiun 30 Desember 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Khadijah Gedangan, SDN 01 Jiwan Madiun, SDN 01 Gedangan Sidoarjo, SMPN 01 Gedangan, SMA Hang Tuah 2 Sidoarjo. Setelah lulus SMA pada tahun 2014, penulis mengikuti SBMPTN tetapi tidak diterima akhirnya mengikuti program Tes

SMITS pada tahun 2014 dan memilih jurusan D3 Teknik Sipil untuk pilhan pertamanya. Syukur alhamdulillah penulis diterima di jurusan D3 Teknik Sipil FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 3114030038. Di Jurusan D3 Teknik Sipil ITS ini penulis mengambil Bidang Studi Konservasi Bangunan Gedung. Penulis pernah menjabat sebagai anggota JMAA dan memegang jabatan SEKDEP Departemen Mentoring periode 2015 – 2016.

BIODATA PENULIS 2



Penulis lahir pada tanggal 15 bulan Maret tahun 1996 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis bernama lengkap Muhammad Dzulfiqar Rizwanda Putratama ini merupakan lulusan dari SD Kemala Bhayangkari 1 Surabaya, juga pernah bersekolah di SMPN 12 Surabaya, dan SMAN 18 Surabaya. Selain itu, penulis juga pernah aktif dikegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun. Bahkan sempat meduduki posisi atau jabatan sebagai mentoring

JMAA selama satu periode dan menjadi staff departemen hubungan luar HMDS 2015-2016. Selain itu penulis juga diamanahi menjadi Steering Committee selama dua periode dan sebagai instructor committee selama satu periode. Penulis juga pernah mewakili ITS dalam lomba Fibrous Concrete Competition yang diadakan oleh Universitas Negeri Malang tahun 2015 dalam tim CT-33 dan Alhamdulillah memperoleh Juara 1. Selai dalam tim CT-33 penulis juga bergabung dalam tim CT-63, CT-86 dan sebagainya. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis sering manghabiskan waktu untuk mengikuti lomba-lomba baik di tingkat regional, nasional dan internasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan baik dan lancar. Tak lupa pula Nabi besar Muhammad SAW junjungan kita, semoga kita mendapatkan syafaatnya kelak diakhirat nanti. Tugas akhir terapan ini tidak bisa selesai dengan baik tanpa dukungan dari orang-orang yang turut serta membantu, baik berupa bimbingan, dorongan maupun berupa doa. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih ini kepada :

1. Oran tua yang selalu mensupport kami mulai dari do'a yang tiada henti-hentinya.
2. Bapak Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. selaku dosen pembimbing, yang selalu membimbing kami dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
3. Ibu Palupi, Ibu Sulfi, Mbak Oki yang telah membantu dalam proses adminstrasi dan memberikan kemudahan dalam mengurus dan menyelesaikan segala sesuatu yang terkait tugas akhir terapan ini.
4. Senior-senior kami yang keren-keren yang sangar-sangar, khususnya mas hisyam, mas tian, mas indor yang telah memberikan pencerahan yang luar biasa dan secercik ilmunya yang diberikan kepada kami.
5. Teman-teman bangunan gedung 2014 (anak struktur), yang selalu menyemangati dan menanyakan kabar revisi setiap hari. Semoga kita selalu kompak dan dilancarkan dalam semua urusan kita menuju keberhasilan. Aamiin.
6. Teman-teman angkatan 2014, DS35 atas dukungan serta do'anya.