



PROYEK AKHIR TERAPAN - VC191845

ALTERNATIF PENGGUNAAN *SEISMIC BASE ISOLATION HIGH DAMPING RUBBER BEARING* (HDRB) PADA STRUKTUR GEDUNG PASCA SARJANA IV UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG (UMM)

THALIAH LUTHFITAWATI NOERHAMIDY
NRP 1011160013091

DOSEN PEMBIMBING
NUR AHMAD HUSIN, ST., M.T.
NIP 19720115 199802 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



PROYEK AKHIR TERAPAN - VC191845

ALTERNATIF PENGGUNAAN *SEISMIC BASE ISOLATION HIGH DAMPING RUBBER BEARING* (HDRB) PADA STRUKTUR GEDUNG PASCA SARJANA IV UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG (UMM)

**THALIAH LUTHFITAWATI NOERHAMIDY
NRP 1011160013091**

**DOSEN PEMBIMBING
NUR AHMAD HUSIN, ST., M.T.
NIP 19720115 199802 1 001**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



APPLIED FINAL PROJECT - VC 191845

ALTERNATIVE DESIGN OF STRUCTURAL BUILDING OF PASCA SARJANA IV UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG (UMM) USING SEISMIC BASE ISOLATION HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)

**THALIAH LUTHFITAWATI NOERHAMIDY
NRP 1011160013091**

**SUPERVISOR
NUR AHMAD HUSIN, ST., M.T.
NIP 19720115 199802 1 001**

**APPLIED UNDERGRADUATE PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**“ALTERNATIF PENGGUNAAN SEISMIC BASE ISOLATION
HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) PADA
STRUKTUR GEDUNG PASCA SARJANA IV UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH MALANG (UMM)”**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik
Pada

Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan
Bangunan Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun Oleh :
Mahasiswi,



Thaliah Luthfitawati Noerhamidy
NRP. 10111610013091

Dibaca dan disetujui oleh dosen pembimbing tugas akhir :

Dosen Pembimbing,

31 JAN 2020



Nur Ahmad Husin, ST., M.T.
NIP. 19720115 199802 1 001

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”



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

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

Tanggal : 17/01/2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Alternatif Penggunaan Seismic Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Struktur Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM)		
Nama Mahasiswa	Thaliah Luthritawati Nh.	NRP	10111610013091
Dosen Pembimbing 1	Nur Ahmad Husin, ST., MT. NIP. 19720115 199802 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP. -	Tanda tangan	-

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none">- cek kombinasi jln- Pondasi dan defleksi gunakan kombinasi jln dengan gempa.	 Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS. NIP. 19600105 198603 1 003
<ul style="list-style-type: none">- jarak antara kolom dengan basement 20 cm ?- Kontrol gaya horisontal trng	 Ir. Munarus Suluch, MS. NIP. 19550408 198203 1 003
	NIP. -
	-
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS. NIP. 19600105 198603 1 003	Ir. Munarus Suluch, MS. NIP. 19550408 198203 1 003	-	-

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
		-
	Nur Ahmad Husin, ST., MT. NIP. 19720115 199802 1 001	-

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”



**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 Tholiah Luthfitawati Nh. 2
NRP : 1 2
Judul Tugas Akhir : Alternatif Penggunaan Seramic Base Isolator High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada Struktur Gedung Parca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang
Dosen Pembimbing : Nur Ahmad HURN, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	31 Oktober 2019	1. Crosscheck gaya geser dasar statik	<i>[Signature]</i>			
		2. Tahun pembangunan gedung				
		3. Menghitung momen & gaya geser m-nudal, lalu dibandingkan.		B	C	K
		4. Melakukan permodelan SRMB		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	6 November 2019	1. Mencari acuan tentang gaya geser yang diterap oleh dual system	<i>[Signature]</i>	B	C	K
		2. Mencoba permodelan IJW dengan menghilangkan frame & dibebani 0,7g gempa dan sebalutnya.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3. Nilai shear stribin disesuaikan dengan brosur bridgestone		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	14 November 2019	1. Dimensi HDRB ditentukan dengan kapasitas penampang	<i>[Signature]</i>			
		2. Cari jurnal mengenai respon spektrum komposit, periode patahan.		B	C	K
		3. Cek ukuran HDRB dengan kolom pedestal atau kolom utama		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = 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 Thawah Luthfitawan Nn. 2
NRP : 1 1011610013031 2
Judul Tugas Akhir : Alternatif Penggunaan Seismik Base Isolasi High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada gedung Parca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (CUMM)
Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
4.	21 November 19	a. Rebutan' beban hibup pada geving lantai 2 ke atar selasar 20 %	<i>[Handwritten Signature]</i>			
		b. Vg dinamis tidak selalu lebih besar daripada v statis.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		c. Teff' isolasi' = 3 x To, snt 1726, 12,9				
		d. Duitut dan' SAP untuk nilai Vb 2 Vs				
5.	3 Desember 19	a. Perbedaan 3 opsi' mass source	<i>[Handwritten Signature]</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		b. Kombinasi' negatif gempa				
		c. Ukuran HDRB boleh dibedakan sesuai' kebutuhan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	13 Desember 19	a. Untuk load case superdead di- bedakan seperti' spen', keramik, plafond.	<i>[Handwritten Signature]</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		b. Dan pada redesign lebih baik mengurangi' keapantak' tulangan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		c. Cct gaya Balam perampang apakah sesuai' dengan perhitungan manual				
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Thaliah Luthfitawati Rth. **2**
NRP : 1 10111610012019 **2**
Judul Tugas Akhir : Alternatif penggunaan Seismic Base Isolator High damping Rubber Bearing (HDRB) pada Struktur Gedung Parca Sarjana 10 Universitas Muhammadiyah Malang (UMMM)
Dosen Pembimbing : Nur Ahmad Husin, ST., M.T

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7.	31 Desember 19	1. Tipe pelat lantai dijelaskan hanya pada 1 bagian	<i>[Handwritten Signature]</i>			
		2. Penulangan pelat lebih baik di samakan dan ujung ke-ujung		B	C	K
		3. Denah arsitektur digambar ulang				
		4. Detail pelat digambar jika menggunakan penulangan per hape		B	C	K
8.	10 Januari 20	1. Menjelaskan tahapan metodologi dan alasan pemilihan tipe base isolation	<i>[Handwritten Signature]</i>	B	C	K
		2. Mencoba perbandingan SRPMB dual system untuk membandingkan.				
		3. Menyimpulkan keuntungan yang didapat menggunakan HDRB		B	C	K
		4. Menjelaskan kapasitas penampang yang gagal setiap portal / lantai				
		5. Menjelaskan alasan kenapa tidak ada perubahan volume beton.		B	C	K
		6. Tumpuan pelat 1/4 hp				

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

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

**ALTERNATIF PENGGUNAAN *SEISMIC BASE ISOLATION*
HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) PADA
STRUKTUR GEDUNG PASCA SARJANA IV UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH MALANG (UMM)**

Nama Mahasiswa : Thaliah Luthfitawati Noerhamidy
NRP : 10111610013091
Departemen : Teknik infrastruktur Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing : Nur Ahmad Husin, ST., M.T.
NIP : 19720115 199802 1 001

ABSTRAK

Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) merupakan gedung beton bertulang 10 lantai dengan struktur *dual system* yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *shear wall*. Pada analisa Proyek Akhir ini, dilakukan perencanaan ulang menggunakan sistem isolasi dasar *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Hal ini bertujuan untuk mengetahui respon bangunan terhadap beban gempa yang lebih besar. Penggunaan HDRB dapat mereduksi beban gempa pada bangunan, sehingga cocok digunakan pada daerah dengan kelas situs gempa SD-SF. Jenis sistem isolasi ini memiliki penurunan transisi kekakuan yang lebih halus dan nilai kemampuan redaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis lainnya.

Perencanaan dilakukan melalui 4 tahap permodelan struktur, yaitu tahap 1 permodelan kondisi eksisting bangunan SRPMK dengan *shear wall*, tahap 2 permodelan SRPMB dengan *shear wall*, tahap 3 permodelan SRPMB dan tahap 4 permodelan SRPMB dengan HDRB. Pada permodelan tahap 1 hingga 3 diberikan pembebanan gempa respons spektrum. Namun pada permodelan tahap 4 diberikan pembebanan gempa respons spektrum komposit akibat penggunaan sistem isolasi dasar. Hasil dari keempat permodelan tersebut dilakukan analisa kontrol struktur sesuai standar perencanaan. Dikarenakan tujuan

Proyek Akhir untuk mengetahui pengaruh HDRB terhadap beban gempa yang tinggi (SRPMB nilai $R=3$), maka pada permodelan tahap 3 dan tahap 4 dilakukan perbandingan output gaya dalam untuk mengetahui reduksi yang terjadi. Tahap selanjutnya melakukan perhitungan struktur atas dan struktur bawah yang akan dijelaskan pada penggambaran teknik.

Proyek Akhir ini mendapatkan hasil bahwa dengan penggunaan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dapat mereduksi gaya geser dasar bangunan arah X mencapai 68,14% dan arah Y mencapai 69,94%. Berdasarkan hasil analisa rasio gaya dalam, terdapat reduksi gaya aksial sebesar 55,5%, gaya geser sebesar 34,6%, gaya torsi sebesar 27,9%, dan momen sebesar 40% pada elemen struktur utama. Sedangkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan struktur eksisting maupun struktur isolasi dasar HDRB Gedung Pasca Sarjana IV UMM, menunjukkan bahwa terdapat reduksi tulangan balok sebesar 24,39% dan tulangan kolom sebesar 36,38%. Maka perencanaan Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) menjadi lebih efisien dan tahan terhadap beban gempa yang tinggi.

Kata kunci : *Dual System, Seismic Isolation, HDRB, SRPMB, SRPMK*

**ALTERNATIVE DESIGN OF STRUCTURAL BUILDING OF
PASCA SARJANA IV UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
MALANG (UMM) USING SEISMIC ISOLATION HIGH
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)**

Name : Thaliah Luthfitawati Noerhamidy
NRP : 10111610013091
Departement : Teknik infrastruktur Sipil FV-ITS
Supervisor : Nur Ahmad Husin, ST., M.T.
NIP : 19720115 199802 1 001

ABSTRACT

Pasca Sarjana IV University of Muhammadiyah Malang (UMM) is a 10 story reinforced concrete building with dual system structure, namely the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) and shear wall. In this Final Project, re-planning is done using a basic High Damping Rubber Bearing (HDRB) isolation system with an Ordinary Moment Resisting Frame System (SRPMB). It aims to determine the response of buildings to a greater earthquake load. The use of HDRB can reduce earthquake loads in buildings, making it suitable for use in areas with SD-SF earthquake site classes. This type of isolation system has a more decrease in stiffness transition and a higher damping capability value compared to other types.

Planning is carried out through 4 step of structural modeling, step 1 modeling the existing condition of SRPMK buildings with shear walls, step 2 modeling SRPMB with shear walls, step 3 modeling SRPMB and step 4 modeling SRPMB with HDRB. In the modeling step 1 to 3 earthquake load response is given. However, in step 4 modeling, earthquake load response of composite spectrum is given due to the use of a basic isolation system. The results of the fourth modeling analyzes of the control structure in accordance with planning standards. Because of the goal of Final Project is to determine the effect of HDRB on high earthquake loads (SRPMB value of $R = 3$), the modeling of step 3 and

step 4 compares the internal force output to determine the reduction. The next step is to calculate the structure of the upper and lower structure which will be explained in the description of the technique.

This Final Project gets the result that with the use of High Damping Rubber Bearings (HDRB) can reduce the basic shear force of the building X direction reaches 68.14% and Y direction reaches 69.94%. Based on the analysis of internal force ratios, there is reduction in axial force of 55.5%, shear force of 34.6%, torque of 27.9%, and moments of 40% on the main structural elements. While the results of the calculation of the need for reinforcement of the existing structure and the basic insulation structure of the HDRB Pasca Sarjana IV UMM Building, showed that there was a reduction in beam reinforcement by 24.39% and column reinforcement by 36.38%. So the planning of the Pasca Sarjana IV of University of Muhammadiyah Malang (UMM) becomes more efficient and resistant to high earthquake loads.

Keywords : Dual System, Seismic Isolation, HDRB, SRPMB, SRPMK

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan proposal proyek akhir yang berjudul “Alternatif Penggunaan Seismic *Base Isolation High Damping Rubber Bearing* (HDRB) Pada Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM)” dengan tepat waktu. Proposal proyek akhir ini merupakan implementasi ilmu yang telah didapat selama perkuliahan di Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa proposal proyek akhir tidak akan terlaksana tanpa bantuan, bimbingan serta pengarahan dari beberapa pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia dan kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal Proyek Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan moril maupun materiil serta selalu mendoakan sehingga dapat menyelesaikan Proyek Akhir ini.
3. Bapak Nur Ahmad Husin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, motivasi serta kesempatan dalam penyusunan Proyek Akhir.
4. Seluruh dosen pengajar serta karyawan Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS yang telah membimbing selama masa perkuliahan.
5. Vaneza Octavianny, Denny Eric selaku partner asistensi yang telah banyak memberikan dukungan, motivasi, kebahagiaan, dan keluh kesah selama proses pengerjaan Proyek Akhir.
6. Satria Nauval, Jade Rosida yang telah memberikan semangat, motivasi, kebahagiaan maupun keluh kesah selama pengerjaan Proyek Akhir.

7. Wildan Aziz, Nuriy Destriani yang telah memberikan ilmu, dukungan serta data bangunan pada Proyek Akhir ini.
8. Semua teman-teman dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang selama ini telah mendukung dan berpartisipasi dalam membantu menyelesaikan penyusunan Proyek Akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan Proyek Akhir ini masih terdapat kekurangan didalamnya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Besar harapan penulis semoga Proyek Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 27 Januari 2020

Penulis

Thaliah Luthfitawati Noerhamidy

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum	5
2.2 Konsep Seismic Base Isolation	6
2.3 Jenis-jenis Seismic Base Isolation Bearing	8
2.3.1 Lead Rubber Bearing (LRB)	8
2.3.2 High Damping Rubber Bearing (HDRB).....	8
2.4 Karakteristik Seismic Base Isolation HDRB	10
2.5 Teori Seismic Base Isolation berdasarkan SNI 03-1726:2012	11
2.5.1 Perpindahan Rencana.....	11
2.5.2 Periode Efektif pada saat Perpindahan Rencana	12
2.5.3 Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi	13
2.5.4 Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi.....	14
2.5.5 Pemeriksaan dan Penggantian Sistem Isolasi.....	15
2.6 Prosedur Perencanaan Dimensi Seismic Base Isolation HDRB ...	16
2.7 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	17
2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa	19

2.8.1 Analisis Spektrum Ragam.....	19
2.9 Analisis Pembebanan.....	20
2.9.1 Beban Mati.....	20
2.9.2 Beban Hidup.....	20
2.9.3 Beban Angin.....	21
2.9.4 Beban Gempa.....	21
2.9.5 Beban Tanah Lateral.....	30
2.9.6 Kombinasi Pembebanan.....	30
BAB 3.....	31
METODOLOGI.....	31
3.1 Diagram Alir Penyelesaian Proyek Akhir.....	31
3.1.1 Analisis Tahap 1.....	33
3.1.2 Analisis Tahap 2.....	34
3.1.3 Analisis Tahap 3.....	35
3.1.4 Analisis Tahap 4.....	36
3.2 Pengumpulan Data.....	37
3.3 Permodelan Struktur Fixed Based.....	39
3.4 Permodelan Struktur menggunakan HDRB.....	41
3.4.1 Beban Hidup (LL).....	46
3.4.2 Beban Gempa.....	46
3.4.3 Kombinasi Pembebanan.....	47
3.5 Output Gaya Dalam.....	48
3.6 Kontrol Struktur.....	48
3.7 Redesign Penampang Elemen Struktur dengan Metode Trial Error pada SAP 2000.....	49
3.8 Perencanaan Struktur Atas dan Struktur Bawah.....	50
3.8.1 Pelat Lantai.....	50
3.8.2 Tangga.....	52
3.8.3 Balok.....	52
3.8.4 Kolom.....	59
3.8.5 Retaining Wall.....	62
3.8.6 Pondasi.....	63
BAB 4.....	67
ANALISIS PEMBEBANAN.....	67

4.1 Beban Mati (Dead Load)	67
4.2 Beban Hidup (Live Load)	69
4.3 Beban Air Hujan (Rain Load)	69
4.4 Beban Angin (Wind Load)	69
4.5 Beban Gempa	71
4.6 Kombinasi Pembebanan	76
BAB 5.....	79
PRELIMINARY STRUKTUR HDRB	79
5.1 Perhitungan Dimensi HDRB.....	79
5.2 Perhitungan Respons Spektrum Komposit	87
5.3 Perencanaan Basement	88
5.3.1 Perencanaan Retaining Wall	89
5.3.2 Perhitungan Dilatasi.....	91
BAB 6.....	93
ANALISIS STRUKTUR GEDUNG EKSISTING	93
6.1 Analisis Struktur Tahap 1	93
6.1.1 Kontrol Periode Fundamental Bangunan	93
6.1.2 Kontrol Partisipasi Massa	95
6.1.3 Kontrol Gaya Geser Dasar Bangunan	95
6.1.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai	96
6.1.5 Kontrol Kapasitas Penampang	98
6.2 Analisis Struktur Tahap 2	99
6.2.1 Kontrol Periode Fundamental Bangunan	99
6.2.2 Kontrol Partisipasi Massa	100
6.2.3 Kontrol Gaya Geser Dasar Bangunan	100
6.2.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai	101
6.2.5 Kontrol Kapasitas Penampang	102
6.3 Analisis Struktur Tahap 3	103
6.3.1 Kontrol Periode Fundamental Bangunan	103
6.3.2 Kontrol Partisipasi Massa	104
6.3.3 Kontrol Gaya Geser Dasar	104
6.3.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai	105
6.3.5 Kontrol Kapasitas Penampang	106
6.4 Analisis Struktur Eksisting SRPMB dengan HDRB	108

6.4.1 Kontrol Periode Fundamental	108
6.4.2 Kontrol Rasio Partisipasi Massa.....	108
6.4.3 Kontrol Gaya Geser Dasar	109
6.4.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai	120
6.4.5 Kontrol Kapasitas Penampang	123
BAB 7.....	125
PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS.....	125
7.1 Perencanaan Pelat Lantai.....	125
7.1.1 Pembebanan Pelat Lantai	125
7.1.2 Pelat 2 Arah	128
7.1.3 Pelat 1 Arah	137
7.2 Pelat Tangga.....	145
7.2.1 Data Perencanaan.....	145
7.2.2 Analisis Struktur Gaya Dalam.....	145
7.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga.....	146
7.2.4 Rekapitulasi Perhitungan Pelat Tangga	148
7.3 Pelat Bordes	149
7.3.1 Data Perencanaan.....	149
7.3.2 Analisis Struktur Gaya Dalam.....	149
7.3.3 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes.....	150
7.3.4 Rekapitulasi Perhitungan Pelat Tangga	152
7.4 Struktur Balok	153
7.4.1 Balok Induk (B1).....	153
7.5 Struktur Kolom.....	176
7.5.1 Kolom K1	176
BAB 8 PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH	209
8.1 Retaining Wall	209
8.1.1 Data Perencanaan.....	209
8.1.2 Perhitungan Tulangan Retaining Wall.....	210
8.1.3 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Retaining Wall.....	213
8.2 Pelat Basement	213
8.2.1 Data Perencanaan.....	213
8.2.2 Perhitungan Tulangan Pelat Basement	214
8.2.3 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pelat Basementt	217

8.3 Sloof	217
8.3.1 Sloof (S1)	217
8.4 Pondasi.....	240
8.4.2 Data Perencanaan.....	241
8.4.3 Perencanaan Tipe Pondasi.....	246
8.4.4 Pondasi (P1)	246
8.4.5 Kontrol Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Gaya Horisontal.....	261
BAB 9.....	265
ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR FIXED BASED DENGAN STRUKTUR HDRB	265
9.1 Rekapitulasi Gaya Dalam Elemen Struktur	265
9.2 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Struktur.....	267
9.2.1 Elemen Balok	267
9.2.2 Elemen Kolom.....	279
BAB 10.....	281
METODE PELAKSANAAN PEMASANGAN DAN PEMELIHARAAN HDRB	281
10.1 Metode Pelaksanaan Pemasangan HDRB	281
10.1.1 Pemasangan Tulangan Kolom Pedestal Bawah.....	281
10.1.2 Pemasangan Base Plate	282
10.1.3 Pengecoran Kolom Pedestal Bawah	284
10.1.4 Grouting	286
10.1.5 Pemasangan Rubber Bearing dan Top Plate	286
10.1.6 Pekerjaan Kolom Pedestal Atas.....	289
10.2 Metode Pelaksanaan Pemeliharaan HDRB.....	290
BAB 11.....	293
PENUTUP	293
11.1 Kesimpulan	293
11.2 Saran	293
DAFTAR PUSTAKA	295
BIODATA PENULIS	297
LAMPIRAN	299

“ Halaman ini sengaja dikosongan ”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Denah Lokasi Gedung Pasca Sarjana IV UMM.....	6
Gambar 2. 2 Respon Bangunan Fixed Based dan Seismic Base Isolation	6
Gambar 2. 3 Lead Rubber Bearing	8
Gambar 2. 4 High Damping Rubber Bearing	9
Gambar 2. 5 Pemasangan HDRB pada Hotel Ibis Padang.....	10
Gambar 2. 6 Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB)	11
Gambar 2. 7 Perilaku Sistem Rangka Pemikul Momen.....	18
Gambar 2. 8 Gaya Beban Angin	21
Gambar 2. 9 Parameter percepatan respons spectral MCE periode pendek, S_s	25
Gambar 2. 10 Parameter percepatan respons spectral MCE periode 1 detik, S_1	25
Gambar 2. 11 Spektrum Respon Desain	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Proyek Akhir	32
Gambar 3. 2 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 1	33
Gambar 3. 3 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 2.....	34
Gambar 3. 4 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 3.....	35
Gambar 3. 5 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 4.....	37
Gambar 3. 6 Perspektif Gedung Pasca Sarjana IV UMM.....	37
Gambar 3. 7 Permodelan Struktur Eksisting Fixed Based Dual System.....	39
Gambar 3. 8 Permodelan Struktur Eksisting Fixed Based Tanpa Shearwall.....	40
Gambar 3. 9 Perletakan jepit pada permodelan Fixed Based dengan dimensi eksisting	40
Gambar 3. 10 Detail Elemen HDRB.....	41
Gambar 3. 11 Diagram Alir Perencanaan Dimensi HDRB.....	42
Gambar 3. 12 Permodelan seismic isolator	43
Gambar 3. 13 Input spesifikasi HDRB	43
Gambar 3. 14 <i>Input directional properties</i> U2 & U3	44

Gambar 3. 15 Permodelan Struktur dengan HDRB.....	45
Gambar 3. 16 Ilustrasi Perhitungan Lentur Balok	52
Gambar 3. 17 Gaya Geser pada Kolom	60
Gambar 3. 18 Bentang Bersih Kolom dan Balok	60
Gambar 3. 19 Skema Tekanan Pada Retaining Wall	62
Gambar 3. 20 Intensitas Daya Dukung Pada Ujung Tiang	64
Gambar 3. 21 Penentuan Panjang Ekuivalen	64
Gambar 4. 1 Pengaruh angin pada dinding	71
Gambar 4. 2 Nilai S_s percepatan batuan dasar pada periode 0,2 detik ..	73
Gambar 4. 3 Nilai S_1 percepatan batuan dasar pada periode 0,1 detik ..	73
Gambar 4. 4 Parameter Gempa Kota Malang	73
Gambar 4. 5 Grafik respons spektrum desain	76
Gambar 5. 1 Denah Kolom dan Denah Pemasangan HDRB	79
Gambar 5. 2 Brosur HDRB Bridgestoneo.....	83
Gambar 5. 3 Grafik Respons Spektrum Komposit	88
Gambar 5. 4 Skema Tekanan Pada Retaining Wall.....	89
Gambar 6. 1 Posisi Penampang Analisis Tahap 1 yang Tidak Kuat	98
Gambar 6. 2 Posisi Penampang Analisis Tahap2 yang Tidak Kuat	102
Gambar 6. 3 Posisi Penampang yang Tidak Kuat	107
Gambar 6. 4 Grafik Respons Spektrum SAP 2000.....	109
Gambar 6. 5 Perbedaan Simpangan Antar Lantai Arah X	122
Gambar 6. 6 Perbedaan Simpangan Antar Lantai Arah Y	122
Gambar 6. 7 Hasil Kontrol Kapasitas Penampang Analisis Tahap 4 ..	123
Gambar 7. 1 Denah Pelat Dua Arah yang ditinjau	128
Gambar 7. 2 Denah Pelat Satu Arah yang ditinjau	138
Gambar 7. 3 Koefisien Momen Pelat Satu Arah	140
Gambar 7. 4 Lokasi Tangga Tipe 1	145
Gambar 7. 5 Momen 1-1 Pelat Tangga Tipe 1	146
Gambar 7. 6 Momen 2-2 Pelat Tangga Tipe 1	146
Gambar 7. 7 Lokasi Tangga Tipe 1	149

Gambar 7. 8 Diagram Momen Tangga Tipe 1	150
Gambar 7. 9 Denah Pembalokan B1 yang Ditinjau	153
Gambar 7. 10 Output Momen dan Gaya Geser Area Tumpuan B1	154
Gambar 7. 11 Output Gaya Momen & Geser Area Lapangan B1	155
Gambar 7. 12 Output Gaya Torsi Maksimum	155
Gambar 7. 13 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar	174
Gambar 7. 14 Posisi Kolom K1 yang Ditinjau	177
Gambar 7. 15 Portal D, Posisi Kolom K1	177
Gambar 7. 16 Output Aksial (1,4D).....	179
Gambar 7. 17 Output Aksial (1,2D+1,6L)	179
Gambar 7. 18 Output Aksial (1,2D + DX + 0,3DY + L).....	180
Gambar 7. 19 Output Aksial (1,2D + DY + 0,3DX + L).....	180
Gambar 7. 20 Output Momen M22 (1,2D + DX + 0,3DY + L).....	180
Gambar 7. 21 Output Momen M22 (1,2D + DY + 0,3DX + L).....	180
Gambar 7. 22 Output Momen M33 (1,2D + DX + 0,3DY + L).....	181
Gambar 7. 23 Output Momen M33 (1,2D + DY + 0,3DX + L).....	181
Gambar 7. 24 Output Momen M22 (1,2D + 1,6L + 0,5R).....	181
Gambar 7. 25 Output Momen M33 (1,2D + 1,6L + 0,5R).....	182
Gambar 7. 26 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom Arah X	186
Gambar 7. 27 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom Arah Y	192
Gambar 7. 28 Diagram Interaksi Kolom K1	196
Gambar 7. 29 Input Parameter K1 Desain SPColumn.....	198
Gambar 7. 30 Diagram Interaksi Aksial Momen K1	198
Gambar 7. 31 Output SP Column, Kapasitas Kolom K1	199
Gambar 7. 32 Output Mn SP Column untuk Geser Kolom K1	203
Gambar 8. 1 Posisi Retaining Wall pad Gedung Pasca Sarjana IV	209
Gambar 8. 2 Output Momen 2-2 Retaining Wall	210
Gambar 8. 3 Output Momen 1-1 Retaining Wall	210
Gambar 8. 4 Pelat Basementt	213
Gambar 8. 5 Output Momen 1-1 Pelat Basement.....	214
Gambar 8. 6 Output Momen 2-2 Pelat Basement.....	214
Gambar 8. 7 Denah Sloof yang Ditinjau	217
Gambar 8. 8 Output Momen dan Gaya Geser Area Tumpuan S1	219

Gambar 8. 9 Output Gaya Momen & Geser Area Lapangan S1	219
Gambar 8. 10 Output Gaya Torsi Maksimum S1	219
Gambar 8. 11 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar	238
Gambar 8. 12 Penentuan N.....	242
Gambar 8. 13 Menentukan nilai q_d/N	243
Gambar 8. 14 Perencanaan Dimensi Pilecap.....	248
Gambar 8. 15 Skema Geser Satu Arah (arah x)	252
Gambar 8. 16 Skema Geser Satu Arah (Arah Y).....	253
Gambar 8. 17 Skema Penulangan Pilecap (Arah X).....	257
Gambar 8. 18 Skema Penulangan Pilecap (Arah Y).....	259
Gambar 10. 1 Diagram Alir Metode Pelaksanaan Pemasangan HDRB	281
Gambar 10. 2 Tulangan Kolom Pedestal Bawah.....	282
Gambar 10. 3 Diagram Alir Pemasangan Base Plate	282
Gambar 10. 4 Pemotongan besi dudukan base plate	283
Gambar 10. 5 Pemasangan Base Plate	284
Gambar 10. 6 Diagram Alir Pengecoran Kolom Pedestal	284
Gambar 10. 7 Pemasangan bekisting kolom pedestal bawah.....	285
Gambar 10. 8 Pengecoran kolom pedestal bawah	285
Gambar 10. 9 Grouting base plate	286
Gambar 10. 10 Diagram alir pemasangan rubber bearing dan top plate	287
Gambar 10. 11 Mobilisasi HDRB	287
Gambar 10. 12 Pemasangan Rubber Bearing.....	288
Gambar 10. 13 Pemasangan baut bawah.....	288
Gambar 10. 14 Pemasangan top plate.....	288
Gambar 10. 15 Pengencangan baut dengan kunci momen.....	289
Gambar 10. 16 Diagram alir pekerjaan kolom pedestal atas.....	289
Gambar 10. 17 Inspeksi Pemeliharaan HDRB	290
Gambar 10. 18 Pengecekan Karat dan Baut.....	291
Gambar 10. 19 Pengecekan perpindahan horisontal.....	291
Gambar 10. 20 Pengecekan perpindahan vertikal	292
Gambar 10. 21 Cover HDRB	292

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien redaman BDatau BM	12
Tabel 2. 2 Faktor R, C_d , dan Ω_o untuk Sistem Penahan Gaya Gempa ...	19
Tabel 2. 3 Kategori Risiko Bangunan	22
Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 2. 5 Klasifikasi Situs Tanah	26
Tabel 2. 6 Koefisien Fa	27
Tabel 2. 7 Koefisien Fv	28
Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik	29
Tabel 3. 1 Data Material Struktur Utama Bangunan	38
Tabel 3. 2 Spesifikasi HDRB HL060X6R	41
Tabel 3. 3 Beban Mati Pada Struktur Gedung	46
Tabel 3. 4 Luas Minimum Tulangan	51
Tabel 3. 5 Panjang Penyaluran Tulangan Tarik	55
Tabel 3. 6 Faktor Modifikasi Penyaluran Tulangan Tarik	56
Tabel 3. 7 Faktor Modifikasi Kait Tulangan Tarik	58
Tabel 3. 8 Intensitas Gaya Gesek Dinding Tiang	65
Tabel 3. 9 Faktor Keamanan	65
Tabel 4. 1 Beban Mati Tambahan	67
Tabel 4. 2 Perhitungan Nilai N-SPT	72
Tabel 4. 3 Perhitungan respons spektrum desain	75
Tabel 5. 1 Spesifikasi <i>HDRB Bridgestone HH Series</i> Tebal 20 cm	79
Tabel 5. 2 Perencanaan Tipe HDRB dari Tiap Kolom	80
Tabel 5. 3 Spesifikasi HDRB	84
Tabel 5. 4 Perhitungan Respons Spektrum Komposit	87
Tabel 6. 1 Koefisien Periode Fundamental	93
Tabel 6. 2 Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode Dihitung	94
Tabel 6. 3 Periode Fundamental Aalisa Tahap 1	94

Tabel 6. 4 Partisipasi Massa Analisis Tahap 1	95
Tabel 6. 5 Kontrol Gaya Geser Dasar Analisis Tahap 1	96
Tabel 6. 6 Simpangan Ijin Antar Lantai.....	97
Tabel 6. 7 Kontrol simpangan antar lantai analisa tahap 1	98
Tabel 6. 8 Periode Fundamental Bangunan Analisis Tahap 2.....	99
Tabel 6. 9 Partisipasi Massa Analisis Tahap 2	100
Tabel 6. 10 Base Reactions Analisis Tahap 2	100
Tabel 6. 11 Geser Dasar Analisis Tahap 2	101
Tabel 6. 12 Kontrol Simpangan Antar Lantai	101
Tabel 6. 13 Periode Struktur Eksisting pada Modal	103
Tabel 6. 14 Partisipasi Massa Struktur Eksisting	104
Tabel 6. 15 Base Reactions Struktur Eksisting	105
Tabel 6. 16 Kontrol Gaya Geser Dasar Struktur Eksisting	105
Tabel 6. 17 Perhitungan Simpangan Antar Lantai Struktur Eksisting Arah X dan Arah Y	106
Tabel 6. 18 Periode Fundamental Struktur dengan HDRB	108
Tabel 6. 19 Rasio Partisipasi Massa Struktur dengan HDRB	108
Tabel 6. 20 Base Reactions Struktur dengan HDRB	109
Tabel 6. 21 Perhitungan Perpindahan Rencana HDRB	110
Tabel 6. 22 Kontrol Perpindahan Maksimum HDRB.....	112
Tabel 6. 23 Kontrol Gaya Gempa Lateral Struktur Di Bawah HDRB	115
Tabel 6. 24 Kontrol Gaya Gempa Lateral Struktur Di Atas HDRB	118
Tabel 6. 25 Perhitungan Simpangan Antar Lantai Struktur dengan HDRB Arah X dan Arah Y	121
Tabel 7. 1 Koefisien Momen Pelat	130
Tabel 7. 2 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai Dua Arah P1	137
Tabel 7. 3 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai Satu Arah P7	144
Tabel 7. 4 Momen Terbesar Pelat Tangga	146
Tabel 7. 5 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga 1.....	148
Tabel 7. 6 Momen Terbesar Pelat Tangga	150
Tabel 7. 7 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga 1.....	152
Tabel 7. 8 Rekap Output Gaya Dalam	155
Tabel 7. 9 Output Gaya Dalam Kolom K1.....	182

Tabel 7. 10 Rekap Hasil Perhitungan Ec, Ig, EI & EI/I	185
Tabel 7. 11 Output SAP Base Reactions.....	188
Tabel 7. 12 Output SAP Joint Displacement.....	188
Tabel 7. 13 Rekap Hasil Perhitungan Ec, Ig, EI & EI/I	191
Tabel 7. 14 Output SAP Base Shear	193
Tabel 7. 15 Output SAP Joint Displacement.....	194
Tabel 7. 16 Rekapitulasi Penulangan Kolom K1	208
Tabel 8. 1 Rekapitulasi Output Momen Retaining Wall.....	210
Tabel 8. 2 Rekapitulasi Penulangan Retaining Wall	213
Tabel 8. 3 Rekapitulasi Output Momen Pelat Basement	214
Tabel 8. 4 Rekapitulasi Penulangan Pelat Basementt.....	217
Tabel 8. 5 Rekap Output Gaya Dalam	219
Tabel 8. 6 Data Tanah Lokasi yang Ditinjau.....	240
Tabel 8. 7 Daya dukung tanah pada setiap kedalaman	245
Tabel 8. 8 Perencanaan Tipe Pondasi	246
Tabel 8. 9 Brosur tiang pancang WIKA BETON.....	247
Tabel 8. 10 Output Gaya Dalam Pondasi Joint 142.....	249
Tabel 8. 11 Rekapitulasi Tulangan Poer P1	261
Tabel 8. 12 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Gaya Horisontal.....	263
Tabel 9. 1 Rekapitulasi Gaya Aksial Elemen.....	265
Tabel 9. 2 Rekapitulasi Gaya Geser Elemen.....	266
Tabel 9. 3 Rekapitulasi Gaya Torsi Elemen.....	266
Tabel 9. 4 Rekapitulasi Momen Elemen	267
Tabel 9. 5 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Balok	267
Tabel 9. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Total Tulangan Lentur Balok.....	270
Tabel 9. 7 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Torsi Balok	270
Tabel 9. 8 Rekapitulasi Kebutuhan Total Tulangan Torsi Balok	270
Tabel 9. 9 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Balok Struktur Eksistung	271
Tabel 9. 10 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Balok Struktur HDRB.....	274

Tabel 9. 11 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Balok	277
Tabel 9. 12 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok	278
Tabel 9. 13 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Utama Kolom Struktur Eksisting	279
Tabel 9. 14 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Utama Kolom Struktur HDRB.....	279
Tabel 9. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Kolom Struktur Eksisting	279
Tabel 9. 16 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Kolom Struktur HDRB.....	280
Tabel 9. 17 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom.....	280

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk dalam kategori wilayah dengan potensi aktivitas seismik yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh pertemuan tiga lempeng utama bumi, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Gempa bumi yang cukup besar rentan terjadi di daerah plate boundary, terutama pada subduction zone yaitu daerah Sumatra dan Jawa bagian selatan.

Peristiwa gempa merupakan peristiwa dinamik yang akan menimbulkan getaran pada tanah, dan selanjutnya akan menggetarkan struktur yang ada di atas tanah tersebut. Bangunan bertingkat apabila terkena gaya gempa, akan mempunyai pola goyangan (mode shapes) sebanyak jumlah tingkatnya. Selain itu akan terjadi deformasi yang cukup besar pada lantai bangunan sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktural.

Mengingat masifnya kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan oleh gempa bumi, maka diperlukan upaya untuk mencegah timbulnya kerugian dan kerusakan yang lebih besar. Upaya yang paling efektif untuk menekan dampak yang ditimbulkan akibat gempa bumi adalah melalui perancangan struktur bangunan yang mampu meningkatkan ketahanan terhadap gaya gempa seperti penggunaan dinding geser, belt truss, dan damper.

Bangunan yang perlu didesain memiliki ketahanan gempa yang baik adalah bangunan yang mempunyai fungsi vital bagi masyarakat, yaitu 1) Bangunan dengan tingkat aktivitas manusia yang tinggi seperti gedung perkuliahan, pusat perbelanjaan dan hotel; 2) Bangunan yang mempunyai peran vital dalam keadaan darurat, seperti rumah sakit, dan pembangkit listrik; 3) Bangunan yang memiliki nilai sejarah, seperti museum, dan monumen; dan 4) Bangunan yang berfungsi sebagai pusat administrasi pemerintahan.

Salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk meningkatkan kinerja struktur secara signifikan terhadap gaya gempa

adalah sistem isolasi dasar (Seismic Base Isolation). Konsep utama dari sistem isolasi dasar adalah penerapan suatu elemen fleksibel di dasar bangunan yang mampu meningkatkan periode alami dan redaman struktur secara signifikan. Deformasi yang timbul ketika gempa kuat terjadi akan terpusat pada elemen fleksibel itu sendiri sedangkan struktur di atasnya akan berdeformasi menyerupai suatu badan kaku (rigid body). Menurut FEMA 451B, seismic base isolation dibedakan menjadi dua yakni elastomeric bearings (natural rubber bearing, high damping rubber bearing, lead rubber bearing) dan sliding bearing.

Dalam analisis ini digunakan jenis High Damping Rubber Bearing (HDRB) sebagai peredam gaya gempa. HDRB menggunakan bantalan karet untuk mengurangi getaran gempa dan lapisan lempengan baja berfungsi sebagai penambah kekakuan bantalan karet sehingga deformasi bangunan saat bertumpu tidak besar. Menurut katalog bridgestone, penggunaan HDRB dapat meningkatkan damping antara 17% hingga 24% pada shear strain 100%.

Berdasarkan hasil Standart Penetration Test (SPT) dari laboratorium tanah ITS, diketahui bahwa gedung perkuliahan Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) termasuk dalam kategori risiko IV kelas situs SD (tanah sedang) sesuai SNI 1726:2012. Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2012, maka gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pokok yang terkait dengan perencanaan Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan jenis High Damping Rubber Bearing (HDRB) yang optimal untuk struktur gedung Pasca Sarjana IV UMM ?

2. Bagaimana rasio gaya dalam struktur bangunan yang menggunakan High Damping Rubber Bearing (HDRB) dengan bangunan Fixed Based SRPMK ?
3. Bagaimana rasio kebutuhan tulangan struktur bangunan yang menggunakan High Damping Rubber Bearing (HDRB) dengan bangunan Fixed Based SRPMK ?
4. Bagaimana metode pemasangan High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada gedung Pasca Sarjana IV UMM ?
5. Bagaimana metode perawatan High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada gedung Pasca Sarjana IV UMM ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penyusunan laporan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui cara menentukan jenis High Damping Rubber Bearing (HDRB) yang optimal untuk struktur gedung Pasca Sarjana IV UMM.
2. Menganalisis rasio gaya dalam struktur bangunan yang menggunakan High Damping Rubber Bearing (HDRB) dengan bangunan Fixed Based SRPMK.
3. Menganalisis rasio kebutuhan tulangan pada struktur bangunan yang menggunakan High Damping Rubber Bearing (HDRB) dengan bangunan Fixed Based SRPMK.
4. Mengetahui metode pemasangan High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada gedung Pasca Sarjana IV UMM.
5. Mengetahui metode perawatan High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada gedung Pasca Sarjana IV UMM.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyusunan laporan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan ini tidak membahas mengenai manajemen konstruksi, analisis anggaran biaya, maupun segi arsitektural dan Mechanical Electrical, dan Plumbing (MEP).
2. Perhitungan beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan respon spectrum.
3. Metode pelaksanaan yang dibahas mengenai metode pelaksanaan pemasangan dan perawatan Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB).

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penyusunan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah wawasan mengenai perencanaan Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB) yang memenuhi persyaratan keamanan dan kestabilan struktur sesuai dengan peraturan terkait.
2. Menambah informasi pengaruh penggunaan Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada respon struktur bangunan terhadap gempa.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam perencanaan suatu bangunan harus memenuhi standar peraturan yang berlaku untuk meminimalisir segala kemungkinan yang dapat berakibat pada kegagalan struktur. Struktur bangunan dapat dirancang dengan mudah apabila beban-beban yang bekerja bisa ditentukan dengan pasti. Kapasitas bangunan dapat ditentukan sesuai dengan fungsinya, sehingga beban hidup dan beban mati dapat dihitung dengan kapasitas rencana. Tetapi beban akibat bencana alam yang mempengaruhi bangunan seperti beban angin dan beban gempa tidak dapat diidentifikasi dengan pasti. Hal ini perlu diperhitungkan dengan baik agar struktur tidak runtuh pada saat kondisi beban maksimal.

Untuk mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi, biasanya bangunan diperkuat dengan meningkatkan kekuatan maupun kekakuan bangunan. Pendekatan lain adalah dengan menggunakan sistem “Seismic Base Isolation” yaitu suatu sistem yang fleksibel dimana kekakuan bangunan diisolasi dari pondasi sehingga perpindahan (displacement) yang terjadi pada struktur atas semakin kecil.

Ada banyak jenis seismic base isolation, salah satunya High Damping Rubber Bearing (HDRB). Pada umumnya, HDRB memiliki nilai equivalent damping ratio yang tinggi. Atas dasar tersebut, maka dipilih HDRB sebagai alat peredam gempa yang dipasang dalam desain perencanaan Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM).

Gedung ini terletak di Jalan Raya Tlogomas No.246 Kota Malang. Gedung ini difungsikan sebagai gedung perkuliahan yang terdiri dari 1 lantai basement dan 9 lantai gedung perkuliahan. Bangunan ini sudah selesai dibangun, namun penulis ingin memberikan pembandingan berdasarkan uraian pada alinea sebelumnya. Dalam proyek

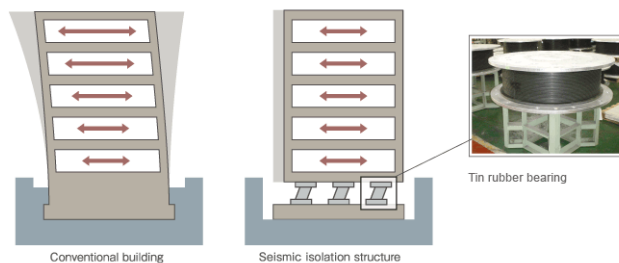
akhir ini, akan direncanakan alternatif desain struktur tahan gempa menggunakan Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB).



Gambar 2. 1 Denah Lokasi Gedung Pasca Sarjana IV UMM

2.2 Konsep Seismic Base Isolation

Seismic Base Isolation merupakan sistem isolasi dasar menggunakan material khusus peredam getaran yang terletak diantara bangunan dengan pondasi dasar untuk mencegah getaran gempa langsung mengenai struktur. Tujuannya untuk memperbesar waktu getar alami struktur (T) akibat gempa, sehingga beban gempa yang mengenai struktur menjadi lebih kecil dan tidak membahayakan struktur beserta isinya. (Tjokrodinuljo, 1993).



Gambar 2. 2 Respon Bangunan Fixed Based dan Seismic Base Isolation (Tatemono Official, 2016)

Dengan adanya base isolation, energi yang ditimbulkan oleh getaran tanah dapat diredam, sehingga menjadi sangat kecil dibandingkan apabila bangunan didirikan langsung di atas tanah tanpa base isolation, atau disebut dengan fixed base building (Gambar 2.2). Pada gambar tersebut nampak bahwa bangunan tanpa base isolation akan bergerak dengan kasar (apabila tanah bergetar), dan akan mengalami simpangan antar lantai yang sangat besar.

Respon maksimum suatu struktur terjadi bila waktu getar alami struktur rendah (dibawah 1 detik). Dengan demikian jika struktur mempunyai waktu getar alami lebih dari 1 detik maka respons struktur akan mengecil. seismic base isolation mempunyai beberapa kelebihan, antara lain :

1. Penggunaan isolator seismik memperbesar perioda alami struktur sehingga gaya gempa yang bekerja pada bangunan akan menjadi lebih kecil dan akan meningkatkan kenyamanan orang yang berada di dalamnya.
2. Interstory drift bangunan yang menggunakan isolasi seismik lebih kecil daripada bangunan konvensional yaitu mendekati nol sehingga bangunan lebih stabil.
3. Pada lantai dasar bangunan yang menggunakan isolator seismik memiliki perpindahan (displacement) yang lebih besar dari bangunan konvensional. Hal ini terjadi karena isolator yang terletak didasar bangunan isolasi seismik sangat fleksibel dalam arah horizontal yang memungkinkan terjadinya perpindahan pada dasar gedung.
4. Penggunaan isolator seismik pada bangunan dapat mereduksi gaya geser dasar (base shear). Base shear dipengaruhi oleh kekakuan efektif dan perpindahan dari isolator tersebut.

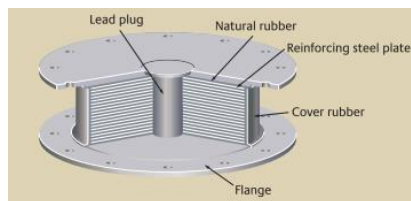
2.3 Jenis-jenis Seismic Base Isolation Bearing

Ada beberapa jenis seismic isolator yang dapat ditemukan, antara lain :

2.3.1 Lead Rubber Bearing (LRB)

Lead rubber bearing terbuat dari lapisan karet dan dipadu dengan lapisan baja, tetapi di tengahnya diberi rongga yang diisi dengan lead (perunggu) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Lapisan karet di vulkanisir sehingga bisa bergerak ke semua arah horizontal dan dilaminasi di antara lapisan baja yang mampu menahan beban aksial. Lead (perunggu) yang terletak di tengah berfungsi sebagai tempat penyerapan energi sehingga mampu mengurangi gaya gempa dan perpindahan (Naeim & Kelly, 1999).

Bantalan karet yang memiliki sumbat timah tertanam di pusat karet alam laminasi; di mana "karet alam laminasi" menunjukkan kemampuan pegas, sedangkan "cairan timah" menunjukkan kemampuan redaman. Hanya terdapat satu jenis bahan karet yang digunakan (disebut G0.40).

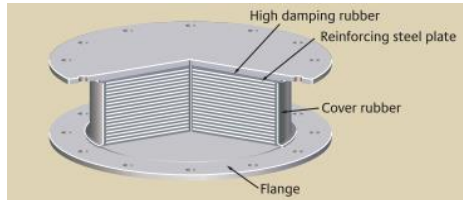


Gambar 2. 3 Lead Rubber Bearing
(Bridgestone, 2015)

2.3.2 High Damping Rubber Bearing (HDRB)

High Damping Rubber Bearing (HDRB) merupakan bantalan karet untuk mengurangi getaran gempa sedangkan lempengan baja yang terdapat pada lapisan berfungsi untuk menambah kekakuan bantalan karet sehingga defleksi dan deformasi bangunan saat bertumpu diatas bantalan karet tidak

besar Nilai modulus geser yang berubah – ubah terhadap regangan geser yang terjadi membuat hysteretic loop yang gemuk sehingga menghasilkan nilai equivalent damping ratio yang tinggi. Jenis Seismic Base Isolation ini umumnya tidak membutuhkan damping device tambahan.



Gambar 2. 4 High Damping Rubber Bearing
(Bridgestone, 2015)

Kelebihan lainnya dari Seismic Base Isolation tipe HDRB adalah transisi kekakuan $7k$, lebih halus jika dibandingkan dengan Seismic Base Isolation tipe Lead Rubber Bearing (LRB). Hal ini penting karena penurunan kekakuan secara tajam dapat menyebabkan efek vibrasi yang lebih besar dan merusak equipment yang sensitif terhadap vibrasi (Setiadi, 2014).

Di Indonesia sudah ada yang menerapkan HDRB yaitu pada struktur bangunan Hotel Ibis Padang. Hotel ini terletak di jalan Taman Siswa No. 1A Padang , Sumatera Barat. Luas banguann hotel sebesar 8.755 m^2 dan memiliki ketinggian 12 lantai. Bangunan Hotel Ibis berada di pusat kota Padang dan terletak pada zona 6 peta gempa Indonesia. Konsep perencanaan desain struktur gedung Hotel Ibis Padang, merupakan sistem bangunan penahan gempa dimana struktur bawah bangunan didukung sebanyak 21 unit Rubber Bearing Isolator untuk menahan redaman akibat gaya gempa seperti gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Pemasangan HDRB pada Hotel Ibis Padang
(Suardi, 2013)

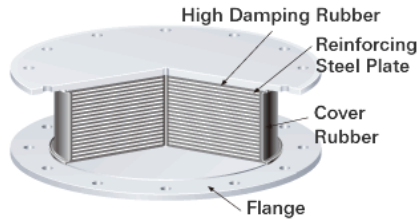
2.4 Karakteristik Seismic Base Isolation HDRB

High-damping rubber bearing merupakan salah satu jenis laminated rubber bearing yang terbuat dari campuran senyawa karet dengan nilai rasio redaman yang tinggi. High-damping rubber bearing memiliki nilai kekakuan awal yang tinggi sehingga mampu mengakomodasi gaya angin dan gempa ringan tanpa berdeformasi secara signifikan. Dengan meningkatnya eksitasi gempa maka deformasi lateral akan meningkat dan modulus geser dari rubber akan menurun dan menghasilkan sistem isolasi dasar yang efektif (cukup fleksibel untuk memperpanjang periode struktur).

Pada nilai regangan geser 250% hingga 300%, kekakuan horizontal akan meningkat kembali akibat pengaruh hardening effects. Pengaruh ini berfungsi sebagai “sekring” untuk membatasi deformasi yang melebihi batas gempa maksimum yang direncanakan. Rasio Damping HDRB berkisar antara 10%-25% pada regangan geser 100% menurut brosur Bridgestone Seismic Base Isolation.

High damping rubber bearing (Gambar 2) merupakan bahan anti seismik yang dikembangkan dari karet alam yang mempunyai kekakuan horizontal yang relatif kecil dan dicampur dengan extra fine carbon

block, oil atau resin, serta bahan isian lainnya sehingga meningkatkan damping antara 17% - 24%.



Gambar 2. 6 Seismic Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB)
(Aziiz dan Endah, 2017)

Bantalan pada sistem isolasi seismik harus didesain dengan cermat untuk memastikan agar bangunan yang ditopangnya tetap berdiri ketika dan setelah gempa terjadi serta mendapatkan dimensi struktur optimum (ekonomis) pada bangunan yang direncanakan.

2.5 Teori Seismic Base Isolation berdasarkan SNI 03-1726:2012

2.5.1 Perpindahan Rencana

Sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan perpindahan gempa lateral minimum, D_D , yang bekerja pada setiap arah sumbu horisontal utama struktur sesuai dengan pasal 12.5.3.1 yaitu persamaan berikut :

$$D_D = \frac{gS_{DT}T_D}{4\pi^2B_D} \quad (2. 1)$$

Dimana :

G = Percepatan gravitasi. Satuan g adalah mm/det^2 jika satuan untuk

perpindahan rencana, DD , dalam mm

S_{DT} = Parameter percepatan spektral rencana dengan redaman 5 persen pada
periode 1 detik

TD = Periode efektif struktur dengan isolasi seismik dalam detik, pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan (2.5)

BD = Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana, BD, seperti yang diatur pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Koefisien redaman B_D atau B_M

Redaman Efek, β_D atau β_M (presentase dari redaman kritis) ^{a,b}	Faktor B_D atau B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

^a = Koefisien redaman harus berdasarkan redaman efektif sistem isolasi yang

ditentukan menurut persyaratan

^b = Koefisien redaman harus berdasarkan interpolasi linier untuk nilai redaman

efektif diantara nilai nilai yang telah diberikan di atas

2.5.2 Periode Efektif pada saat Perpindahan Rencana

Periode efektif struktur yang diisolasi pada perpindahan rencana, TD, Harus ditentukan dengan menggunakan karakteristik deformasi sistem isolasi dan sesuai dengan pasal 12.5.3.2 yaitu persamaan berikut :

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D_{\min}} g}} \quad (2. 2)$$

Dimana :

- W = Berat seismik struktur di atas pemisah isolasi
 $k_{D_{\min}}$ = Kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada perpindahan rencana di arah horizontal yang ditinjau
g = Percepatan gravitasi

2.5.3 Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi

Sistem isolasi, pondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral min, V_b , dengan menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan sesuai dengan persamaan (Pasal 12.5.4.1) :

$$V_b = k_{D_{\max}} D_D \quad (2. 3)$$

Dimana :

- $k_{D_{\max}}$ = Kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horizontal yang ditinjau.
 D_D = Perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi diarah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan (2.1)
 V_b = Tidak boleh diambil kurang dari gaya maksimum pada sistem isolasi untuk perpindahan sembarang dan termasuk perpindahan rencana.

2.5.4 Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi

Struktur di atas sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum, V_s , menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan sesuai persamaan berikut (Pasal 12.5.4.2) :

$$V_s = \frac{k_{D_{\max}} D_D}{R_1} \quad (2.4)$$

dimana :

$k_{D_{\max}}$ = Kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horizontal yang ditinjau.

D_D = Perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi diarah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan (2.1)

R_1 = Koefisien numeric yang berhubungan dengan tipe sistem penahan gaya gempa diatas sistem isolasi

Faktor R_1 harus berdasarkan pada tipe sistem penahan gaya gempa yang digunakan untuk struktur diatas sistem isolasi dan harus bernilai 3/8 dari nilai R yang diberikan oleh tabel 9 (SNI-03.1726.2012), dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2,0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1,0.

Nilai V_s tidak boleh dari batasan berikut ini :

1. Gaya gempa untuk struktur yang terjepit di dasar dengan gempa efektif, W , yang sama, dan periodenya sama dengan periode struktur dengan isolasi seismik, T_D .
2. Gaya geser dasar untuk beban angin rencana terfaktor
3. Gaya gempa lateral yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi secara penuh (misal: tingkat lelah dari suatu

sistem yang melunak (softening system), kapasitas ultimit suatu sistem pengekang angin, atau tingkat friksi lepas dari suatu sistem gelincir (the break-away friction level of a sliding sistem).

2.5.5 Pemeriksaan dan Penggantian Sistem Isolasi

- a. Jalan atau akses untuk pemeriksaan dan penggantian semua komponen – komponen system isolasi harus disediakan
- b. Seseorang perencana professional terdaftar harus menyelesaikan suatu rangkaian pemeriksaan atau pengamatan di daerah – daerah pemisah struktur dan komponen – komponen yang melintasi batas pemisahan isolasi sebelum mengeluarkan sertifikat layak huni untuk struktur dengan isolasi seismic. Pemeriksaan dan pengamatan tersebut harus mengindikasikan bahwa keadaan memungkinkan struktur berpindah bebas dan tanpa rintangan pada tingkat perpindahan rencana maksimum. Semua komponen yang melintasi di batas pemisahan isolasi seperti yang terpasang dapat memikul perpindahan yang ditetapkan
- c. Struktur dengan isolasi seismic harus mempunyai suatu program pengawasan, pemeriksaan dan perawatan secara berkala terhadap system isolasi yang dilakukan oleh perencana professional terdaftar yang bertanggung jawab terhadap perencanaan system isolasi
- d. Pemodelan kembali, perbaikan, atau retro fitting di batas pemisah system isolasi, termasuk komponen – komponen yang melintasi batas pemisahan isolasi, harus dilakukan di bawah pengarahannya seorang perencana professional terdaftar.

2.6 Prosedur Perencanaan Dimensi Seismic Base Isolation HDRB

Untuk perhitungan dimensi Seismic Base Isolation HDRB dibutuhkan data mengenai gaya aksial kolom terbesar pada struktur fixed based. Data ini didapatkan dari output permodelan SAP 2000. Berikut merupakan langkah-langkah menentukan dimensi HDRB

1. Menentukan kekakuan horizontal (K_H)

$$K_H = \frac{w}{g} \times \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \quad (2.5)$$

Dimana :

K_H = kekakuan horizontal untuk satu rubber seismic isolator (N/mm^2)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

T_D = periode efektif struktur pada perpindahan rencana

2. Menentukan koefisien redaman (B_D)

Untuk menentukan koefisien redaman (B_D) dibutuhkan effective damping ratio yang terdapat pada catalog Bridgestone 2017. Setelah mengetahui effective damping ratio, maka koefisien redaman dapat dihitung sesuai dengan tabel 2.1.

3. Menghitung perpindahan rencana (D_D)

Untuk perhitungan perpindahan rencana (D_D) dapat dilihat pada persamaan 2.1.

4. Menghitung total tebal rubber (t_γ)

$$\gamma = \frac{D_D}{t_\gamma} \quad (2.6)$$

Sehingga,

$$t_\gamma = \frac{D_D}{\gamma} \quad (2.7)$$

Dimana :

t_Y = total lebar rubber (mm)

D_D = perpindahan rencana (mm)

γ = tegangan geser maksimum (%) yang dapat dilihat pada brosur

5. Menghitung luas rubber (A)

$$A = \frac{k_h \times tr}{G_{eq}} \quad (2. 8)$$

Dimana :

A = luas rubebr (m^2)

K_H = kekakuan horizontal untuk satu rubber Seismic Base Isolation (MN/m^2)

G_{eq} = modulus geser rubber (N/mm^2)

6. Menghitung diameter rubber (d)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (2. 9)$$

Dimana :

A = luas rubber (m^2)

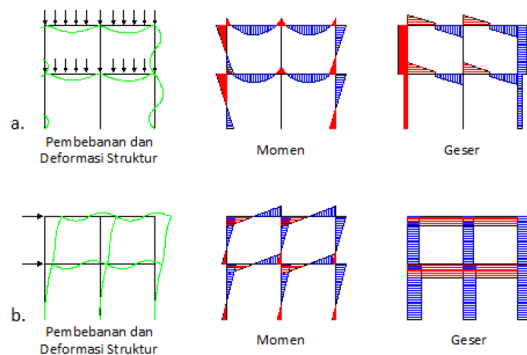
2.7 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Berdasarkan SNI 1726:2012, sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Rangka momen adalah rangka dimana komponen struktur dan joint menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial (SNI 2847:2013). Penentuan sistem rangka harus sesuai dengan tingkat kerawanan (resiko) daerah tempat struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa. Tingkat kerawanan tersebut dikatakan sebagai kategori desain seismik.

Kategori desain seismik (Seismic design category) adalah Klasifikasi yang ditetapkan untuk struktur berdasarkan pada kategori huniannya dan keparahan pergerakan tanah gempa rencana di lokasi, sebagaimana didefinisikan oleh tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal (SNI 2847:2013).



Gambar 2. 7 Perilaku Sistem Rangka Pemikul Momen

Perilaku yang ditunjukkan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dalam memikul beban gravitasi berbeda dengan perilaku ketika memikul beban lateral. Hal ini karena sistem ini diproporsikan untuk menahan gaya lateral dengan efektif. Perbedaan perilaku tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pola deformasi balok dan kolom cenderung memperlihatkan bentuk titik-titik berbelok pada tengah

bentang balok dan tengah tinggi kolom ketika struktur dikenai beban lateral

2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

SNI 2847:2013 Pasal 21.2 berisi persyaratan yang berlaku untuk rangka momen biasa yang menjadi sistem penahan gaya gempa. Berikut persyaratan untuk sistem rangka pemikul momen biasa:

1. Balok

Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua muka atas dan bawah. Tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan. (Pasal 21.2.2 SNI 2847:2013)

2. Kolom

Kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c_l harus didesain untuk geser. ϕV_n kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang terkecil dari:

- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh Ω_o .

2.8.1 Analisis Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012 besarnya gaya gempa pada struktur merupakan pembagian nilai spektrum respon dengan (R^a/I_e) . Dimana nilai koefisien modifikasi respon (R^a) berbeda tiap sistem struktur. Untuk sistem rangka pemikul momen khusus nilai dari $R = 8$ berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2012.

Tabel 2. 2 Faktor R , C_d , dan Ω_o untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dan semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{0v}	TI ^{0v}	TI
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^{0v}	TI ^{0v}	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	6	3	5½	TB	TB	30	30	TI
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

2.9 Analisis Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang direncanakan untuk struktur gedung mengacu pada SNI 1727:2013 dan PPIUG 1983. Untuk perencanaan bangunan tahan gempa mengacu pada SNI 1726:2012.

2.9.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bagian dari struktur yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan seperti plafon, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektural lainnya yang tidak terpisahkan dari struktur tersebut.

Berdasarkan SNI 1727:2013, beban mati yang digunakan harus sesuai dengan berat beban konstruksi yang sebenarnya maka digunakan brosur sebagai panduan.

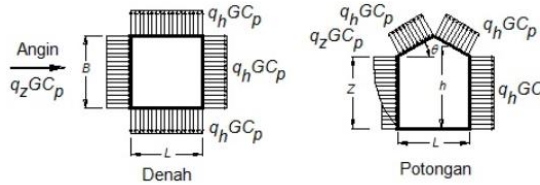
2.9.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu bangunan, termasuk beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah maupun peralatan yang dapat diganti selama masa hidup bangunan. Beban hidup diperhitungkan sesuai dengan jenis ruangan yang dipakai sesuai dengan SNI 1727:2013 Tabel 4.1 sebagai berikut:

$$\text{Beban ruang pertemuan} = 4,79 \text{ kN/ m}^2$$

Beban restoran	= 4,79 kN/ m ²
Beban ruang operasi rumah sakit	= 11,97 kN/ m ²
Beban rumah tinggal	= 1,92 kN/ m ²
Beban ruang kelas fasilitas pendidikan	= 1,92 kN/ m ²

2.9.3 Beban Angin



Gambar 2. 8 Gaya Beban Angin
(SNI 1727:2013)

Beban Angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (PPIUG:1983)

2.9.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban lateral yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh gerakan tanah yang merupakan akibat dari gempa bumi (baik gempa tektonik atau vulkanik) yang akan mempengaruhi struktur tersebut.

1. Kategori Resiko Struktur Bangunan

Kategori resiko bangunan dibedakan berdasarkan fungsi dari masing-masing bangunan. Faktor yang mempengaruhi tingkat resiko kategori bangunan seperti tingkat resiko terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan.

Tabel 2. 3 Kategori Risiko Bangunan
(SNI 1726:2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara 	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penangan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dim mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat. • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat. • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tepat perlindungan darurat lainnya • Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat • Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

2. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai SNI 1726:2012 Tabel 1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e).

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa
(SNI 1726:2012)

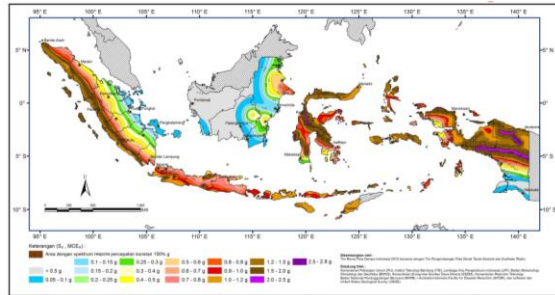
Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

3. Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

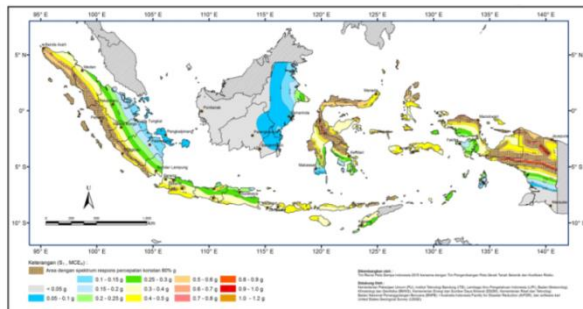
- Parameter percepatan terpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan

0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun.



Gambar 2. 9 Parameter percepatan respons spectral MCE periode pendek, S_s .
(SNI 1726:2012)



Gambar 2. 10 Parameter percepatan respons spectral MCE periode 1 detik, S_1 .
(SNI 1726:2012)

- **Klasifikasi Situs**

Klasifikasi situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismic berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Klasifikasi situs dibagi menjadi: SA, SB, SC, SD, SE, SF. Klasifikasi situs disesuaikan dengan SNI 1726:2012.

Tabel 2. 5 Klasifikasi Situs Tanah
(SNI 1726:2012)

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 - 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Indeks plastisitas, $PI > 20$ • Kadar air, $w \geq 40\%$ • Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti SNI 1726:2012 pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi $PI > 75$ • Lapisan lembung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa 		

Dalam perencanaan Gedung pascasarjana UMM menggunakan tahanan penetrasi rata-rata \bar{N} untuk penentuan klasifikasi situs

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_i} \quad (2.10)$$

1. Klasifikasi Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCE_R)
Percepatan respons spectrum MCE_R untuk periode singkat (SM_S) dan periode 1 detik (SM_1) dihitung berdasarkan SNI 1726:2012, sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.11)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.12)$$

Koefisien situs F_a dan F_v mengikuti SNI 1726:2012 Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2. 6 Koefisien F_a
(SNI 1726:2012)

Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s

Kelas Situs	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$
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				

- a. Nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linear
- b. $S_s =$ situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2. 7 Koefisien Fv
(SNI 1726:2012)

Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1

Kelas Situs	$S_s \leq 0.1$	$S_s = 0.2$	$S_s = 0.3$	$S_s = 0.4$	$S_s = 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS^B				

- a. Nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linear
 - b. $S_s =$ situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik
1. Parameter Percepatan Spektral Desain
 Parameter percepatan spektral desain untuk periode singkat (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dihitung sesuai SNI 1726:2012 persamaan 2.14 dan persamaan 2.15 :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.13)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.14)$$

2. Kategori Desain Seismik
 Kategori desain seismik dari struktur yang ditinjau diambil berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 6, ditinjau berdasarkan nilai S_{DS} dan kategori resiko bangunan.

Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik
(SNI 1726:2012)

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 < S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 < S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 < S_{DS}$	D	D

3. Spektrum Respon Desain

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

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

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.15)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan:

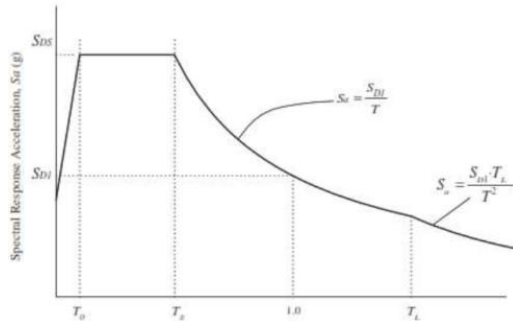
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.16)$$

Dimana :

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.17)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.18)$$

T_L = Periode panjang lihat gambar 2..



Gambar 2. 11 Spektrum Respon Desain
(SNI 1726:2012)

2.9.5 Beban Tanah Lateral

Dalam perancangan struktur di bawah tanah, dalam hal ini dinding basement atau retaining wall diberikan tekanan lateral tanah di sampingnya.

2.9.6 Kombinasi Pembebanan

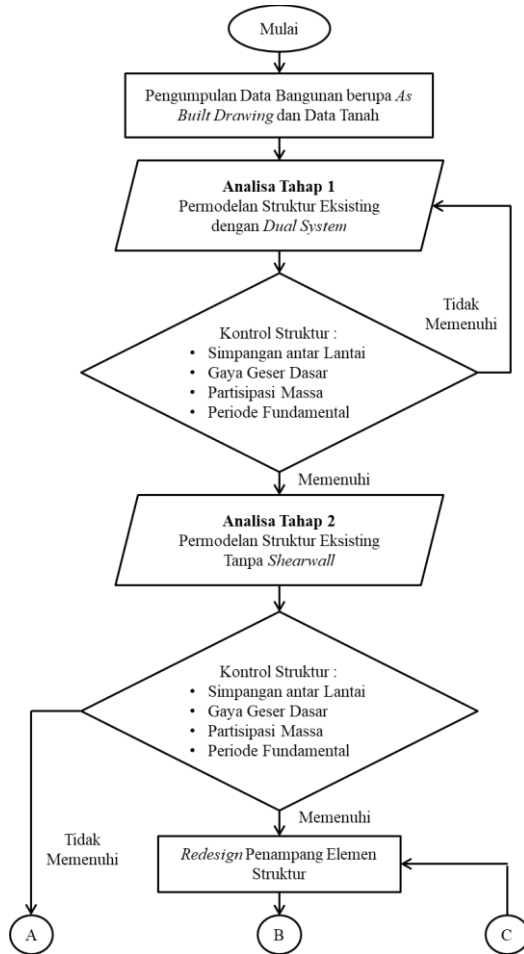
Berdasarkan beban-beban di atas maka komponen struktur harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan yang timbul akibat berbagai kondisi. Kombinasi beban ultimate untuk menghitung struktur atas sesuai dengan SNI 1726:2012, sebagai berikut:

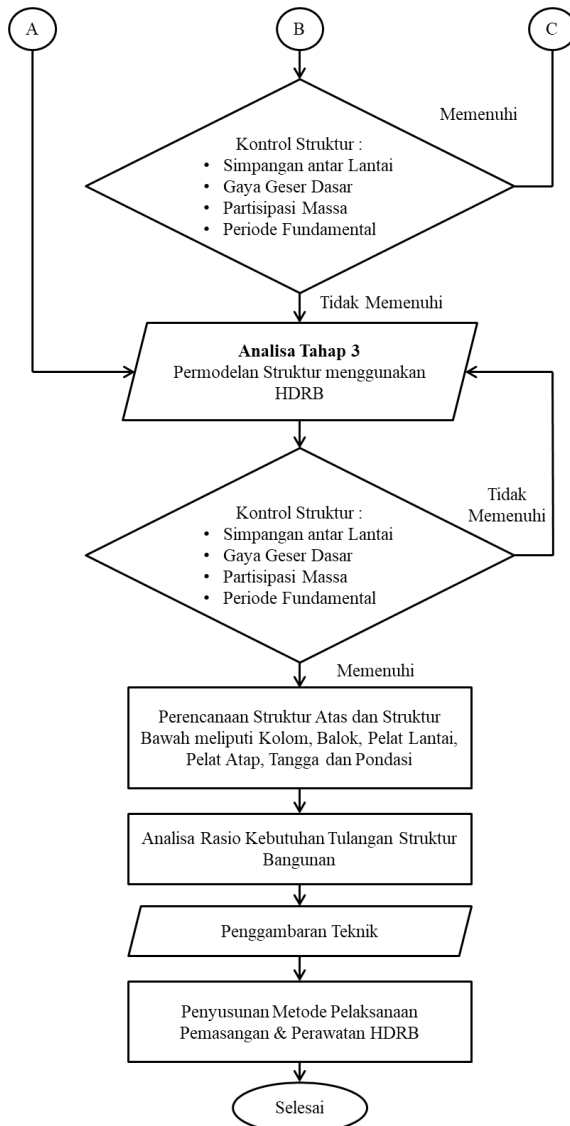
1. 1,4
2. 1,2D + 1,6L + 0,5R
3. 1,2D + 1,6R + 1,0L
4. 1,2D + 1,6R + 0,5W
5. 1,2D + 1,0L + 0,3Ex + 1,0Ey
6. 1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey
7. 0,9D + 1,0W
8. 0,9D + 1,0Ex + 0,3Ey
9. 0,9D + 0,3Ex + 1Ey

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penyelesaian Proyek Akhir

Berikut merupakan diagram alir dalam menyelesaikan proyek akhir ini :

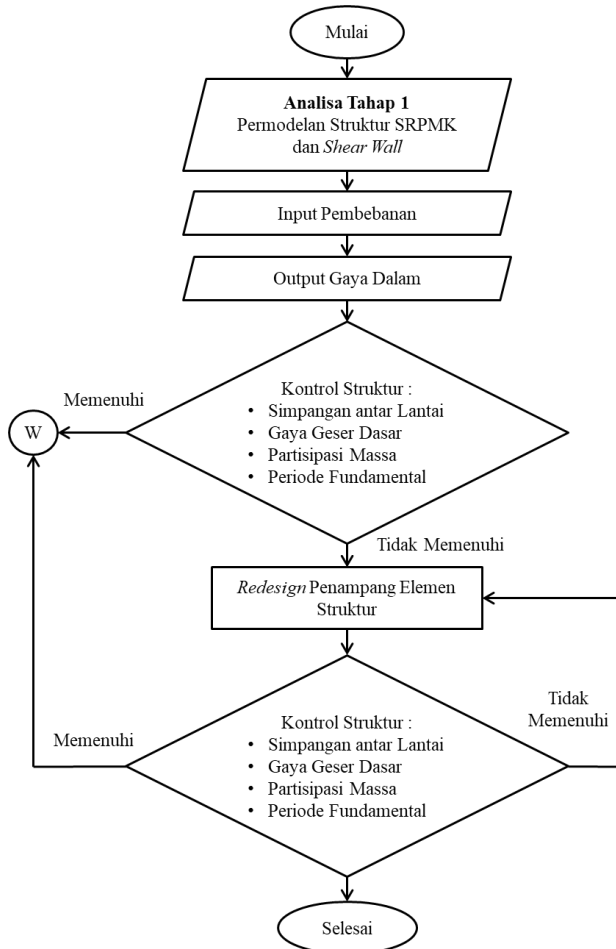




Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Proyek Akhir

3.1.1 Analisis Tahap 1

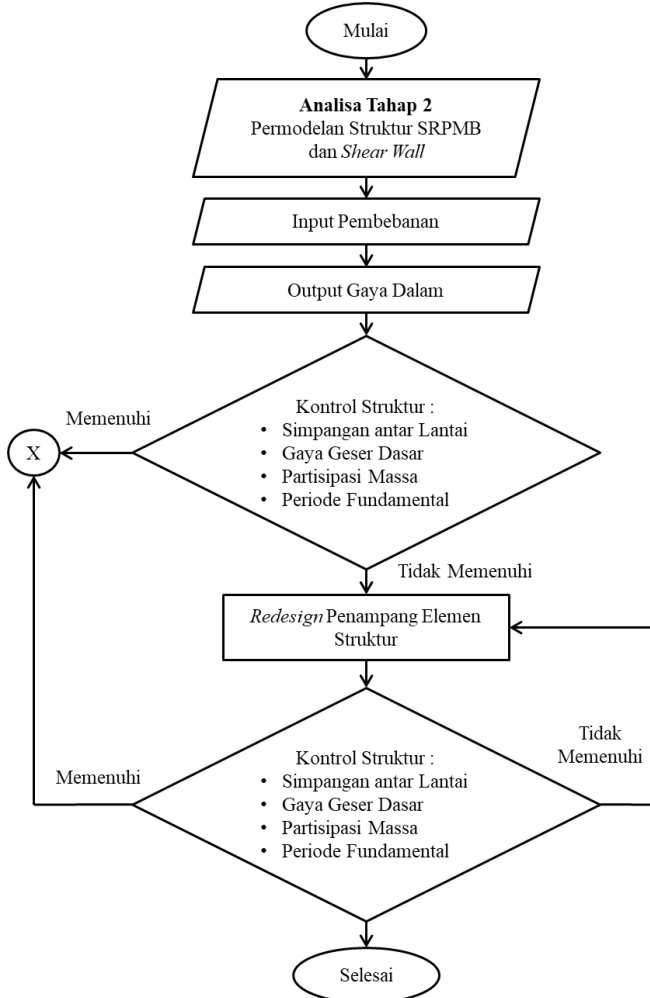
Analisis Tahap 1 dilakukan dengan kondisi sama dengan kondisi eksisting baik dimensi maupun sistem struktur *dual system* yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *shear wall*. Berikut merupakan diagram alir tahap 1 :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 1

3.1.2 Analisis Tahap 2

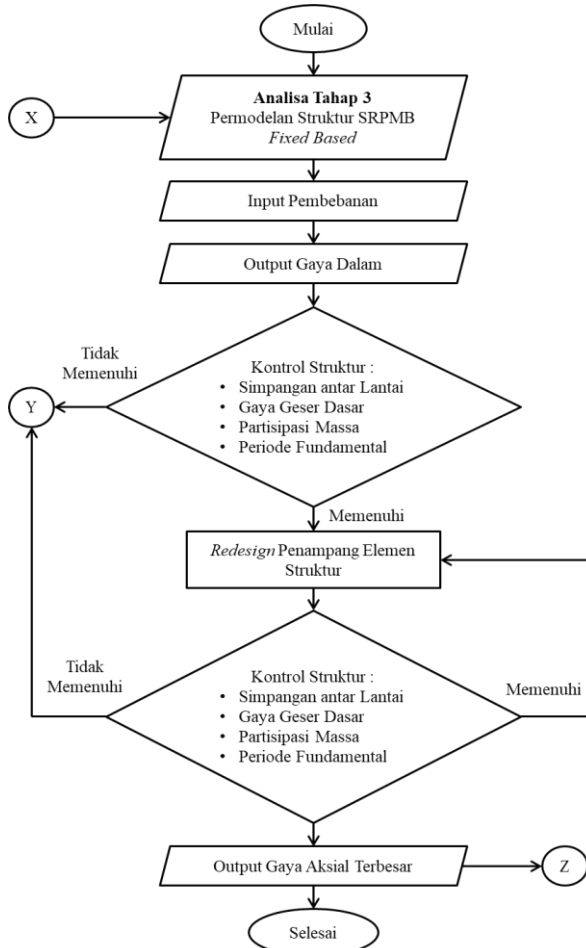
Analisis tahap 2 dilakukan dengan dimensi eksisting menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan *shear wall*. Berikut merupakan diagram alir tahap 2 :



Gambar 3. 3 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 2

3.1.3 Analisis Tahap 3

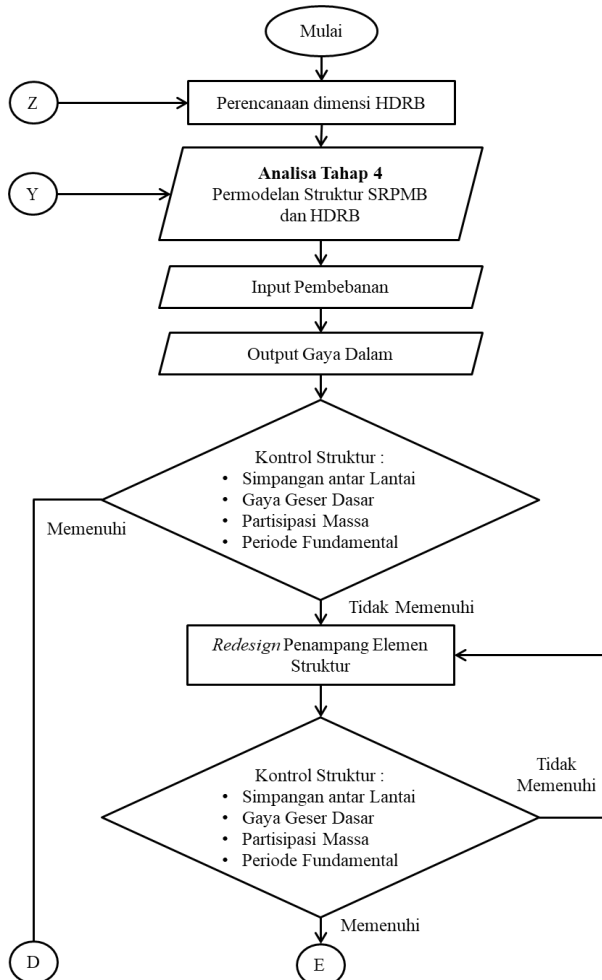
Analisis tahap 3 dilakukan dengan dimensi eksisting menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) *fixed based*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui respons bangunan eksisting apabila diberikan beban gempa yang lebih besar. Berikut merupakan diagram alir tahap 3 :

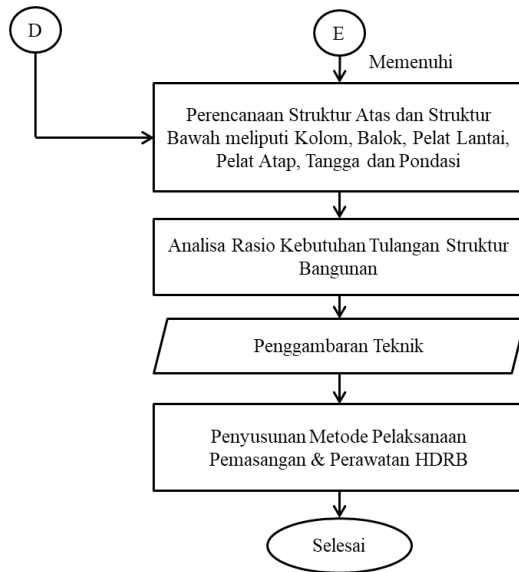


Gambar 3. 4 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 3

3.1.4 Analisis Tahap 4

Analisis tahap 4 dilakukan dengan dimensi eksisting maupun dimensi yang telah dimodifikasi menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Isolasi Dasar . Pada analisis ini, jenis *seismic isolation* yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) karena memiliki nilai damping ratio yang cukup besar dan memiliki transisi kekakuan yang cukup halus jika dibandingkan dengan jenis lainnya hal. Berikut merupakan diagram alir tahap 4 :





Gambar 3. 5 Diagram Alir Metodologi Analisis Tahap 4

3.2 Pengumpulan Data



Gambar 3. 6 Perspektif Gedung Pasca Sarjana IV UMM

1. Data Bangunan
 - Nama Gedung : Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM)
 - Lokasi : Jalan Raya Tlogomas No.246, Kec. Lowokwaru, Kota Malang
 - Fungsi : Gedung Perkuliahan
 - Tinggi : 40 m
 - Panjang : 64 m
 - Lebar : 23,5 m
 - Jumlah Lantai : 10 lantai
 - Area Gempa : Malang
 - Struktur Utama : Beton Bertulang
2. Data Material

Tabel 3. 1 Data Material Struktur Utama Bangunan

No	Struktur	Kuat Tekan Beton (fc)	Kuat Leleh Baja (fy)	
			Tulangan Lentur	Tulangan Geser
1	Kolom	30 MPa	400 MPa	240 MPa
2	Balok	30 MPa	400 MPa	240 MPa
3	Pelat Lantai	30 MPa	400 MPa	240 MPa

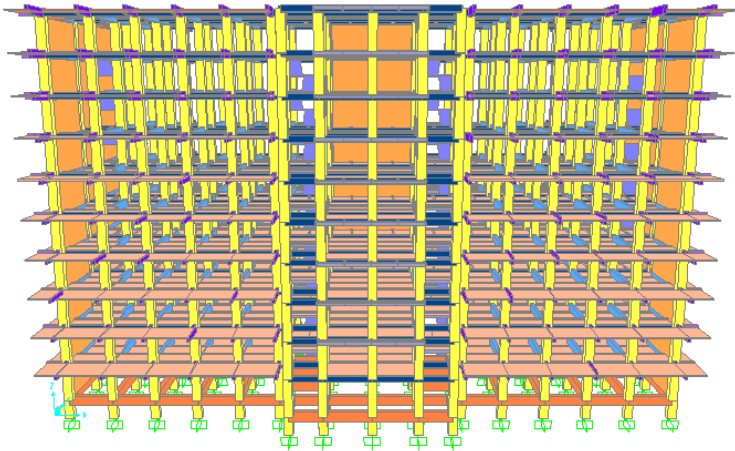
Data material Seismic Base Isolation terlampir pada brosur bridgestone 2017.

3. Data Gambar
 - Data gambar yang digunakan adalah gambar struktur dan gambar arsitektur (terlampir).
4. Data Tanah
 - Data tanah drilling log *Standart Penetration Test* (SPT) di Malang yang berasal dari Laboratorium Tanah Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

3.3 Permodelan Struktur *Fixed Based*

Sesuai dengan data dimensi eksisting Gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM), maka selanjutnya struktur bangunan dimodelkan menggunakan SAP 2000. Tujuannya untuk mendapatkan berat total bangunan dan beban aksial yang dimiliki oleh satu titik kolom bangunan yang berguna untuk perencanaan dimensi HDRB.

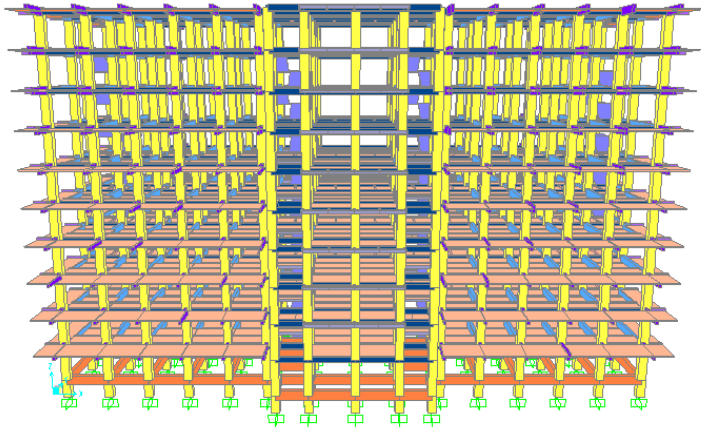
Permodelan struktur *fixed based* dilakukan dengan dua tahapan yaitu permodelan struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan kondisi eksisting bangunan kemudian dilakukan perubahan analisis menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dengan menghilangkan *shear wall*. Permodelan struktur *fixed based* seperti gambar di bawah ini.



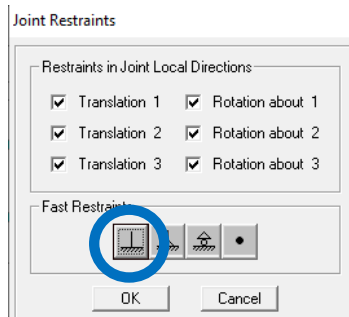
Gambar 3. 7 Permodelan Struktur Eksisting Fixed Based Dual System

Pada permodelan *Fixed Based* dengan dimensi eksisting seperti gambar diatas maka pada titik pondasi diatas pile cap terjadi reaksi terjepit penuh. Perletakan jepit adalah perletakan yang menciptakan kondisi kaku / monolit. Perletakan ini mempunyai beberapa sifat yaitu

mampu menahan momen, gaya horizontal dan gaya vertikal sehingga tidak dapat bergerak ke arah horizontal, vertikal dan juga tidak berputar. Sehingga pada permodelan *Fixed Based* dengan dimensi eksisting ini untuk Assign Joint Restraints dipilih perletakan jepit seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3. 8 Permodelan Struktur Eksisting Fixed Based Tanpa Shearwall



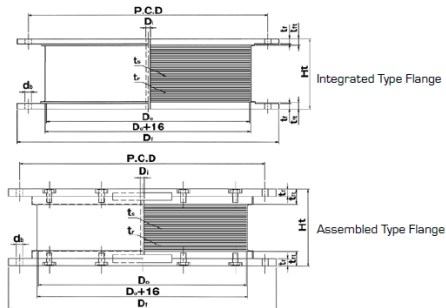
Gambar 3. 9 Perletakan jepit pada permodelan Fixed Based dengan dimensi eksisting

3.4 Permodelan Struktur menggunakan HDRB

Setelah mendapatkan output perhitungan SAP 2000 dari permodelan Fixed Based, maka selanjutnya dilakukan permodelan struktur menggunakan Seismic Base Isolation tipe HDRB. Adapun langkah-langkah untuk input seismic isolator pada program SAP 2000 di struktur yang direncanakan sebagai berikut :

3.4.1 Merencanakan Dimensi HDRB

Berdasarkan analisis fixed-based akan didapatkan reksi interior kolom terbesar untuk menentukan tipe atau spesifikasi seismic isolator HDRB yang akan digunakan. Untuk sementara ini menggunakan satu

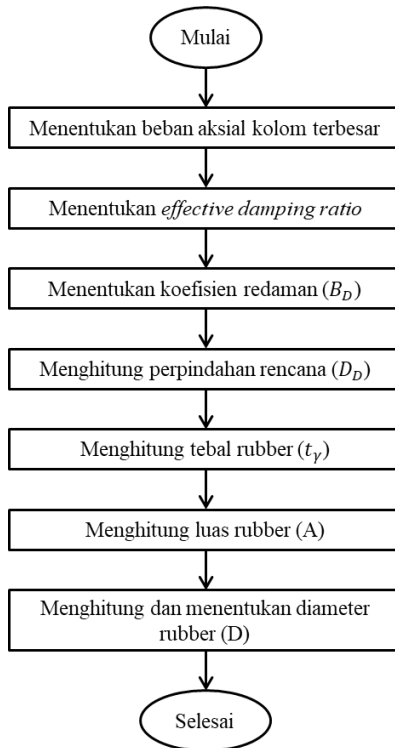


Gambar 3. 10 Detail Elemen HDRB
(Catalog Bridgestone, 2017)

Tabel 3. 2 Spesifikasi HDRB HL060X6R

Type	HH075X6R	HH085X6R	HH090X6R
Diameter (mm)	750	850	900
Fz,d (kN)	4710	7620	9540
Ned, max (kN)	4710	7620	9540
Kv (kN/mm)	3090	3970	4490
Kh (kN/mm)	1,37	1,76	1,99
Tr (mm)	200	200	198

Tipe	HH075X6R	HH085X6R	HH090X6R
H (mm)	376,9	413,1	410,8
W (kN)	8,9	12,9	14,6
L (mm)	1100	1200	1250
Damping Ratio (%)	24	24	24



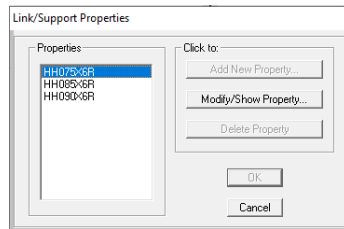
Gambar 3. 11 Diagram Alir Perencanaan Dimensi HDRB

3.4.2 Memodelkan HDRB pada SAP 2000

Berikut merupakan langkah-langkah input seismic isolator pada SAP 2000 sesuai dengan perencanaan struktur :

1. Modelkan perletakan seismic isolator :

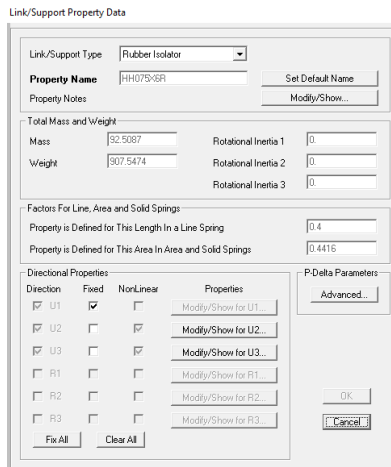
Define – section properties – Link/Support properties



Gambar 3. 12 Permodelan seismic isolator

Setelah itu, pilih “Add New Property” untuk menambah spesifikasi HDRB yang akan digunakan.

2. Input data spesifikasi dari dimensi HDRB



Gambar 3. 13 Input spesifikasi HDRB

Pada kolom “Link/Support Type” pilih jenis seismic isolator. Lalu tambahkan nama spesifikasi HDRB yang akan digunakan yaitu HDRB HH075X6R pada kolom “Property

Name”. Kemudian pada kolom “Total Mass and Weight”, untuk “Mass” masukkan nilai Mass dan untuk “Weight” masukkan nilai *Initial Stiffnes* pada Tabel 3.2. Selanjutnya pada kolom “Factors For Line, Area and Solid Springs”, nilai untuk “Property is Defined for This Length in a Line Spring” dan “Property is Defined for This Area in Area and Solid Springs” akan otomatis keluar. Dan pada kolom “Directional Properties” centang pada Kolom Direction untuk U1, U2, dan U3.

3. Kemudian input data *Directional properties* yang meliputi U1 dalam arah vertikal dan U2-U3 dalam arah horizontal permukaan *Seismic Base Isolation*.

Link/Support Directional Properties

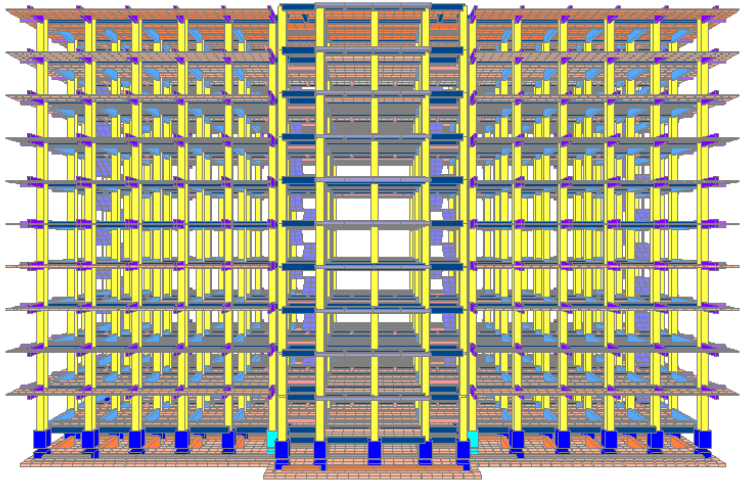
Identification	
Property Name	HH075x6R
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	139701.12
Effective Damping	24.4732
Shear Deformation Location	
Distance from EndJ	0.3
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	139701.12
Yield Strength	82997.01
Post Yield Stiffness Ratio	0.24
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Gambar 3. 14 Input directional properties U2 & U3

Pada langkah 2 diatas, pada kolom “Properties” pilih “Modify/Show for U2” akan terlihat seperti gambar 3.7 diatas. Kemudian pada kolom “Properties Used For All Analysis Cases”, untuk “Effective Stiffness” masukkan nilai *Compressive Stiff* dan untuk “Effective Damping” masukkan nilai *Damping Ratio* pada Tabel 3.2 diatas.

4. Penggambaran HDRB sebagai perletakan

Klik menu *draw – draw 1 joint link*, asumsi sejarak 1 m dari *joint* kolom paling bawah dan sejarak 1 m dari *joint* jepit sebagai pile cap (Tanaya, 2018) – pilih *link properties* yang telah dimodelkan – klik *joint* yang ingin diberikan *seismic isolator*.



Gambar 3. 15 Permodelan Struktur dengan HDRB

3.3 *Input Pembebanan*

3.5.1 **Beban Mati (DL)**

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lainnya seperti dibawah ini:

Tabel 3. 3 Beban Mati Pada Struktur Gedung

No	Bahan	Berat (kg/m ²)	Sumber
1	Bata ringan	600	Brosur CITICON
2	Keramik	16.5	Brosur Arwana Ceramics
3	Spesi	21	SNI 1727-2013
4	Ducting MEP	25	SNI 1727-2013
5	Plafon Kalsiboard	9.2	Brosur GRC Board
6	Partisi Plafon tipe 8	16.8	Brosur Kalisipart 8
7	Plester	10	Brosur DRYMIX
8	Acian dinding	3	Brosur Acian DRYMIX
9	Lift	Perhitungan	Brosur Lift IRIS

3.4.1 Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah beban maksimum yang akan dialami oleh suatu jenis ruangan. Pada tugas akhir ini mengacu pada SNI 1727-2013 tabel 4-1 seperti dibawah ini:

Beban Hidup Sekolah :

Beban ruang kelas	: 1,92 kN/m ²	= 192 kg/m ²
Beban ruang kantor	: 2,40 kN/m ²	= 240 kg/m ²
Beban ruang pertemuan	: 4,79 kN/m ²	= 479 kg/m ²
Beban bordes dan anak tangga	: 1,33 kN/m ²	= 133 kg/m ²
Beban atap datar	: 0,96 kN/m ²	= 96 kg/m ²

3.4.2 Beban Gempa

Untuk peraturan gempa mengacu pada SNI 1726:2012. Berikut parameter-parameter yang perlu diperhatikan :

1. Mengklasifikasi Kategori Resiko Struktur Bangunan

Pengklasifikasikan berdasarkan Kategori Resiko Bangunan (KRB) dapat dilihat pada tabel 2 SNI 1726 – 2012

2. Definisi Kelas Situs

Kelas situs ditetapkan sesuai SNI 1726:2012 tabel 3 Klasifikasi Situs berikut. Dengan data SPT test maka persamaan digunakan untuk menentukan jenis tanahnya.

3. Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektrum

Koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Untuk penentuan respon spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada perioda 0.2 detik (F_a) untuk perioda pendek dan perioda 1 detik (F_v) pada Tabel Koefisien F_a dan F_v yang diperoleh dari SNI 1726:2012 Tabel 4 dan 5. Sedangkan untuk nilai S_s dan S_1 diperoleh dari Peta Gempa maksimum resiko tersesuaikan (MCER). Selanjutnya penentuan parameter spektrum respons percepatan ditulis pada persamaan SMS dan SM1.

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Harus ditentukan dahulu sesuai parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, SDS dan pada perioda 1 detik, SD1.

7. Respon Spektrum Desain

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

8. Katagori Desain Seismik

Katagori Desain Seismik dievaluasi berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 6 untuk nilai SDS dan Tabel 7 untuk nilai SD1 kemudian diambil yang paling berat dari kedua tabel Katagori Desain Seismik (KDS) berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek dan pada Periode 1 detik.

3.4.3 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1727:2013, yaitu :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R
3. 1,2 D + 1,6 R + 1,0 L
4. 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W

5. $0,9 D + 1,0 W$
6. $1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey$
7. $1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey$
8. $0,9 D + 1,0 Ex + 0,3 Ey$
9. $0,9 D + 0,3 Ey + 1,0 Ey$

Dimana :

- D = Beban mati
 L = Beban hidup
 L0 = Beban hidup atap
 H = Beban hujan
 W = Beban angin
 E = Pengaruh beban gempa

3.5 Output Gaya Dalam

Setelah melakukan permodelan sesuai dimensi eksisting *Fixed Based* maupun *Seismic isolator* masing – masing dari permodelan tersebut diberikan semua kombinasi pembebanan dan selanjutnya masing – masing *Fixed Based* maupun *Seismic isolator* di *run*. Selanjutnya pada aplikasi dipilih *Display – Show Forces/Stresses* selanjutnya *Display – Show Table*. Kemudian didapatkan pada excel hasil *Output* gaya seperti momen dan gaya aksial dari tiap elemen struktur.

3.6 Kontrol Struktur

Kontrol struktur dengan *Seismic isolator* meliputi beberapa tahap yaitu:

1. Batas Simpangan Antar Lantai

Pada SNI 1726:2012 simpangan antar lantai maksimum struktur diatas sistem isolasi tidak boleh melebihi $0,015hs_x$. Simpangan antar lantai harus dihitung berdasarkan persamaan pada pasal 7.8.6 dengan faktor C_d dari sistem isolasi sama dengan faktor R_1 yang ditentukan.

2. Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya dinamis struktur digunakan untuk mengontrol apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respons spektrum sudah sesuai dengan SNI 1726 2012. Berdasarkan peraturan, gaya gempa dinamis tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai V_s .

3. Nilai Partisipasi Massa

Untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik, analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90 dari massa aktual .

4. Periode Fundamental

Periode getar T merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya sesuai dengan pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2012.

3.7 Redesign Penampang Elemen Struktur dengan Metode *Trial Error* pada SAP 2000

Sesuai hasil *output* gaya dalam dari tiap elemen struktur *fixed based* maupun *seismic isolation* HDRB kemudian tahap – tahap selanjutnya yaitu :

1. Menghitung dimensi ulang dengan melakukan metode *trial error* pada aplikasi yang digunakan.
2. Setelah itu diberikan semua kombinasi pembebanan yang sama sesuai point 3.5.
3. Kemudian di *run* lagi hingga menghasilkan *output* gaya dalam baru yang lebih sesuai dan efisien.

3.8 Perencanaan Struktur Atas dan Struktur Bawah

3.8.1 Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan elemen struktur sekunder yang memikul beban gravitasi dan geser, Besar dan panjang nya penyaluran tulangan yang bekerja sesuai dengan ACI 318M-14 bab 7 untuk pelat 1 arah dan bab 8 untuk pelat 2 arah.

- Penentuan momen pada pelat lantai

Untuk mencari momen lentur pada pelat lebih baik menggunakan metode elemen hingga menggunakan ETABS. Maka dalam perhitungan tugas akhir ini untuk memperoleh momen lentur menggunakan program ETABS

- Menghitung momen nominal pelat lantai

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \quad (3.1)$$

- Perhitungan penulangan pelat

Perhitungan penulangan pelat menggunakan rumus rasio perbandingan tulangan dan beton

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (3.2)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.3)$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b \quad (3.4)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} \quad (3.5)$$

$$R_n = \frac{Mu}{b \times d^2} \quad (3.6)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (3.7)$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d \quad (3.8)$$

- Kontrol spasi antar tulangan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.4 dan ACI 318M-14 pasal 8.7.2.2 tidak boleh melebihi batasan maksimum yaitu 450 mm atau 2h di area kritis dan 3h di area yang lain.

➤ Kontrol luas minimum tulangan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1 dan ACI 318M-14 pasal 8.6.1.1 Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014

Tabel 3. 4 Luas Minimum Tulangan

(Sumber : SNI 1726:2012)

	Keterangan	Rasio tulangan
A	Pelat yang menggunakan batang ulir mutu 280 atau 350	0,0020
B	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420	0,0018
C	Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0.35%	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

➤ Kontrol spasi antar tulangan susut suhu

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 dan ACI 318M-14 pasal 24.4.3.3 tidak boleh melebihi batasan maksimum yaitu 450 mm atau lima kali ketebalan pelat, dipilih nilai yang lebih kecil dari keduanya.

➤ Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 dan ACI 318M-14 pasal 24.3.2, spasi tulangan terdekat ke muka tarik tidak boleh melebihi yang diberikan oleh

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2.5C_c \quad (3.9)$$

Tetapi tidak boleh melebihi

$$S = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right) \quad (3.10)$$

Dimana C_C adalah jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik. Tegangan tulangan f_s boleh diambil $\frac{2}{3} f_y$.

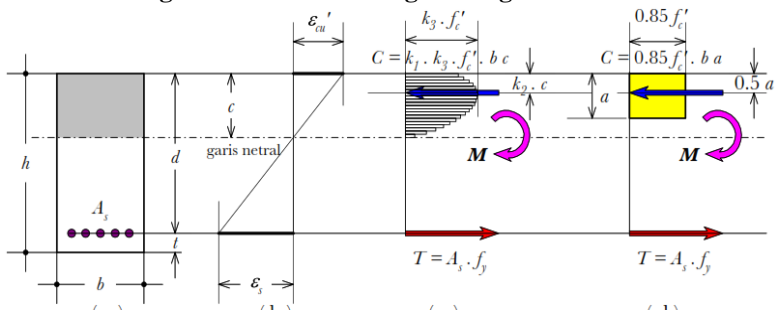
3.8.2 Tangga

Penulangan pada pelat tangga dan pelat bordes menggunakan perhitungan dengan prinsip yang sama dengan perencanaan pelat.

3.8.3 Balok

Langkah-langkah menghitung elemen struktur balok harus memenuhi SNI 2847:2013 pasal 21.3.4 dan ACI 318M-14 pasal 18.6 adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kebutuhan Tulangan Longitudinal



Gambar 3. 16 Ilustrasi Perhitungan Lentur Balok

(Sumber : Buku Siswa 03 – ITS)

Pada perancangan tulangan rangkap ini pada prinsipnya penampang beton yang tertekan dibuat sekecil mungkin dengan cara membuat posisi garis netral yang letaknya lebih mendekati pada tulangan tekan (A_s') dengan tetap memperhatikan komponen tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s').

Adapun langkah-langkah perancangan tulangan rangkap sebagai berikut:

a. Tentukan momen tumpuan dan lapangan pada balok yang didapat dari output program bantu SAP 2000

b. Ambil suatu harga X, dimana $X \leq 0.75 X_b$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d \quad (3.11)$$

c. Ambil A_{sc} berdasarkan X rencana

$$A_{sc} = \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot x}{f_y} \quad (3.12)$$

d. Menghitung M_{nc}

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right) \quad (3.13)$$

e. Menghitung M_n

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3.14)$$

f. Menghitung $M_n - M_{nc}$

Apabila:

$M_n - M_{nc} > 0 \rightarrow$ perlu tulangan tekan

$M_n - M_{nc} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan tekan

g. Tulangan tekan

➤ Apabila perlu tulangan tekan maka:

$$C_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d' - d''} \quad (3.15)$$

➤ Apabila tidak perlu tulangan tekan, maka digunakan

tulangan tekan praktis.

h. Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x} \right) 600 \geq f_y \rightarrow \text{sudah leleh}$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x} \right) 600 \leq f_y \rightarrow \text{belum leleh}$$

i. Menghitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$A'_{ss} = \frac{C'_s}{f'_s - 0.85 \cdot f'_c} \quad (3.16)$$

$$A_{sc} = \frac{T_2}{f_y} \quad (3.17)$$

j. Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} \quad (3.18)$$

$$A'_s = A'_{ss} \quad (3.19)$$

2. Perhitungan Tulangan Transversal

Langkah-langkah perencanaan tulangan geser balok adalah sebagai berikut:

a. Hitung kuat geser rencana

$$V_s = \frac{V_U}{\phi} - V_c \quad (3.20)$$

Dimana:

$V_c = 0$ (SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2 dan ACI 318M-14 pasal 18.6.5.2)

b. Pasang kebutuhan tulangan geser

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} < S_{max} \quad (3.21)$$

Dimana:

A_v = luas tulangan sengkang (mm^2)

$S_{max} \leq 0.5d$ (SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 dan ACI 318M-14 pasal 18.6.4)

3. Perhitungan Tulangan Torsi (Puntir)

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.1 dan ACI 318M-14 pasal 22.7.4 pengaruh puntir pada suatu struktur non-prategang dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$T_u = \phi \times 0.083 \times \lambda \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right) \quad (3.22)$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6 dan ACI 318M-14 pasal 22.7.6.1 adalah:

$$\phi T_n = T_U \quad (3.23)$$

T_n harus dihitung

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \cdot \cot\theta \quad (3.24)$$

Dimana:

T_u = Momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = Kuat momen puntir normal

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

P_{cp} = Keliling luar penampang beton

4. Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

a. Penyaluran tulangan kondisi tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2 dan ACI 318M-14 Pasal 25.4.2, panjang penyaluran (ℓ_d), dinyatakan dalam diameter d_b . Nilai ℓ_d tidak boleh kurang dari 300 mm. Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai ℓ_d/d_b harus diambil sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

(Sumber : SNI 2847:2013)

	Tulangan \leq D19	Tulangan \geq D22
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 disambungkan tidak kurang dari $2 d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left[\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right]$	$\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}}$	$\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}}$

Dimana faktor-faktor yang digunakan dalam perumusan-perumusan untuk penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.4 ACI 318M-14 Pasal 25.4.2.4 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Faktor Modifikasi Penyaluran Tulangan Tarik

(Sumber : SNI 2847:2013)

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai
Lightweight λ	Beton ringan .	0.75
	Beton normal.	1.0
Epoxy Ψ_e	batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari 3db, atau spasi bersih kurang dari 6db.	1.5
	Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya.	1.2
	Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (galvanis).	1.0
Ukuran Ψ_s	Tulangan D22 keatas.	1.0
	Tulangan D19 dan tulangan lebih kecil dan kawat ulir.	0.8
Kondisi pengecoran Ψ_t	Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan.	1.3
	Untuk kondisi lainnya.	1.0

b. Penyaluran tulangan kondisi tekan

Panjang penyaluran (ℓ_d), untuk batang ulir yang berada dalam kondisi **tekan** harus dihitung dengan mengalikan

panjang penyaluran dasar ℓ_{dc} . Nilai ℓ_d tidak boleh kurang dari 200 mm.

$$\left(\frac{0.24 \cdot \Psi_r \cdot fy}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \cdot d_b \quad (3.25)$$

$$(0.043 \cdot fy) \cdot d_b \quad (3.26)$$

Dimana faktor-faktor yang digunakan dalam perumusan-perumusan untuk penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi **tekan** berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3 ACI 318M-14 Pasal 25.4.2.4 adalah sebagai berikut:

Tabel 2 1 Faktor Modifikasi Penyaluran Tulangan Tekan

(Sumber : SNI 2847:2013)

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai
Lightweight λ	Beton ringan .	0.75
	Beton normal.	1.0
Tulangan sengkang Ψ_r	Tulangan spiral Tulangan melingkar menerus dengan sengkang $d_b \geq 6$ mm dan terpasang dengan jarak 100 mm Tulangan pengikat 13 mm sesuai ACI 318M-14 pasal 25.7.2 spasi ≤ 100 mm di as Tulangan pengekangan sesuai ACI 318M-14 pasal 25.7.4 spasi ≤ 100 mm dari pusat ke pusat.	0.75
	Untuk kondisi lainnya.	1.0

c. Kait tulangan kondisi tarik

Panjang penyaluran kait tulangan ulir ℓ_{dh} harus diambil yang terbesar berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 dan ACI 318M-14 pasal 25.4.1 yakni sebagai berikut:

$$\left(\frac{0.24 \cdot \Psi_c \cdot \Psi_e \cdot \Psi_r \cdot fy}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \cdot d_b \quad (3.27)$$

$$\frac{8d_b}{150 \text{ mm}} \quad (3.28)$$

Tabel 3. 7 Faktor Modifikasi Kait Tulangan Tarik
(Sumber : SNI 2847:2013)

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai
Lightweight λ	Beton ringan .	0.75
	Beton normal.	1.0
Epoxy Ψ_e	Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya.	1.2
	Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (galvanis).	1.0
Cover Ψ_c	Untuk kait batang tulangan D36 dan yang lebih kecil dengan selimut samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 65 mm, dan untuk kait 90 derajat dengan selimut pada perpanjangan batang tulangan sesudah kait tidak kurang dari 50 mm	0.7
	Untuk kondisi lainnya.	1.0
Tulangan sengkang Ψ_r	Untuk kait 90° dari batang tulangan D36 dan lebih kecil yang baik dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap batang tulangan yang disalurkan, berspasi tidak lebih besar dari $3d_b$	0.8

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai
	sepanjang ℓ_{dh} atau dilingkupi dalam pengikat atau sengkang paralel terhadap barang yang disalurkan, berspasi tidak lebih besar dari $3d_b$ sepanjang panjang perpanjangan ekor kait ditambah bengkokan	
	Untuk kait 180° derajat dari batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegaklurus terhadap batang tulangan yang disalurkan, berspasi tidak lebih besar dari $3d_b$ sepanjang	
	Untuk kondisi lainnya.	

3.8.4 Kolom

3.8.4.1 Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Untuk syarat tulangan lentur kolom, berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.2.3 Kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c_1 harus didesain untuk geser sesuai dengan geser SRPMM.

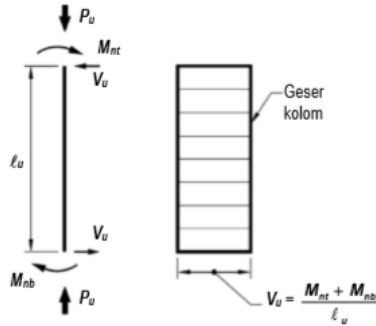
3.8.4.2 Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.3.3.1, gaya geser rencana ϕV_n kolom yang menahan pengaruh gempa, E, tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b):

(a) Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan

arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi

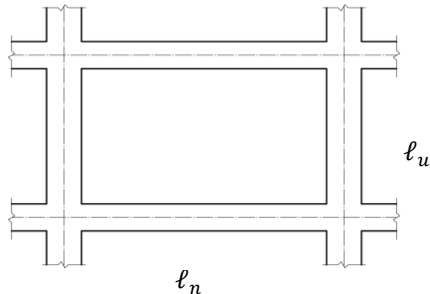
(b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E, dengan E ditingkatkan oleh



Gambar 3. 17 Gaya Geser pada Kolom
(Sumber : SNI 2847:2013)

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{\ell_u} \quad (3.29)$$

Dimana: ℓ_u adalah panjang bentang bersih kolom



Gambar 3. 18 Bentang Bersih Kolom dan Balok
(SNI 2847:2013 Gambar S.21.3.3)

- a. Hitung kuat geser rencana

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.30)$$

Dimana $V_c = 0$ apabila: (1) V_c akibat gempa lebih besar $\frac{1}{2} V_u$ dan gaya aksial terfaktor pada kolom tidak melampaui $\frac{A_g f_c'}{20}$ (SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.2 dan ACI 318M-14 pasal 18.7.6.2)

- b. Pasang kebutuhan tulangan geser

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} < S_{max} \quad (3.31)$$

Dimana:

A_v = Luas tulangan sengkang (mm^2)

3.8.4.3 Ketentuan-ketentuan Perhitungan Kolom (SNI 2847:2013 Pasal 21.3)

- Persyaratan Tulangan Lentur

Rasio penulangan dibatasi minimum tidak boleh kurang 0.01 dan maksimum tidak boleh lebih dari 0.06.

- Persyaratan Tulangan Geser

Sengkang harus dipasang di sepanjang ℓ_o , dimana panjang ℓ_o diambil yang terbesar dari:

1. $\frac{1}{6}$ bentang bersih struktur kolom
2. Dimensi penampang maksimum kolom
3. 450 mm

Spasi tulangan transversal sepanjang s_o tidak lebih dari yang terkecil:

4. 8 kali diameter tulangan longitudinal
5. 24 dari tulangan sengkang terkecil
6. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
7. 300 mm

3.8.5 Retaining Wall

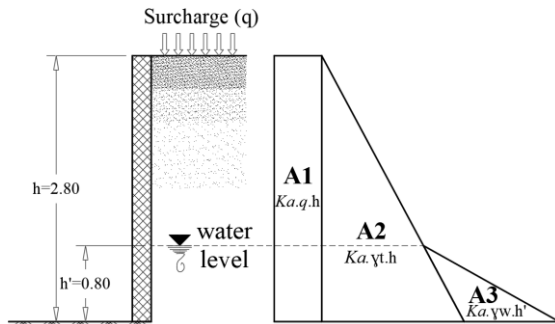
3.8.5.1 Perhitungan Gaya Tekanan Tanah

Pada prinsipnya retaining wall pada sekeliling basement didesain mampu menahan tekanan tanah aktif yang bekerja di sisi luarnya agar tidak mengalami keruntuhan. Sehingga dihitung gaya-gaya yang bekerja berdasarkan teori Rankine (1857).

Koefisien tekanan tanah aktif

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.32)$$

(Principles of Foundation Engineering VII Eq. 7.8)



Gambar 3. 19 Skema Tekanan Pada Retaining Wall

3.8.5.2 Penulangan Retaining Wall

- Rasio tulangan vertikal dihitung seperti penulangan pelat satu arah dengan menghitung momen ultimate dengan kombinasi kuat perlu.
- Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas bruto beton, ρ_t , harus:
 - 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 Mpa; atau
 - 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau

- 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari Ø-16 atau D-16

3.8.5.3 Ketentuan-ketentuan Perhitungan Dinding (SNI

2847:2013 Pasal 14)

- Pasal 14.5.3 Ketebalan minimum dinding penahan tanah adalah 1/25 kali tinggi.
- Pasal 14.5.3.2 Tebal dinding besmen (basementt) eksterior dan dinding fondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.

3.8.6 Pondasi

3.8.6.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (R_a) yang digunakan untuk melawan gaya aksial diperoleh dari persamaan berikut.

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_p + R_f) \quad (3.33)$$

(Kazuto Nakazawa, 2000:99 pers. 6.4)

Dimana,

n : Faktor keamanan (lihat tabel 5.4)

R_u : Daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)

R_p : Daya dukung terpusat tiang (ton)

R_f : Gaya gesek dinding tiang (ton)

Selanjutnya,

$$R_a = \frac{1}{n} R_u$$

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i$$

Dimana,

q_d : Daya dukung terpusat tiang (ton)

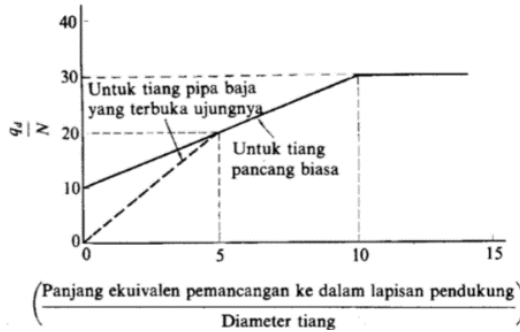
A : Luas ujung tiang (m^2)

U : Panjang keliling tiang

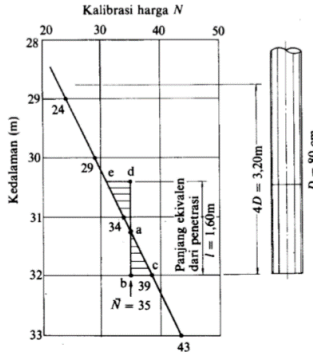
l_i : Tebal lapisan tanah

f_i : Besaran gesekan dari lapisan tanah (ton/m^2)

Daya dukung terpusat q_d , diperoleh dari hubungan antara L/D dan q_d/N pada Gambar 6.8



Gambar 3. 20 Intensitas Daya Dukung Pada Ujung Tiang
(Sumber : Kazuto Nakazawa, Mekanika Tanah & Teknik Pondasi)



Gambar 3. 21 Penentuan Panjang Ekuivalen

(Sumber : Kazuto Nakazawa, Mekanika Tanah & Teknik Pondasi)

L adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung dan diperoleh dari Gambar 5.23, D adalah diameter tiang, \bar{N} adalah

harga rata-rata N pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan berikut ini:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (\bar{N} \leq 40)$$

Dimana,

\bar{N} = Harga N rata-rata untuk perencanaan tanah pondasi pada ujung tiang

N_1 = Harga N pada ujung tiang

\bar{N}_2 = Harga rata-rata N pada jarak $4D$ dari ujung tiang

Untuk tiang yang dicor di tempat (*cast in place*), q_0 diambil diperkirakan dari

Besarnya gaya geser maksimum dinding f_r diperkirakan dari Tabel 6.2 sesuai dengan macam tiang dan sifat tanah pondasi

Tabel 3. 8 Intensitas Gaya Gesek Dinding Tiang

(Sumber : Kazuto Nakazawa, Mekanika Tanah & Teknik Pondasi)

Jenis tanah pondasi \ Jenis tiang	Tiang pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	c atau $N (\leq 12)$	$\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$

Tabel 3. 9 Faktor Keamanan

(Sumber : Kazuto Nakazawa, Mekanika Tanah & Teknik Pondasi)

	Jembatan jalan raya		Jembatan kereta api	Konstruksi pelabuhan	
	Tiang pendukung	Tiang geser	—	Tiang pendukung	Tiang geser
Beban tetap	3	4	3	Lebih besar dari 2,5	
Beban tetap + Beban sementara	—	—	2	—	
Waktu gempa	2	3	1,5 (1,2)	Lebih besar dari 1,5	Lebih besar dari 2,0

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB 4

ANALISIS PEMBEBANAN

4.1 Beban Mati (Dead Load)

Beban mati pada gedung Pasca Sarjana IV UMM meliputi seluruh konstruksi bangunan antara lain :

1. Berat sendiri elemen struktur (Self Dead Load)
 Beton = 2400 kg/m^2
 (ASCE 07-2002 Tabel C3-1)
2. Beban mati tambahan (Super Dead Load)

Tabel 4. 1 Beban Mati Tambahan

No	Bahan	Berat (kg/m^2)	Sumber
1	Bata ringan	600	Brosur CITICON
2	Keramik	16.5	Brosur Arwana Ceramics
3	Spesi	21	SNI 1727-2013
4	Ducting MEP	25	SNI 1727-2013
5	Plafon Kalsiboard	9.2	Brosur GRC Board
6	Partisi Plafon tipe 8	16.8	Brosur Kalisipart 8
7	Plester	10	Brosur DRYMIX
8	Acian dinding	3	Brosur Acian DRYMIX
9	Lift		

Lift merk IRIS

R1 = 10200

R2 = 7000

Perhitungan pembebanan pada balok penggantung lift adalah sebagai berikut :

Panjang balok penggantung lift 3,5 m

Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.6.3 dimana beban impak akibat mesin timbal balik, maka beban harus dikalikan sebesar 50%.

$$\begin{aligned} R_a &= R_1 \times KLL \\ &= R_1 \times 150\% \\ &= 10200 \times 150\% \\ &= 15300 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= R_2 \times KLL \\ &= R_2 \times 150\% \\ &= 7000 \times 150\% \\ &= 10500 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$0 = -3.5 \times 10500 + P_u x$$

$$P_u x = \frac{36750}{x}$$

$$\sum M_b = 0$$

$$0 = (3.5 \times 15300) - (P_u \times (3.5 - x))$$

$$0 = 53550 - \left(\frac{36750}{x} \times (4 - x) \right)$$

$$0 = 53550 - \left(\frac{128625 - 36750x}{x} \right)$$

$$53550 = \frac{128625 - 36750x}{x}$$

$$128625 = 90300x$$

$$x = 1.424 \text{ m}$$

$$P_u = \frac{36750}{1.424} = 25800 \text{ kg}$$

4.2 Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup adalah beban maksimum yang akan dialami oleh suatu jenis ruangan. Pada tugas akhir ini mengacu pada SNI 1727-2013 tabel 4-1 seperti dibawah ini:

A. Beban Hidup Lantai (L)

- Beban kelas : 192 kg/m²
- Beban kantor : 240 kg/m²
- Beban koridor lt.1 : 479 kg/m²
- Beban koridor : 383 kg/m²
- Beban ruang arsip : 479 kg/m²
- Beban tangga : 479 kg/m²

A. Beban Hidup Atap (Lr)

1. Beban atap datar : 96 kg/m²

4.3 Beban Air Hujan (Rain Load)

Beban air hujan direncanakan berdasarkan pada SNI 1727-2013 pasal 5.4.4.2.

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

d_s : tinggi statis

d_h : tinggi hidrolis

Direncanakan :

$$d_s = 20 \text{ mm}$$

$$d_h = 10 \text{ mm}$$

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

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

4.4 Beban Angin (Wind Load)

Bangunan gedung harus direncanakan untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI 03-1727-2013. Beban angin dinding

maksimum dan minimum yang terjadi akan didistribusikan pada kolom. Berikut tahapan perhitungan beban angin yang terjadi :

2. Kecepatan angin dasar (V) = 28 km/jam = 7,78 m/s (Berdasarkan angin terbesar periode November - Desember tahun 2018, diambil dari bmkgs perkiraan cuaca)
3. Menentukan Faktor Arah Angin, K_d (SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1) Berdasarkan didapatkan nilai faktor arah angin $K_d = 0.85$
4. Kategori eksposur = B (SNI 03-1727-2013 Pasal 26.7.3)
5. Faktor topografi (K_{zt}) = 1,0 (SNI 03-1727-2013 Pasal 26.8.2)
6. Faktor efek angin (G) = 0,85 (SNI 03-1727-2013 Pasal 26.9.1)
7. Klasifikasi ketertutupan = Bangunan tertutup (SNI 031727-2013 Pasal 26.10)
8. Menentukan Nilai Koefisien Eksposur, K_z . Dari (SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1) didapatkan nilai $\alpha = 7.0$ dan $Z_g = 365.76$ m. Jika ketinggian untuk kolom bangunan, $z = 40$ m, maka:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} = 2,01 \left(\frac{40}{365,76} \right)^{\frac{2}{7}} = 1,068$$

9. Menentukan Tekanan Velositas (q_z) (SNI 1727:2013 pasal 27.3-1)

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_z = 0,613 \times 1,068 \times 1 \times 0,85 \times 17,5^2$$

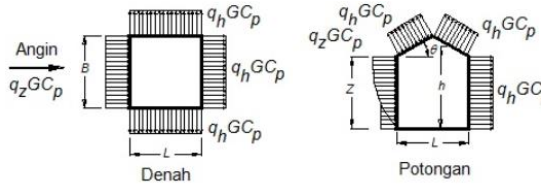
$$q_z = 170,422 \text{ N/m}^2$$
10. Koefisien tekanan eksternal (untuk dinding pada gedung)

Panjang bangunan (l) : 64 m
 Lebar bangunan (b) : 20 m

$$\frac{L}{B} = \frac{64}{20} = 3,2 \text{ m}$$
11. Pengaruh angin pada dinding

$C_p = 0,8$ (untuk dinding pada angin datang, SNI 20-1727-2013)

$C_p = -0,7$ (untuk dinding pada angin tepi, SNI 20-1727-2013)
 $C_p = -0,3$ (untuk dinding pada angin pergi, SNI 20-1727-2013)



Gambar 4. 1 Pengaruh angin pada dinding
(SNI 1727:2013)

Pada arah angin datang :

$$\begin{aligned} W_d &= qz \times G \times C_p \\ &= 10,18 \times 0,85 \times 0,8 \\ &= 6,925 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Pada arah angin tepi :

$$\begin{aligned} W_t &= qh \times G \times C_p \\ &= 10,18 \times 0,85 \times -0,24 \\ &= -2,08 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Pada arah angin pergi

$$\begin{aligned} W_p &= qh \times G \times C_p \\ &= 10,18 \times 0,85 \times -0,7 \\ &= -6,06 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-1727-2013 Pasal 27.1.5, beban angin desain minimum = $0,77 \text{ kN/m}^2 = 77 \text{ kg/m}^2$ untuk dinding bangunan.

4.5 Beban Gempa

Untuk peraturan gempa mengacu pada SNI 1726-2012. Berikut parameter-parameter yang perlu diperhatikan :

- Mengklasifikasi Kategori Resiko Struktur Bangunan

Sesuai dengan Tabel 2.3 Kategori Resiko Bangunan SNI 1726:2012 bangunan yang didesain untuk fasilitas pendidikan masuk kedalam kategori risiko IV.

- Mengklasifikasi Kategori Resiko Struktur Bangunan
 Pengklasifikasikan berdasarkan Kategori Resiko Bangunan (KRB) dapat dilihat pada tabel 2.4 SNI 1726 – 2012 maka dapat ditentukan faktor keutamaan gempa yakni $I_e = 1.5$
- Definisi Kelas Situs
 Hasil tes tanah dengan kedalaman 30 m dari Laboratorium Mekanika Tanah ITS didapatkan hasil dibawah ini:

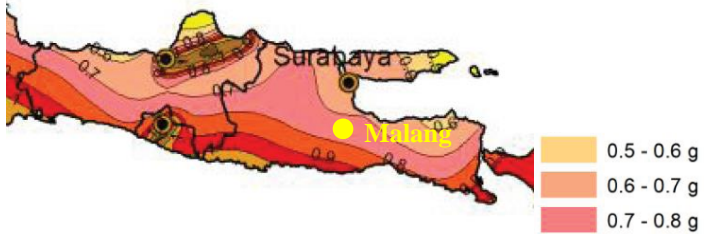
Tabel 4. 2 Perhitungan Nilai N-SPT

Lapisan ke-	Kedalaman Tanah	Tebal Lapisan (di)	Nilai SPT (Ni)	di/Ni
1	2.5	2.5	18	0.139
2	5	2.5	9	0.278
3	7.5	2.5	13	0.192
4	10	2.5	31	0.081
5	12.5	2.5	26	0.096
6	15	2.5	51	0.049
7	17.5	2.5	29	0.086
8	20	2.5	44	0.057
9	22.5	2.5	50	0.050
10	25	2.5	60	0.042
11	27.5	2.5	59	0.042
12	30	2.5	60	0.042
Jumlah		30		1.154

$$N_{SPT} = \frac{\sum di}{\sum di/Ni} = \frac{30}{1,154} = 26,01$$

Dengan data SPT test diatas sesuai tabel 2.5 kelas situs SNI 1726:2012 maka termasuk dalam kelas SD (Tanah Sedang)

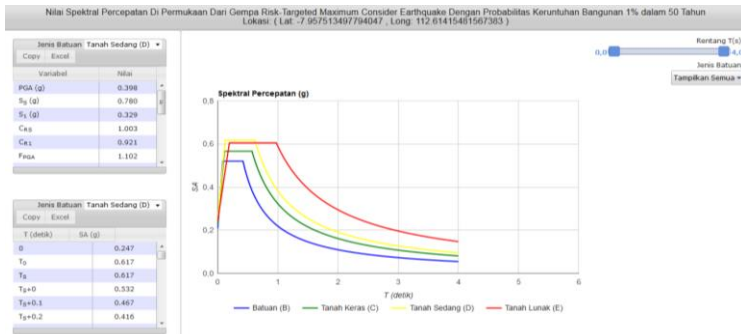
- Menentukan parameter percepatan gempa (S_s , S_1)



Gambar 4. 2 Nilai S_s percepatan batuan dasar pada periode 0,2 detik (SNI 1726:2012)



Gambar 4. 3 Nilai S_1 percepatan batuan dasar pada periode 0,1 detik (SNI 1726:2012)



Gambar 4. 4 Parameter Gempa Kota Malang (Desain Spektra Indonesia Puskim, 2019)

Nilai parameter percepatan gempa untuk kota Malang yang digunakan melihat dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa digunakan nilai **SS = 0,78** dan **S1 = 0,33**.

- Menentukan koefisien situs

Sesuai Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 Koefisien situs F_a dan F_v . maka kelas situs D, F_a diambil nilai 1,19 untuk SS 0,78 dan F_v diambil nilai 1,74 untuk S1 0,33.

- Menentukan parameter percepatan desain spektral

Sesuai dengan SNI 1726:2012 Pers. 5 dan 6 maka didapatkan nilai sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,19 \times 0,78 = 0,93 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,74 \times 0,33 = 0,57 \text{ g}$$

Sedangkan berdasarkan dengan SNI 1726:2012 Pers. 7 dan 8 maka didapatkan nilai sebagai berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,93 = 0,618 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,57 = 0,382 \text{ g}$$

- Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan ASCE 7-16 Pasal 11.6 Tabel 11.6-1, untuk $0.5 \leq SDS$, $0.2 \leq SD1$, dan kategori risiko II didapatkan kategori desain seismik D.

- Menentukan Kategori Desain Seismik

Menurut SNI 1726-2013 dan ASCE 7-16 untuk memenuhi parameter gempa maka ditentukan parameter gempa rencana sebagai berikut :

$$\text{Koefisien modifikasi respons (R)} = 7$$

$$\text{Faktor kuat-lebih sistem } (\Omega) = 3$$

$$\text{Faktor pembesaran defleksi (Cd)} = 5,5$$

- Analisa Respons Spektrum

Menurut SNI 1726:2012 Pasal. 6.4 untuk memenuhi parameter gempa maka ditentukan parameter gempa rencana sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,382}{0,618} = 0,124$$

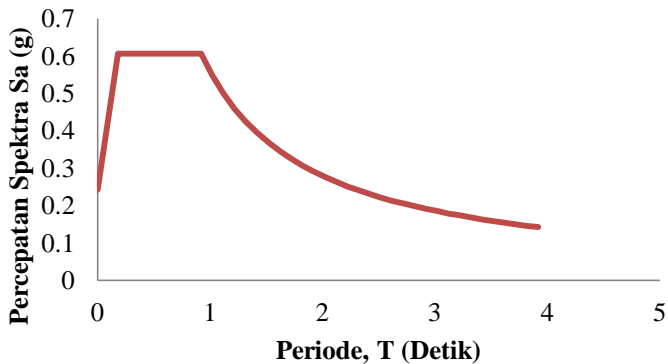
$$T_1 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,382}{0,618} = 0,619$$

Tabel 4. 3 Perhitungan respons spektrum desain

T (detik)	T (detik)	S_a (g)
0	0	0.247104
T ₀	0.1236981	0.61776
T _S	0.6184905	0.61776
T _S +0.1	0.7184905	0.531779735
T _S +0.2	0.8184905	0.466808943
T _S +0.3	0.9184905	0.415985449
T _S +0.4	1.0184905	0.375142116
T _S +0.5	1.1184905	0.341602079
T _S +0.6	1.2184905	0.31356722
T _S +0.7	1.3184905	0.289784931
T _S +0.8	1.4184905	0.269355824
T _S +0.9	1.5184905	0.25161743
T _S +1.0	1.6184905	0.236071003
T _S +1.1	1.7184905	0.222333889
T _S +1.2	1.8184905	0.2101076
T _S +1.3	1.9184905	0.199155886
T _S +1.4	2.0184905	0.18928931
T _S +1.5	2.1184905	0.180354207
T _S +1.6	2.2184905	0.172224616
T _S +1.7	2.3184905	0.164796307
T _S +1.8	2.4184905	0.157982292
T _S +1.9	2.5184905	0.151709396
T _S +2.0	2.6184905	0.145915623
T _S +2.1	2.7184905	0.140548099

T (detik)	T (detik)	S_a (g)
T _S +2.2	2.8184905	0.135561455
T _S +2.3	2.9184905	0.130916538
T _S +2.4	3.0184905	0.126579385
T _S +2.5	3.1184905	0.12252039
T _S +2.6	3.2184905	0.118713624
T _S +2.7	3.3184905	0.115136286
T _S +2.8	3.4184905	0.111768241
T _S +2.9	3.5184905	0.108591645
T _S +3.0	3.6184905	0.105590624

Spektrum Respons Desain



Gambar 4. 5 Grafik respons spektrum desain

4.6 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 2.3.2, yaitu :

1. 1,4 D

2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$
3. $1,2 D + 1,6 R + 1,0 L$
4. $1,2 D + 1,6 R + 0,5 W$
5. $0,9 D + 1,0 W$
6. $1,2 D + 1,0 L + 1,0 E_x + 0,3 E_y$
7. $1,2 D + 1,0 L + 0,3 E_x + 1,0 E_y$
8. $0,9 D + 1,0 E_x + 0,3 E_y$
9. $0,9 D + 0,3 E_y + 1,0 E_y$

Dimana :

D : Beban mati

L : Beban hidup

L0 : Beban hidup atap

H : Beban hujan

W : Beban angin

E : Pengaruh beban gempa

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

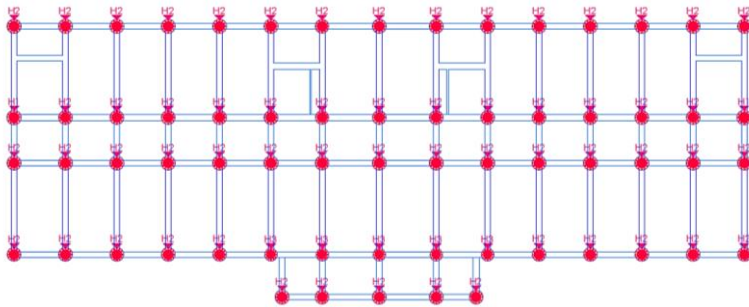
BAB 5 PRELIMINARY STRUKTUR HDRB

5.1 Perhitungan Dimensi HDRB

Dimensi *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) ditentukan berdasarkan beberapa kriteria sebagai kontrol yang harus dipenuhi sehingga elemen tersebut dapat memberikan reduksi terhadap beban gempa yang diterima oleh bangunan.

Jenis HDRB yang dipilih memiliki nilai modulus geser sebesar 0,629 MPa dikarenakan gaya yang akan mengenai *base isolator* akan semakin besar apabila nilai modulus geser memiliki nilai yang besar sehingga yang diharapkan adalah gaya yang akan diterima oleh bangunan akibat gempa akan semakin kecil nilainya.

Dimensi HDRB menyesuaikan beban aksial yang ditumpu oleh kolom dan harus melebihi kapasitas beban yang ada.



Gambar 5. 1 Denah Kolom dan Denah Pemasangan HDRB

Tabel 5. 1 Spesifikasi *HDRB Bridgestone HH Series* Tebal 20 cm

Jenis	Diameter (mm)	Kapasitas Gaya Aksial (kN)	Kekakuan Efektif HDRB (kN/mm)
HH075X6R	750	4710	1,37

Jenis	Diameter (mm)	Kapasitas Gaya Aksial (kN)	Kekakuan Efektif HDRB (kN/mm)
HH085X6R	850	7620	1,76
HH090X6R	900	9540	1,99

Tabel 5. 2 Perencanaan Tipe HDRB dari Tiap Kolom

As Kolom	Gaya Aksial (kN)	Diameter HDRB (mm)	Jenis HDRB
A-1	6876	850	HH085X6R
A-2	6350	850	HH085X6R
A-3	6114	850	HH085X6R
A-4	6352	850	HH085X6R
A-5	6094	850	HH085X6R
A-6	6707	850	HH085X6R
A-7	6835	850	HH085X6R
A-8	6395	850	HH085X6R
A-9	6637	850	HH085X6R
A-10	6723	850	HH085X6R
A-11	6143	850	HH085X6R
A-12	6177	850	HH085X6R
A-13	6157	850	HH085X6R
A-14	6371	850	HH085X6R
A-15	6873	850	HH085X6R
B-1	8908	900	HH090X6R
B-2	7281	850	HH085X6R
B-3	6628	850	HH085X6R
B-4	6621	850	HH085X6R

As Kolom	Gaya Aksial (kN)	Diameter HDRB (mm)	Jenis HDRB
B-5	6585	850	HH085X6R
B-6	7158	850	HH085X6R
B-7	7600	850	HH085X6R
B-8	7046	850	HH085X6R
B-9	7487	850	HH085X6R
B-10	7241	850	HH085X6R
B-11	6622	850	HH085X6R
B-12	6647	850	HH085X6R
B-13	6669	850	HH085X6R
B-14	7313	850	HH085X6R
B-15	9005	900	HH090X6R
C-1	7058	850	HH085X6R
C-2	6395	850	HH085X6R
C-3	6352	850	HH085X6R
C-4	6288	850	HH085X6R
C-5	6313	850	HH085X6R
C-6	569	850	HH085X6R
C-7	6536	850	HH085X6R
C-8	6513	850	HH085X6R
C-9	6400	850	HH085X6R
C-10	6347	850	HH085X6R
C-11	6339	850	HH085X6R
C-12	6326	850	HH085X6R
C-13	6372	850	HH085X6R
C-14	6445	850	HH085X6R
C-15	7152	850	HH085X6R

As Kolom	Gaya Aksial (kN)	Diameter HDRB (mm)	Jenis HDRB
D-1	6640	850	HH085X6R
D-2	6264	850	HH085X6R
D3	6194	850	HH085X6R
D-4	6090	850	HH085X6R
D-5	5941	850	HH085X6R
D-6	4450	750	HH075X6R
D-7	4271	750	HH075X6R
D-8	5186	750	HH075X6R
D-9	4167	750	HH075X6R
D-10	4418	750	HH075X6R
D-11	5983	850	HH085X6R
D-12	6141	850	HH085X6R
D-13	6217	850	HH085X6R
D-14	6296	850	HH085X6R
D-15	6668	850	HH085X6R
E-1	4344	850	HH085X6R
E-2	4775	850	HH085X6R
E-3	5283	850	HH085X6R
E-4	4698	850	HH085X6R
E-5	4367	850	HH085X6R

MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process. Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm ²)	Equivalent damping ratio
XBR	X0.6R	0.620	0.240

●HH Series (Total Rubber Thickness 20cm)

Characteristics		H0506R	H0516R	H0706R	H0716R	H0906R	H0916R	H0926R	H1006R	H1016R	H1026R	H1206R	H1209R	H1406R	H1506R	H1606R	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25
	Effective plane area (×10 ² mm ²)	2628	2917	2947	4416	5022	5671	6259	7095	7848	9480	11208	13048	15261	17628	20055	
	Thickness of one rubber layer (mm)	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4	
	Number of rubber layers [-]	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	20	19	
	Total rubber thickness (mm)	200	198	202	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200	200	198
	First shape factor [-]	26.6	26.1	26.4	26.8	26.1	26.4	26.7	26.3	26.4	25.3	25.9	25.8	25.1	25.9	26.5	
	Second shape factor [-]	3.00	3.28	3.46	3.75	4.00	4.28	4.55	4.79	4.98	5.81	6.00	6.50	7.02	7.50	8.10	
	Diameter of flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of flange ^{*)} [edge, center] (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/30	24/32	26/36	26/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110	
	Connecting bolt PCD (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅33 × 1	∅38 × 1	∅38 × 1	∅38 × 1	∅38 × 1	∅42 × 1	∅42 × 1	∅45 × 1
	Bolt size (assumption) [-]	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8
	Total height (mm)	407.9	390.4	388.3	376.9	422.2	413.1	410.8	402.4	400.6	390.2	389.6	376.9	405.5	410.2	522.0	
Compression Properties	Total weight (tonf)	0.66	0.72	0.80	0.90	1.21	1.31	1.49	1.59	1.77	2.05	2.38	2.65	3.46	4.05	6.64	
	Total weight (kN)	6.5	7.0	7.9	8.9	11.9	12.9	14.6	15.6	17.3	20.1	23.3	26.0	33.9	39.7	65.1	
	Critical stress (N/mm ²)	σ_w when $\gamma = 0$	43	52	58	69	78	89	102	113	122	136	148	160	173	185	200
		$[\gamma_p \cdot \sigma_p]$	(0.22)	(0.30)	(0.35)	(0.42)	(0.48)	(0.52)	(0.56)	(0.59)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)
		$[\gamma_p \cdot \sigma_p]$	(15.22)	(14.30)	(14.28)	(15.42)	(16.48)	(18.92)	(21.58)	(23.59)	(25.60)	(31.60)	(36.60)	(38.60)	(38.60)	(39.60)	(39.60)
	Ultimate compressive stress (N/mm ²)	$[\gamma_p \cdot \sigma_p]$	(2.74)	(3.05)	(3.16)	(3.47)	(3.411)	(3.517)	(3.523)	(3.629)	(3.634)	(3.746)	(3.756)	-	-	-	-
		$[\gamma_p \cdot \sigma_p]$	(1970)	(2340)	(2660)	(3080)	(3510)	(3970)	(4480)	(4980)	(5450)	(5990)	(7860)	(9220)	(10700)	(12300)	(14200)
	Compressive stiffness (×10 ³ kN/m)	1970	2340	2660	3080	3510	3970	4480	4980	5450	5990	7860	9220	10700	12300	14200	
	Nominal long term compressive stress (N/mm ²)	6.6	8.1	9.1	10.7	12.0	13.4	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
	Nominal long term column load (kN)	1860	2690	3500	4710	6050	7620	9540	10600	11800	14200	16900	19900	23000	26500	30100	
Allowable tensile stress ($\gamma = 100\%$) (N/mm ²)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
Shear Properties ($\gamma = 100\%$)	Initial stiffness (×10 ³ kN/m)	5.19	6.15	6.99	8.10	9.23	10.4	11.8	13.1	14.3	17.4	20.7	24.3	28.3	32.4	37.3	
	Post yield stiffness ($\gamma = 100\%$) (×10 ³ kN/m)	0.519	0.615	0.699	0.810	0.923	1.04	1.18	1.31	1.43	1.74	2.07	2.43	2.83	3.24	3.73	
	Characteristic Strength (kN)	71.5	83.9	97.3	112	127	143	161	178	199	240	285	335	389	446	507	
	Equivalent shear stiffness (×10 ³ kN/m)	0.876	1.04	1.18	1.37	1.55	1.76	1.99	2.21	2.42	2.94	3.50	4.11	4.77	5.47	6.28	
	Equivalent damping ratio [-]	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	

*1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

Gambar 5. 2 Brosur HDRB Bridgestone
(Bridgestone, 2017)

Keterangan :

D : Diameter

Dmax : Perpindahan horizontal maksimum

Fz,d : *non-seismic combination* maksimum pada HDRB

Ned,max : *seismic load combination* maksimum pada HDRB

Kv : Kekakuan Vertikal HDRB

Kh : Kekakuan Horizontal Efektif ($\gamma = 1$)

Tr : Tinggi Total HDRB

W : Berat HDRB

L : Panjang Pelat Dasar HDRB

Tabel 5. 3 Spesifikasi HDRB

Type	HH075X6R	HH085X6R	HH090X6R
Diameter (mm)	750	850	900
Fz,d (kN)	4710	7620	9540
Ned, max (kN)	4710	7620	9540
Kv (kN/mm)	3090	3970	4490
Kh (kN/mm)	1,37	1,76	1,99
Tr (mm)	200	200	198
H (mm)	376,9	413,1	410,8
W (kN)	8,9	12,9	14,6
L (mm)	1100	1200	1250
Damping Ratio (%)	24	24	24

Melakukan perhitungan periode efektif dengan asumsi berat struktur bangunan akan dipikul oleh 65 HDRB.

$$\sum keff = (n \times keff_{750}) + (n \times keff_{850}) + (n \times keff_{900})$$

$$\sum keff = (5 \times 1,37) + (58 \times 1,76) + (2 \times 1,99)$$

$$\sum keff = 112,91 \text{ kN/mm}$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{w}{k_{eff} \times g}} = 2\pi \sqrt{\frac{238801 \text{ kN}}{112,91 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \times 9810}} = 2,917 \text{ detik}$$

Dimana :

W : Berat efektif bangunan (diambil dari SAP2000 (KN))

ΣK_{eff} : Jumlah total kekakuan efektif (KN/mm)

Perhitungan koreksi dimensi HDRB yang dibutuhkan oleh Gedung Pasca Sarjana IV UMM. Sebelum menghitung koreksi kebutuhan luas daripada *base isolation* terlebih dahulu diambil data *trial error* dengan beban terbesar.

Data Perhitungan : KOLOM AS B-1

Beban kolom = 9005 KN

$$\begin{aligned} \text{Inersia Kolom} &= \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} \times 700 \times 900^3 \\ &= 4,25 \times 10^{12} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton (E)} &= 4700\sqrt{f_c} = 4700 \times \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi kolom HDRB (L)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya Gravitasi (g)} = 9810 \text{ mm/detik}^2$$

1. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh HDRB tidak boleh kurang dari reaksi terbesar akibat beban kombinasi ultimate tanpa gempa sebesar 9005 kN.
2. Periode efektif bangunan *base isolation* dapat dihitung berdasarkan *AASHTO Guide Specification 1999* dengan perumusan seperti berikut ini :

$$\begin{aligned} K_{kolom} &= \frac{4EI}{L} = \frac{4 \times 25742,96 \times 4,25 \times 10^{12}}{1000} \\ &= 4,38 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 4,38 \times 10^9 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \end{aligned}$$

$$K_{eff} = \frac{K_{kolom} \times K_{HDRB}}{K_{kolom} + K_{HDRB}} = \frac{4,38 \times 10^9 \times 1,99}{4,38 \times 10^9 + 1,99} = 1,99 \frac{kN}{mm}$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{w}{K_{eff} \times g}} = 2\pi \sqrt{\frac{9005}{1,99 \times 9810}} = 4,267 \text{ detik}$$

Periode efektif bangunan dengan sistem isolasi dasar akan diambil sebesar 4,267 detik dengan asumsi bahwa perhitungan tersebut telah melibatkan kekakuan horizontal dari HDRB dan kolom pendek.

- Menentukan koefisien redaman sistem *base isolation*. Diketahui redaman efektif dari HDRB adalah sebesar 24%. Sesuai dengan tabel 5.3 maka didapati besaran koefisien dari redaman sistem isolasi dasar adalah sebesar :

$$B_D \text{ atau } B_M = 1.5 - \left(\frac{24 - 20}{30 - 20} \times (1.5 - 1.7) \right) = 1.58$$

- Menghitung perpindahan rencana struktur sistem isolasi yaitu:

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4 \pi^2 B_D} = \frac{9810 \times 0,3821 \times 4,267}{4 \pi^2 \times 1,58} = 256,44 \text{ mm}$$

- Perhitungan diameter pakai dari *base isolator*. Parameter dari pada penentuan diameter *base isolator* seperti pada poin 1 – 3 serta total maksimum perpindahan HDRB harus lebih besar dari perpindahan rencana sistem isolasi yaitu 256,44 mm. (Kelly, 2012)

$$A_{HDRB} = \frac{K_{eff} t_r}{G} = \frac{1990 \times 198}{0,62} = 635516,13 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 635516,13}{\pi}} = 899,54 \text{ mm}$$

5.2 Perhitungan Respons Spektrum Komposit

Menghitung periode penurunan pada respons spektrum gempa akibat pemasangan HDRB pada bangunan. Menurut AASHTO Chapter 11 mengenai bangunan dengan sistem isolasi, penurunan periode terjadi setelah 0,8 teff. Percepatan pada gempa mengalami reduksi sebesar faktor BD yaitu 1,58.

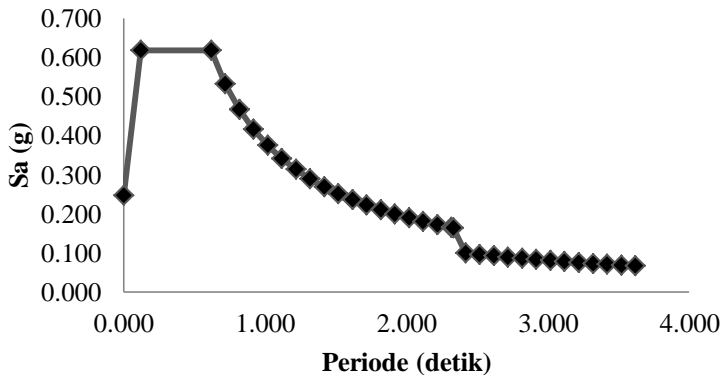
$$0,8T_{eff} = 0,8 \times 2,917 = 2,334 \text{ detik}$$

Tabel 5. 4 Perhitungan Respons Spektrum Komposit

	T (detik)	Sa (g)
0	0.000	0.247
T0	0.124	0.618
TS	0.618	0.618
TS+0.1	0.718	0.532
TS+0.2	0.818	0.467
TS+0.3	0.918	0.416
TS+0.4	1.018	0.375
TS+0.5	1.118	0.342
TS+0.6	1.218	0.314
TS+0.7	1.318	0.290
TS+0.8	1.418	0.269
TS+0.9	1.518	0.252
TS+1.0	1.618	0.236
TS+1.1	1.718	0.222
TS+1.2	1.818	0.210
TS+1.3	1.918	0.199
TS+1.4	2.018	0.189
TS+1.5	2.118	0.180
TS+1.6	2.218	0.172
TS+1.7	2.318	0.165
0.8 teff	2.334	0.164
TS+1.8	2.418	0.100
TS+1.9	2.518	0.096

	T (detik)	Sa (g)
TS+2.0	2.618	0.092
TS+2.1	2.718	0.089
TS+2.2	2.818	0.086
TS+2.3	2.918	0.083
TS+2.4	3.018	0.080
TS+2.5	3.118	0.078
TS+2.6	3.218	0.075
TS+2.7	3.318	0.073
TS+2.8	3.418	0.071
TS+2.9	3.518	0.069
TS+3.0	3.618	0.067

Respons Spektrum Komposit



Gambar 5. 3 Grafik Respons Spektrum Komposit

5.3 Perencanaan Basement

Perencanaan struktur dengan HDRB harus mempertimbangkan lokasi pemasangan agar dapat bekerja secara efisien. Pada permodelan alternatif menggunakan HDRB ini, direncanakan pembuatan basementt dengan ketinggian 3 meter dengan pelat lantai basementt $t = 300$ mm.

HDRB diletakkan diantara kolom pedestal dengan dimensi paling kecil selebar diameter sayap pelat HDRB sesuai brosur Bridgestone.

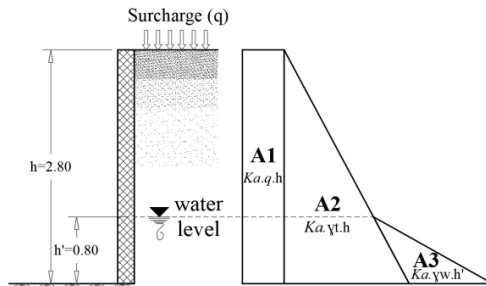
5.3.1 Perencanaan Retaining Wall

Pada prinsipnya retaining wall pada sekeliling basementt didesain mampu menahan tekanan tanah aktif yang bekerja di sisi luarnya agar tidak mengalami keruntuhan. Sehingga dihitung gaya-gaya yang bekerja berdasarkan teori Rankine (1857).

Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

(Principles of Foundation Engineering VII Eq. 7.8)



Gambar 5. 4 Skema Tekanan Pada Retaining Wall

5.3.1.1 Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja tulangan (f_{yl}) = 400 MPa
- Mutu baja tulangan (f_{yt}) = 240 MPa
- Tinggi Dinding (h) = 3000 mm
- Lebar Dinding (b) = 300 mm
- Diameter tulangan lentur = D19
- Tebal selimut = 75 mm
- β_1 = 0.84

5.3.1.2 Perhitungan Tekanan Tanah Lateral

Menurut buku pedoman “Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi” oleh Ir. Suryono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa. Apabila permukaan tanah adalah mendatar, nilai j sama dengan θ dan δ sama dengan nol. Maka tekanan tanah Coulomb diberikan oleh persamaan berikut ini :

Data perencanaan :

Q (beban hidup)	= 1 ton/m ²	= 9,81 kN/m ²
γ tanah	= 1,624 ton/m ³	= 16,24 kN/m ³
h dinding	= 3 m	
ϕ	= 3,8°	
c	= 0,589 kg/cm ²	

$$ka = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{3,8}{2}\right) = 0,936$$

Tekanan tanah aktif sebesar :

$$Pa_1 = h \times Q \times ka$$

$$Pa_1 = 3 \times 9,81 \times 0,936$$

$$Pa_1 = 27,54 \text{ kN/m}^2$$

$$Pa = \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \times \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) - 2c \times h \times \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$Pa = \frac{1}{2} \times 16,24 \times 3^2 \times 0,936^2 - 2 \times 0,589 \times 3 \times 0,936$$

$$Pa = 60,688 \text{ kN/m}^2$$

Untuk mencari nilai koefisien tekanan tanah aktif digunakan persamaan $Ax + By + Cz + D$.

➤ Persamaan 1 :

$$3C + D = 27,54 \text{ kN/m}^2$$

➤ Persamaan 2 :

$$0C + D = 60,19 \text{ kN/m}^2$$

Dari kedua persamaan di atas di dapat nilai koefisien C sebesar $-11,05 \text{ kN/m}^2$ dan nilai koefisien D sebesar $60,69 \text{ kN/m}^2$. Maka pada permodelan SAP 2000 kita dapat memasukkan joint load retaining wall dengan nilai koefisien tersebut.

5.3.2 Perhitungan Dilatasi

Dilatasi merupakan pemisahan struktur karena perbedaan sistem struktur. Hal ini dilakukan agar pada saat terjadinya beban gaya vertikal dan horizontal, seperti pergeseran tanah atau gempa bumi tidak menimbulkan keretakan atau putusnya sistem struktur bangunan tersebut.

Menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.12.3 untuk pemisahan struktur direncanakan untuk dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastic maksimum (δ_m), dan untuk besaran δ_m dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

$$\delta_M = \frac{C_d \times \delta_{max}}{I_e} = \frac{2,5 \times 102,33 \text{ mm}}{1,5} = 170,54 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Dari perhitungan di atas, maka dilatasi bangunan basementt antara kolom pedestal dengan retaining wall sebesar 200 mm.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB 6

ANALISIS STRUKTUR GEDUNG EKSISTING

6.1 Analisis Struktur Tahap 1

6.1.1 Kontrol Periode Fundamental Bangunan

Periode fundamental merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2012 menyebutkan bahwa periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dengan persamaan seperti berikut : Diketahui pada bab sebelumnya untuk nilai $SD_1 = 0,382$, $R = 7$ dan $I_e = 1,5$.

$$T_a = C_t h_n^x$$

Dimana :

h_n : ketinggian struktur

C_t : koefisien yang didapat dari Tabel 15 SNI 1726:2012

x : koefisien yang didapat dari Tabel 15 SNI 1726:2012

Tabel 6. 1 Koefisien Periode Fundamental

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

Berdasarkan tabel di atas didapat nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, sehingga nilai T_a sebesar :

$$T_{a \min} = 0.0466 \times 40^{0.9} = 1,29 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 14 sebesar :

Tabel 6. 2 Koefisien Untuk Batas Atas pada Perioda Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Karena nilai $S_{D1} = 0,382$, maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$

$$T_{a \max} = T_a \times C_u = 1,29 \times 1,4 = 1,80 \text{ detik}$$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan periode struktur sebesar :

Tabel 6. 3 Periode Fundamental Aalisa Tahap 1

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	Period	SumUX	SumUY
Text	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1.413	0.752	0.000
MODAL	0.696	0.000	0.689
MODAL	0.484	0.000	0.000
MODAL	0.458	0.091	0.000
MODAL	0.268	0.000	0.119

$$T_{a \min} < T_a < T_{a \max}$$

$$1,29 \text{ detik} < 1,413 \text{ detik} < 1,80 \text{ detik (memenuhi)}$$

Dari tabel di atas didapatkan hasil periode fundamental struktur $T = 1,413$. Menurut persyaratan SNI -3-1726:2012 Pasal 7.8.2 mengenai kontrol waktu geser alami fundamental masih memenuhi persyaratan.

6.1.2 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1, partisipasi ragam terkombinasi minimum 100% dengan ragam. Untuk tujuan ini, itu harus diizinkan untuk mewakili semua mode dengan periode kurang dari 0,05 detik dalam mode tubuh kaku tunggal yang memiliki periode 0,05 detik.

Sebagai alternatif, analisis harus diizinkan untuk memasukkan sejumlah mode minimum untuk memperoleh partisipasi massa modal gabungan paling sedikit 90% dari massa aktual dalam setiap arah horizontal ortogonal dari respon yang dipertimbangkan dalam model. Maka berikut partisipasi ragam yang dihasilkan oleh SAP 2000.

Tabel 6. 4 Partisipasi Massa Analisis Tahap 1

StepType	Period	SumUX	SumUY
Mode	0.10	0.92	0.89
Mode	0.07	0.93	0.90
Mode	0.07	0.93	0.92
Mode	0.03	0.93	0.94
Mode	0.02	0.96	0.94

Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa bangunan eksisiting memenuhi persyaratan partisipasi massa mencapai 90%.

6.1.3 Kontrol Gaya Geser Dasar Bangunan

Kontrol gaya dinamis struktur digunakan untuk mengontrol apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respons spektrum sudah sesuai dengan SNI 1726 2012. Diketahui pada bab

sebelumnya untuk nilai $S_s = 0,78$ g dan nilai $S_1 = 0,329$ g serta nilai $SDS = 0,618$ g dan nilai $SD_1 = 0,382$ g.

$$C_s = \frac{SD_s}{R} = \frac{0,618}{7} = 0,13$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times SD_s \times I_e > 0,01$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times 0,618 \times 1,5 > 0,01$$

$$C_{s_{min}} = 0,041 > 0,01$$

$$C_{s_{max}} = \frac{SD_1}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,382}{1,403 \times \frac{7}{1,5}} = 0,06$$

Dikarenakan nilai C_s melebihi nilai $C_{s_{max}}$, maka nilai $C_s = 0,06$.

Dari permodelan struktur menggunakan SAP 2000, didapatkan berat struktur gedung sebesar 24628853 kg. Maka nilai V_{statik} :

$$V_{statik} = C_s \times W_t = 0,06 \times 24628853 = 14191153 \text{ kg}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4, nilai $V_{dinamik}$ minimal 85% nilai V_{statik} . Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi maka faktor skala gempa X dan gempa Y harus dikalikan sebesar $\frac{V_{dinamik}}{0,85 V_{statik}}$.

Tabel 6. 5 Kontrol Gaya Geser Dasar Analisis Tahap 1

Gaya Geser Dasar	Dinamik Geser Dasar (kgf)	Statik Geser Dasar (kgf)	0.85 x Statik Geser Dasar (kgf)	Faktor Skala	Kontrol ($V_d > 0.85 V_s$)
X	1292826	1419115	1206248	0.93	OK
Y	1992682	1419115	1206248	0.61	OK

6.1.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidak nyamanan penghuni menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8.6.

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

$$\Delta_i = \frac{c_d \times \delta_{ei}}{I_e}$$

Δ_a = Batas simpangan

$$\Delta_a = 0.010h_{sx}$$

h_{sx} = ketinggian lantai yang ditinjau

Tabel 6. 6 Simpangan Ijin Antar Lantai

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.	$0.025h_{sx}^c$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

Perhitungan simpangan antar lantai arah X sebagai berikut :

$$\Delta_i = \frac{c_d \times \delta_{ei}}{I}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{5,5 \times (\text{Lantai Atap} - \text{Lantai 10})}{I_e}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{5,5 \times (44,7 - 43,4)}{1,5} = 4,7 \text{ mm}$$

Perhitungan simpangan ijin sebagai berikut:

$$\Delta_a = 0,010h_{sx}$$

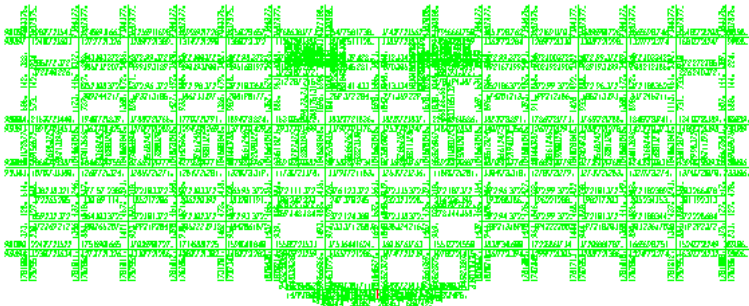
$$\Delta_a = 0,010 \times 4000 = 40 \text{ mm}$$

Tabel 6. 7 Kontrol simpangan antar lantai analisa tahap 1

Lantai	Hx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa (mm)	Kontrol	
							Δx	Δy
Atap	4000	44.7	18.9	4.7	6.8	40	Aman	Aman
10	4000	43.4	17.0	8.3	7.3	40	Aman	Aman
9	4000	41.1	15.0	11.8	7.6	40	Aman	Aman
8	4000	37.9	13.0	15.1	7.9	40	Aman	Aman
7	4000	33.8	10.8	18.0	8.0	40	Aman	Aman
6	4000	28.9	8.6	20.6	7.8	40	Aman	Aman
5	4000	23.3	6.5	22.8	7.4	40	Aman	Aman
4	4000	17.1	4.5	24.4	6.7	40	Aman	Aman
3	4000	10.4	2.7	23.9	5.7	40	Aman	Aman
2	4000	3.9	1.1	14.3	4.1	40	Aman	Aman
1	4000	0.0	0.0	0.0	0.0	40	Aman	Aman

6.1.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Pada permodelan eksisting dengan sistem dual system yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan shear wall terdapat 3 penampang balok B4 yang gagal karena gaya geser dan gaya torsi melebihi kapasitas penampang.



Gambar 6. 1 Posisi Penampang Analisis Tahap 1 yang Tidak Kuat

6.2 Analisis Struktur Tahap 2

6.2.1 Kontrol Periode Fundamental Bangunan

Berdasarkan tabel 6.1 didapat nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, sehingga nilai T_a sebesar :

$$T_{a \min} = 0.0466 \times 40^{0.9} = 1,29 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa berdasarkan SNI 1726:2012 pada tabel 6.11 sebesar :

Karena nilai $S_{D1} = 0,382$, maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$

$$T_{a \max} = T_a \times C_u = 1,29 \times 1,4 = 1,80 \text{ detik}$$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan periode struktur sebesar :

Tabel 6. 8 Periode Fundamental Bangunan Analisis Tahap 2

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	Period	UX	UY
Text	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1.412	0.754	0.000
MODAL	0.676	0.000	0.689
MODAL	0.467	0.001	0.000
MODAL	0.458	0.090	0.000
MODAL	0.268	0.000	0.119

$$T_{a \min} < T_a < T_{a \max}$$
$$1,29 \text{ detik} < 1,413 \text{ detik} < 1,80 \text{ detik} \text{ (*memenuhi*)}$$

Dari tabel di atas didapatkan hasil periode fundamental struktur $T = 1,403$. Menurut persyaratan SNI -3-1726:2012 Pasal 7.8.2 mengenai kontrol waktu geser alami fundamental masih memenuhi persyaratan.

6.2.2 Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 6. 9 Partisipasi Massa Analisis Tahap 2

StepType	Period	SumUX	SumUY
Text	Sec	Unitless	Unitless
Mode	0.10	0.92	0.89
Mode	0.07	0.93	0.90
Mode	0.07	0.93	0.92
Mode	0.03	0.93	0.94
Mode	0.02	0.96	0.95

Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa bangunan eksisting memenuhi persyaratan partisipasi massa mencapai 90%.

6.2.3 Kontrol Gaya Geser Dasar Bangunan

Diketahui pada bab sebelumnya untuk nilai $S_s = 0,78$ g dan nilai $S_1 = 0,329$ g serta nilai $SDS = 0,618$ g dan nilai $SD_1 = 0,382$ g.

$$C_s = \frac{SD_s}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,618}{\frac{4,5}{1,5}} = 0,21$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times SD_s \times I_e > 0,01$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times 0,618 \times 1,5 > 0,01$$

$$C_{s_{min}} = 0,041 > 0,01$$

$$C_{s_{max}} = \frac{SD_1}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,382}{1,403 \times \frac{4,5}{1,5}} = 0,09$$

Dikarenakan nilai C_s melebihi nilai $C_{s_{max}}$, maka nilai $C_s = 0,09$

Tabel 6. 10 Base Reactions Analisis Tahap 2

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
DX	2012066	88723	7469
DY	86922	3169202	27858
1D + 1L	0	0	24628853

Dari permodelan struktur menggunakan SAP 2000, didapatkan berat struktur gedung sebesar 24628853 kg. Maka nilai V_{statik} :

$$V_{statik} = Cs \times Wt = 0,09 \times 24628853 = 2209409,1 \text{ kg}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4, nilai $V_{dinamik}$ minimal 85% nilai V_{statik} . Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi maka faktor skala gempa X dan gempa Y harus dikalikan sebesar $\frac{V_{dinamik}}{0,85 V_{statik}}$

Tabel 6. 11 Geser Dasar Analisis Tahap 2

Gaya Geser Dasar	Dinamik Geser Dasar (kgf)	Statik Geser Dasar (kgf)	0.85 x Statik Geser Dasar (kgf)	Faktor Skala	Kontrol ($V_d > 0.85 V_s$)
X	2012066	2209409	1877998	0.93	OK
Y	3169202	2209409	1877998	0.59	OK

6.2.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Perhitungan simpangan antar lantai arah X sebagai berikut :

$$\Delta_i = \frac{C_d \times \delta_{ei}}{I}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{4 \times (\text{Lantai Atap} - \text{Lantai 10})}{I_e}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{4 \times (69,4 - 67,4)}{1,5} = 5,3 \text{ mm}$$

Perhitungan simpangan ijin sebagai berikut:

$$\Delta_a = 0,010 h_{sx}$$

$$\Delta_a = 0,010 \times 4000 = 40 \text{ mm}$$

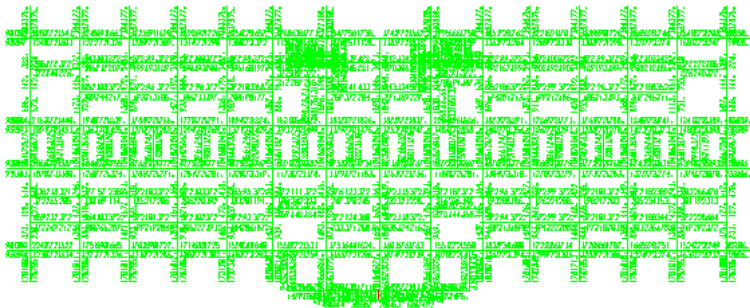
Tabel 6. 12 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Lantai	Hx (mm)	δ_x (mm)	δ_y (mm)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	Δ_a (mm)	Kontrol	
							Δ_x	Δ_y
Atap	4000	69.4	28.3	5.3	7.4	40	Aman	Aman
10	4000	67.4	25.5	9.3	7.9	40	Aman	Aman
9	4000	63.9	22.5	13.3	8.4	40	Aman	Aman

Lantai	Hx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa (mm)	Kontrol	
							Δx	Δy
8	4000	58.9	19.4	17.0	8.7	40	Aman	Aman
7	4000	52.5	16.1	20.3	8.7	40	Aman	Aman
6	4000	44.9	12.9	23.3	8.5	40	Aman	Aman
5	4000	36.2	9.7	25.8	8.0	40	Aman	Aman
4	4000	26.5	6.6	27.6	7.2	40	Aman	Aman
3	4000	16.2	3.9	27.0	6.0	40	Aman	Aman
2	4000	6.0	1.7	16.1	4.5	40	Aman	Aman
1	4000	0.0	0.0	0.0	0.0	40	Aman	Aman

6.2.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Pada permodelan eksisting dengan sistem dual system yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan shear wall terdapat 3 penampang balok B4 yang gagal karena gaya geser dan gaya torsi melebihi kapasitas penampang.



Gambar 6. 2 Posisi Penampang Analisis Tahap2 yang Tidak Kuat

6.3 Analisis Struktur Tahap 3

6.3.1 Kontrol Periode Fundamental Bangunan

Berdasarkan tabel 6.1 didapat nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, sehingga nilai T_a sebesar :

$$T_{a \min} = 0.0466 \times 40^{0.9} = 1,29 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa berdasarkan SNI 1726:2012 pada tabel 6.11 sebesar :

Karena nilai $S_{D1} = 0,382$, maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$

$$T_{a \max} = T_a \times C_u = 1,29 \times 1,4 = 1,80 \text{ detik}$$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan periode struktur sebesar :

Tabel 6. 13 Periode Struktur Eksisting pada Modal

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
OutputCase	Period	UX	UY	UZ
MODAL	1.403	0.749	0.000	0.000
MODAL	1.298	0.000	0.632	0.000
MODAL	1.295	0.002	0.105	0.000
MODAL	0.455	0.092	0.000	0.000
MODAL	0.415	0.000	0.003	0.000
MODAL	0.414	0.000	0.096	0.000

$$T_{a \min} < T_a < T_{a \max}$$

$$1,29 \text{ detik} < 1,413 \text{ detik} < 1,80 \text{ detik} \text{ (memenuhi)}$$

Dari tabel di atas didapatkan hasil periode fundamental struktur $T = 1,403$. Menurut persyaratan SNI -3-1726:2012 Pasal

7.8.2 mengenai kontrol waktu geser alami fundamental masih memenuhi persyaratan.

6.3.2 Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 6. 14 Partisipasi Massa Struktur Eksisting

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	Period	SumUX	SumUY
MODAL	0.110	0.912	0.906
MODAL	0.086	0.923	0.911
MODAL	0.075	0.927	0.923
MODAL	0.036	0.932	0.935
MODAL	0.025	0.949	0.941

Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa bangunan eksisting memenuhi persyaratan partisipasi massa mencapai 90%.

6.3.3 Kontrol Gaya Geser Dasar

Diketahui pada bab sebelumnya untuk nilai $S_s = 0,78$ g dan nilai $S_1 = 0,329$ g serta nilai $SDS = 0,618$ g dan nilai $SD1 = 0,382$ g.

$$C_s = \frac{SD_s}{R} = \frac{0,618}{3} = 0,31$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times SD_s \times I_e > 0,01$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times 0,618 \times 1,5 > 0,01$$

$$C_{s_{min}} = 0,041 > 0,01$$

$$C_{s_{max}} = \frac{SD_1}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,382}{1,403 \times \frac{3}{1,5}} = 0,135$$

Dikarenakan nilai C_s melebihi nilai $C_{s_{max}}$, maka nilai $C_s = 0,135$.

Tabel 6. 15 Base Reactions Struktur Eksisting

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
DX	2939869	395762	14668
DY	321905	3161152	25360
1D + 1L	0	0	23880053

Dari permodelan struktur menggunakan SAP 2000, didapatkan berat struktur gedung sebesar 23880053 kg. Maka nilai V_{statik} :

$$V_{statik} = Cs \times Wt = 0,135 \times 23880053 = 3233981 \text{ kg}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4, nilai $V_{dinamik}$ minimal 85% nilai V_{statik} . Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi maka faktor skala gempa X dan gempa Y harus dikalikan sebesar $\frac{V_{dinamik}}{0,85 V_{statik}}$.

Tabel 6. 16 Kontrol Gaya Geser Dasar Struktur Eksisting

Gaya Geser Dasar	Dinamik Geser Dasar (kgf)	Statik Geser Dasar (kgf)	0.85 x Statik Geser Dasar (kgf)	Faktor Skala	Kontrol ($V_d > 0.85 V_s$)
X	2939869	3233981	2748884	0.94	OK
Y	3161152	3233981	2748884	0.87	OK

6.3.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Perhitungan simpangan antar lantai arah X sebagai berikut :

$$\Delta_i = \frac{C_d \times \delta_{ei}}{I}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{2,5 \times (\text{Lantai Atap} - \text{Lantai 10})}{I_e}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{2,5 \times (102,3 - 99,2)}{1,5} = 5,2 \text{ mm}$$

Perhitungan simpangan ijin sebagai berikut:

$$\Delta_a = 0,010h_{sx}$$

$$\Delta_a = 0,010 \times 4000 = 40 \text{ mm}$$

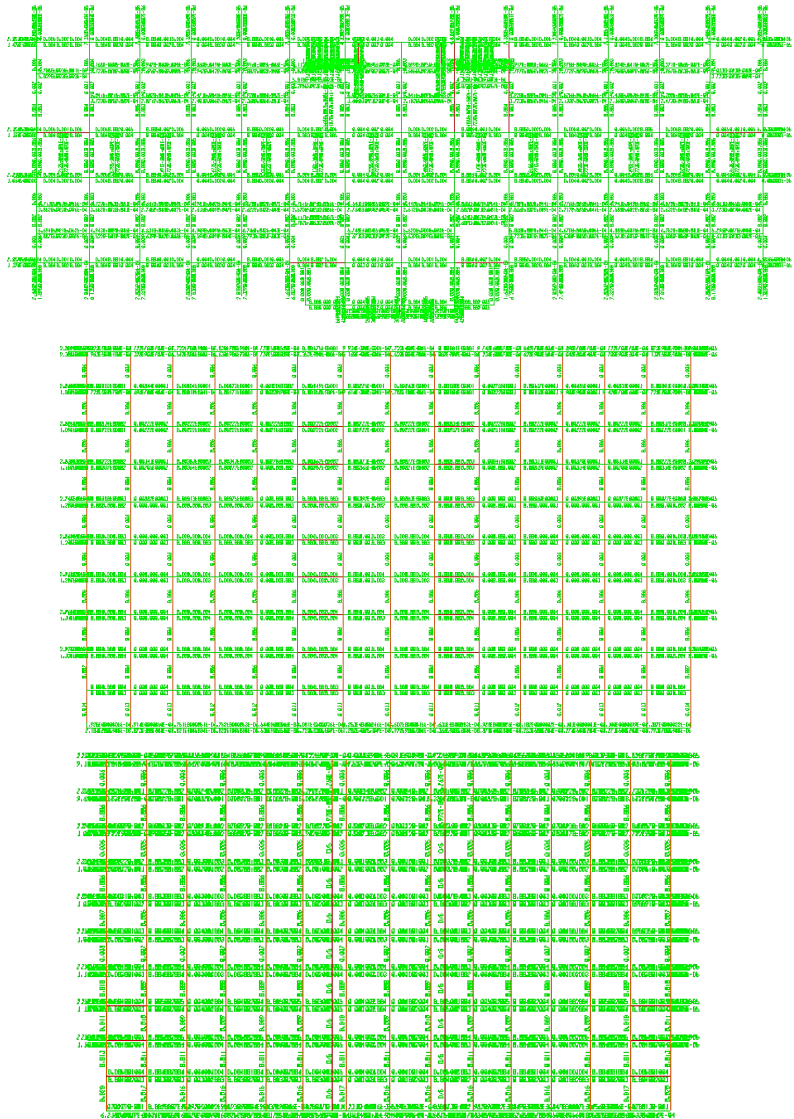
Tabel 6. 17 Perhitungan Simpangan Antar Lantai Struktur Eksisting
Arah X dan Arah Y

Lantai	Hx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa (mm)	Kontrol	
							Δx	Δy
Atap	4000	102.3	98.1	5.2	6.6	40	Aman	Aman
10	4000	99.2	94.2	8.8	9.8	40	Aman	Aman
9	4000	93.9	88.3	12.5	13.0	40	Aman	Aman
8	4000	86.4	80.5	15.8	15.9	40	Aman	Aman
7	4000	77.0	70.9	18.8	18.5	40	Aman	Aman
6	4000	65.7	59.8	21.4	20.6	40	Aman	Aman
5	4000	52.9	47.5	23.6	22.3	40	Aman	Aman
4	4000	38.7	34.1	25.2	23.1	40	Aman	Aman
3	4000	23.6	20.2	24.6	21.5	40	Aman	Aman
2	4000	8.8	7.3	14.7	12.2	40	Aman	Aman
1	4000	0.0	0.0	0.0	0.0	40	Aman	Aman

Dari perhitungan di atas, kontrol simpangan antar lantai pada permodelan gedung menggunakan SRPMB memenuhi persyaratan.

6.3.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Pada permodelan eksisting dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) terdapat 38 penampang balok yang gagal karena gaya geser dan gaya torsi melebihi kapasitas penampang.



Gambar 6. 3 Posisi Penampang yang Tidak Kuat

6.4 Analisis Struktur Eksisting SRPMB dengan HDRB

6.4.1 Kontrol Periode Fundamental

Tabel 6. 18 Periode Fundamental Struktur dengan HDRB

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
OutputCase	Period	UX	UY	UZ
Text	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	3.128	0.819	0.000	0.000
MODAL	3.076	0.006	0.868	0.000
MODAL	3.056	0.076	0.033	0.000

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 12.4.1 (4) bahwa periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan maksimum, T_M , kurang atau sama dengan 3 detik. Pada tabel 32 untuk periode yang terjadi yaitu sebesar 3.68 detik. Sesuai peraturan karena 3.7 detik > 3 detik, sehingga nilai T_M yaitu 3 detik.

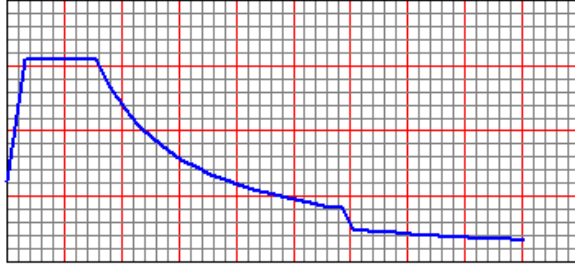
6.4.2 Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Tabel 6. 19 Rasio Partisipasi Massa Struktur dengan HDRB

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	Period	SumUX	SumUY
Text	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	3.128	0.819	0.000
MODAL	3.076	0.824	0.869
MODAL	3.056	0.900	0.902
MODAL	0.725	0.908	0.902
MODAL	0.692	0.908	0.908
MODAL	0.681	0.908	0.908

Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa bangunan eksisting memenuhi persyaratan partisipasi massa mencapai 90%.

6.4.3 Kontrol Gaya Geser Dasar



Gambar 6. 4 Grafik Respons Spektrum SAP 2000

Tabel 6. 20 Base Reactions Struktur dengan HDRB

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
DX	936660	182420	615
DY	157042	950328	2694

Terdapat perbedaan dari pada gaya geser dasar yang dihasilkan akibat gaya gempa dengan metode respons spectrum setelah ditambahkan HDRB pada bangunan. Nilai gaya geser dasar dengan sistem isolasi dasar lebih kecil jika dibandingkan dengan struktur konvensional. Dikarenakan ketika struktur modifikasi dengan sistem isolasi pengaruh nilai redaman dari *base isolator* yang dapat mereduksi gempa. Besaran reduksi gaya gempa yang dihasilkan :

$$Gempa\ arah\ X = \frac{2939869 - 936660}{2939869} \times 100\% = 68,14\%$$

$$Gempa\ arah\ Y = \frac{3161152 - 950328}{3161152} \times 100\% = 69,94\%$$

Dilakukan kontrol HDRB dengan membandingkan perpindahan maksimal yang terjadi pada HDRB sesuai output dari SAP 2000 dengan perpindahan maksimal HDRB sesuai perhitungan manual.

Tabel 6. 21 Perhitungan Perpindahan Rencana HDRB

As Kolom	Teff (detik)	0.8 Teff (detik)	DD (mm)	Displacement SAP	
				X (mm)	Y (mm)
A-1	3.97	3.17	190.62	74.55	73.93
A-2	3.81	3.05	183.19	74.65	74.58
A-3	3.74	2.99	179.76	74.60	74.60
A-4	3.81	3.05	183.22	74.63	74.61
A-5	3.73	2.99	179.46	74.67	74.65
A-6	3.92	3.13	188.27	74.80	74.62
A-7	3.95	3.16	190.05	74.85	74.57
A-8	3.82	3.06	183.84	74.79	74.59
A-9	3.90	3.12	187.27	74.93	74.59
A-10	3.92	3.14	188.49	74.97	74.61
A-11	3.75	3.00	180.17	74.92	74.64
A-12	3.76	3.01	180.67	74.96	74.62
A-13	3.75	3.00	180.39	75.00	74.61
A-14	3.82	3.05	183.49	75.14	74.60
A-15	3.96	3.17	190.59	75.12	73.94
B-1	4.24	3.40	204.04	75.07	73.66
B-2	4.08	3.26	196.16	75.20	73.96
B-3	3.89	3.11	187.16	75.27	74.08
B-4	3.89	3.11	187.06	75.32	74.05
B-5	3.88	3.10	186.55	75.35	74.08
B-6	4.05	3.24	194.50	75.35	74.15
B-7	4.17	3.33	200.41	75.38	74.11
B-8	4.01	3.21	192.96	75.47	74.01

As Kolom	Teff (detik)	0.8 Teff (detik)	DD (mm)	Displacement SAP	
				X (mm)	Y (mm)
B-9	4.14	3.31	198.91	75.46	74.12
B-10	4.07	3.26	195.61	75.52	73.90
B-11	3.89	3.11	187.07	75.60	74.09
B-12	3.90	3.12	187.43	75.65	74.05
B-13	3.90	3.12	187.73	75.68	74.04
B-14	4.09	3.27	196.59	75.68	74.29
B-15	4.27	3.41	205.15	75.64	73.25
C-1	4.02	3.21	193.13	75.19	73.21
C-2	3.82	3.06	183.84	75.26	73.78
C-3	3.81	3.05	183.22	75.30	73.77
C-4	3.79	3.03	182.29	75.34	73.77
C-5	3.80	3.04	182.65	75.37	73.80
C-6	1.14	0.91	54.86	75.39	73.78
C-7	3.87	3.09	185.86	75.42	73.72
C-8	3.86	3.09	185.52	75.46	73.73
C-9	3.83	3.06	183.90	75.50	73.75
C-10	3.81	3.05	183.14	75.57	73.76
C-11	3.81	3.05	183.03	75.62	73.79
C-12	3.80	3.04	182.84	75.66	73.77
C-13	3.82	3.05	183.50	75.70	73.76
C-14	3.84	3.07	184.55	75.74	73.80
C-15	4.04	3.24	194.42	75.76	73.16
D-1	3.90	3.12	187.33	74.51	72.59
D-2	3.78	3.03	181.95	74.58	73.21
D3	3.76	3.01	180.92	74.63	73.21
D-4	3.73	2.99	179.39	74.67	73.24
D-5	3.69	2.95	177.18	74.71	73.27
D-6	3.19	2.55	153.36	74.86	73.35
D-7	3.12	2.50	150.23	75.24	73.30
D-8	3.44	2.75	165.55	75.29	73.33

As Kolom	Teff (detik)	0.8 Teff (detik)	DD (mm)	Displacement SAP	
				X (mm)	Y (mm)
D-9	3.09	2.47	148.39	75.32	73.33
D-10	3.18	2.54	152.80	75.03	73.34
D-11	3.70	2.96	177.81	74.95	73.26
D-12	3.75	3.00	180.14	74.99	73.24
D-13	3.77	3.02	181.26	75.03	73.21
D-14	3.79	3.04	182.40	75.06	73.21
D-15	3.90	3.12	187.72	75.07	72.60
E-1	3.57	2.86	171.74	73.92	72.51
E-2	3.75	3.00	180.05	74.73	73.02
E-3	3.94	3.15	189.38	74.75	72.87
E-4	3.71	2.97	178.59	74.65	73.00
E-5	3.58	2.87	172.18	73.72	72.51
Perpindahan Maksimum				75.76	74.65

Perpindahan maksimum (DTM) dari *base isolation* dapat diketahui dengan pendekatan sebagai berikut : (Kelly, 2012)

$$DTM = 1,5 DT$$

dimana $DT = 1,1 DD$

Oleh karena itu perpindahan maksimum akan dihitung berdasarkan pendekatan persamaan tersebut.

Tabel 6. 22 Kontrol Perpindahan Maksimum HDRB

As Kolom	Displacement SAP		D_T (mm)	D_{TM} (mm)	Keterangan
	X (mm)	Y (mm)			
A-1	74.55	73.93	209.68	314.52	OK
A-2	74.65	74.58	201.51	302.27	OK
A-3	74.60	74.60	197.73	296.60	OK
A-4	74.63	74.61	201.54	302.32	OK
A-5	74.67	74.65	197.40	296.10	OK

As Kolom	Displacement SAP		D_T	D_{TM}	Keterangan
A-6	74.80	74.62	207.09	310.64	OK
A-7	74.85	74.57	209.05	313.58	OK
A-8	74.79	74.59	202.22	303.33	OK
A-9	74.93	74.59	206.00	309.00	OK
A-10	74.97	74.61	207.34	311.01	OK
A-11	74.92	74.64	198.19	297.28	OK
A-12	74.96	74.62	198.74	298.11	OK
A-13	75.00	74.61	198.42	297.64	OK
A-14	75.14	74.60	201.84	302.75	OK
A-15	75.12	73.94	209.64	314.47	OK
B-1	75.07	73.66	224.45	336.67	OK
B-2	75.20	73.96	215.77	323.66	OK
B-3	75.27	74.08	205.88	308.81	OK
B-4	75.32	74.05	205.76	308.64	OK
B-5	75.35	74.08	205.20	307.80	OK
B-6	75.35	74.15	213.95	320.92	OK
B-7	75.38	74.11	220.45	330.67	OK
B-8	75.47	74.01	212.26	318.39	OK
B-9	75.46	74.12	218.80	328.21	OK
B-10	75.52	73.90	215.17	322.76	OK
B-11	75.60	74.09	205.78	308.67	OK
B-12	75.65	74.05	206.17	309.26	OK
B-13	75.68	74.04	206.51	309.76	OK
B-14	75.68	74.29	216.25	324.38	OK
B-15	75.64	73.25	225.67	338.50	OK
C-1	75.19	73.21	212.45	318.67	OK
C-2	75.26	73.78	202.22	303.33	OK
C-3	75.30	73.77	201.54	302.32	OK
C-4	75.34	73.77	200.51	300.77	OK
C-5	75.37	73.80	200.92	301.38	OK
C-6	75.39	73.78	60.34	90.52	OK

As Kolom	Displacement SAP		D_T	D_{TM}	Keterangan
C-7	75.42	73.72	204.44	306.67	OK
C-8	75.46	73.73	204.07	306.11	OK
C-9	75.50	73.75	202.29	303.44	OK
C-10	75.57	73.76	201.45	302.18	OK
C-11	75.62	73.79	201.33	302.00	OK
C-12	75.66	73.77	201.13	301.69	OK
C-13	75.70	73.76	201.85	302.78	OK
C-14	75.74	73.80	203.00	304.51	OK
C-15	75.76	73.16	213.86	320.79	OK
D-1	74.51	72.59	206.06	309.09	OK
D-2	74.58	73.21	200.14	300.21	OK
D3	74.63	73.21	199.02	298.52	OK
D-4	74.67	73.24	197.33	296.00	OK
D-5	74.71	73.27	194.90	292.35	OK
D-6	74.86	73.35	168.70	253.04	OK
D-7	75.24	73.30	165.25	247.88	OK
D-8	75.29	73.33	182.11	273.16	OK
D-9	75.32	73.33	163.23	244.85	OK
D-10	75.03	73.34	168.08	252.12	OK
D-11	74.95	73.26	195.59	293.39	OK
D-12	74.99	73.24	198.16	297.24	OK
D-13	75.03	73.21	199.39	299.08	OK
D-14	75.06	73.21	200.64	300.96	OK
D-15	75.07	72.60	206.49	309.74	OK
E-1	73.92	72.51	188.91	283.36	OK
E-2	74.73	73.02	198.06	297.09	OK
E-3	74.75	72.87	208.31	312.47	OK
E-4	74.65	73.00	196.45	294.67	OK
E-5	73.72	72.51	189.40	284.10	OK

6.4.3.1 Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi

Sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral minimum, V_b . Sesuai pada SNI 1726:2012 pasal 12.6.4.1 menyatakan bahwa gaya gempa dinamis di bawah sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 90 persen nilai V_b . Berdasarkan hasil analisis SAP maka didapatkan gaya gempa yang terjadi yaitu :

Perhitungan HDRB as kolom B-15 dengan diameter 900 mm :

$$kd_{max} = 1,1 \times k_{eff}$$

$$kd_{max} = 1,1 \times 1,99$$

$$kd_{max} = 2,19 \text{ kN/mm}$$

$$V_b = kd_{max} \times D_D$$

$$V_b = 2,19 \times 75,64$$

$$V_b = 165,58 \text{ kN}$$

$$0,9V_b = 149,02 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$V_b \text{ SAP} > 0,9V_b$$

$$150,56 \text{ kN} > 149,02 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

Tabel 6. 23 Kontrol Gaya Gempa Lateral Struktur Di Bawah HDRB

As Kolom	Keff (kN/mm)	Kdmax (kN/mm)	Dm _{ax} SAP (mm)	Vb (kN)	Syarat 0.9Vb (kN)	Vb SAP (kN)	Cek
A-1	1.76	1.94	74.55	144.32	129.89	131.24	OK
A-2	1.76	1.94	74.65	131.39	118.25	131.43	OK
A-3	1.76	1.94	74.60	131.30	118.17	131.33	OK
A-4	1.76	1.94	74.63	131.36	118.22	131.39	OK
A-5	1.76	1.94	74.67	131.42	118.28	131.46	OK
A-6	1.76	1.94	74.80	131.64	118.48	131.68	OK
A-7	1.76	1.94	74.85	131.74	118.56	131.77	OK

As	Keff	Kdmax	Dm _{ax}	Vb	Syarat	Vb	Cek
A-8	1.76	1.94	74.79	131.63	118.47	131.67	OK
A-9	1.76	1.94	74.93	131.88	118.69	131.91	OK
A-10	1.76	1.94	74.97	131.94	118.75	131.98	OK
A-11	1.76	1.94	74.92	131.86	118.67	131.90	OK
A-12	1.76	1.94	74.96	131.93	118.74	131.96	OK
A-13	1.76	1.94	75.00	132.01	118.80	132.04	OK
A-14	1.76	1.94	75.14	132.24	119.02	132.28	OK
A-15	1.76	1.94	75.12	132.20	118.98	132.24	OK
B-1	1.99	2.19	75.07	149.39	134.45	149.43	OK
B-2	1.76	1.94	75.20	132.35	119.11	132.38	OK
B-3	1.76	1.94	75.27	132.48	119.24	132.52	OK
B-4	1.76	1.94	75.32	132.56	119.31	132.60	OK
B-5	1.76	1.94	75.35	132.62	119.35	132.65	OK
B-6	1.76	1.94	75.35	132.61	119.35	132.65	OK
B-7	1.76	1.94	75.38	132.67	119.40	132.70	OK
B-8	1.76	1.94	75.47	132.82	119.54	132.86	OK
B-9	1.76	1.94	75.46	132.82	119.54	132.85	OK
B-10	1.76	1.94	75.52	132.92	119.63	132.96	OK
B-11	1.76	1.94	75.60	133.05	119.75	133.09	OK
B-12	1.76	1.94	75.65	133.14	119.82	133.17	OK
B-13	1.76	1.94	75.68	133.20	119.88	133.23	OK
B-14	1.76	1.94	75.68	133.20	119.88	133.23	OK
B-15	1.99	2.19	75.64	150.53	135.47	150.56	OK
C-1	1.76	1.94	75.19	132.33	119.10	132.37	OK
C-2	1.76	1.94	75.26	132.45	119.21	132.49	OK
C-3	1.76	1.94	75.30	132.52	119.27	132.56	OK
C-4	1.76	1.94	75.34	132.59	119.33	132.63	OK
C-5	1.76	1.94	75.37	132.65	119.38	132.68	OK
C-6	1.76	1.94	75.39	132.69	119.42	132.73	OK
C-7	1.76	1.94	75.42	132.73	119.46	132.77	OK
C-8	1.76	1.94	75.46	132.80	119.52	132.84	OK
C-9	1.76	1.94	75.50	132.88	119.59	132.92	OK

As	Keff	Kdmax	Dm _{ax}	Vb	Syarat	Vb	Cek
C-10	1.76	1.94	75.57	133.00	119.70	133.03	OK
C-11	1.76	1.94	75.62	133.09	119.78	133.12	OK
C-12	1.76	1.94	75.66	133.17	119.85	133.20	OK
C-13	1.76	1.94	75.70	133.24	119.91	133.27	OK
C-14	1.76	1.94	75.74	133.30	119.97	133.34	OK
C-15	1.76	1.94	75.76	133.33	120.00	133.37	OK
D-1	1.76	1.94	74.51	131.13	118.02	131.16	OK
D-2	1.76	1.94	74.58	131.26	118.14	131.30	OK
D3	1.76	1.94	74.63	131.34	118.21	131.38	OK
D-4	1.76	1.94	74.67	131.42	118.27	131.45	OK
D-5	1.76	1.94	74.71	131.48	118.34	131.52	OK
D-6	1.37	1.51	74.86	102.56	92.30	102.59	OK
D-7	1.37	1.51	75.24	103.07	92.77	103.10	OK
D-8	1.37	1.51	75.29	103.14	92.83	103.17	OK
D-9	1.37	1.51	75.32	103.19	92.87	103.22	OK
D-10	1.37	1.51	75.03	102.80	92.52	102.83	OK
D-11	1.76	1.94	74.95	131.92	118.73	131.95	OK
D-12	1.76	1.94	74.99	131.99	118.79	132.02	OK
D-13	1.76	1.94	75.03	132.05	118.85	132.09	OK
D-14	1.76	1.94	75.06	132.11	118.90	132.15	OK
D-15	1.76	1.94	75.07	132.12	118.91	132.16	OK
E-1	1.76	1.94	73.92	130.11	117.10	129.79	OK
E-2	1.76	1.94	74.73	131.53	118.37	131.41	OK
E-3	1.76	1.94	74.75	131.56	118.40	131.60	OK
E-4	1.76	1.94	74.65	131.38	118.24	131.56	OK
E-5	1.76	1.94	73.72	129.75	116.78	130.14	OK

6.4.3.2 Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi

Struktur di atas sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum, Vs. Gaya geser dinamis struktur isolasi pada SNI 1726:2012 pasal 12.6.4.2

menyatakan bahwa gaya gempa dinamis tidak boleh diambil kurang dari 80 persen nilai V_s .

Perhitungan HDRB as kolom B-15 dengan diameter 900 mm :

$$kd_{max} = 1,1 \times k_{eff}$$

$$kd_{max} = 1,1 \times 1,99$$

$$kd_{max} = 2,19 \text{ kN/mm}$$

$$V_s = \frac{kd_{max} \times D_D}{R}$$

$$V_s = \frac{2,19 \times 75,64}{2}$$

$$V_s = 82,79 \text{ kN}$$

$$0,8V_s = 66,23 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$V_b \text{ SAP} > 0,8V_b$$

$$149,29 \text{ kN} > 66,23 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Tabel 6. 24 Kontrol Gaya Gempa Lateral Struktur Di Atas HDRB

As Kolom	K_{eff} (kN/mm)	K_{dmax} (kN/mm)	$D_{m_{ax}}$ SAP (mm)	V_s (kN)	Syarat 0.8. V_s (kN)	V_s SAP (kN)	Cek
A-1	1.76	1.94	74.55	72.16	57.73	130.08	OK
A-2	1.76	1.94	74.65	72.26	57.81	130.26	OK
A-3	1.76	1.94	74.60	72.21	57.77	130.17	OK
A-4	1.76	1.94	74.63	72.25	57.80	130.23	OK
A-5	1.76	1.94	74.67	72.28	57.83	130.30	OK
A-6	1.76	1.94	74.80	72.40	57.92	130.51	OK
A-7	1.76	1.94	74.85	72.46	57.96	130.61	OK
A-8	1.76	1.94	74.79	72.40	57.92	130.50	OK
A-9	1.76	1.94	74.93	72.53	58.03	130.75	OK
A-10	1.76	1.94	74.97	72.57	58.05	130.81	OK
A-11	1.76	1.94	74.92	72.52	58.02	130.73	OK

As	Keff	Kdmax	Dm _{ax}	Vs	Syarat	Vs	Cek
A-12	1.76	1.94	74.96	72.56	58.05	130.80	OK
A-13	1.76	1.94	75.00	72.60	58.08	130.88	OK
A-14	1.76	1.94	75.14	72.73	58.19	131.11	OK
A-15	1.76	1.94	75.12	72.71	58.17	131.07	OK
B-1	1.99	2.19	75.07	82.16	65.73	148.15	OK
B-2	1.76	1.94	75.20	72.79	58.23	131.21	OK
B-3	1.76	1.94	75.27	72.87	58.29	131.35	OK
B-4	1.76	1.94	75.32	72.91	58.33	131.43	OK
B-5	1.76	1.94	75.35	72.94	58.35	131.48	OK
B-6	1.76	1.94	75.35	72.94	58.35	131.48	OK
B-7	1.76	1.94	75.38	72.97	58.37	131.53	OK
B-8	1.76	1.94	75.47	73.05	58.44	131.69	OK
B-9	1.76	1.94	75.46	73.05	58.44	131.68	OK
B-10	1.76	1.94	75.52	73.11	58.48	131.79	OK
B-11	1.76	1.94	75.60	73.18	58.54	131.92	OK
B-12	1.76	1.94	75.65	73.23	58.58	132.00	OK
B-13	1.76	1.94	75.68	73.26	58.61	132.06	OK
B-14	1.76	1.94	75.68	73.26	58.61	132.06	OK
B-15	1.99	2.19	75.64	82.79	66.23	149.29	OK
C-1	1.76	1.94	75.19	72.78	58.23	131.20	OK
C-2	1.76	1.94	75.26	72.85	58.28	131.32	OK
C-3	1.76	1.94	75.30	72.89	58.31	131.39	OK
C-4	1.76	1.94	75.34	72.93	58.34	131.46	OK
C-5	1.76	1.94	75.37	72.96	58.37	131.51	OK
C-6	1.76	1.94	75.39	72.98	58.38	131.56	OK
C-7	1.76	1.94	75.42	73.00	58.40	131.60	OK
C-8	1.76	1.94	75.46	73.04	58.43	131.67	OK
C-9	1.76	1.94	75.50	73.08	58.47	131.75	OK
C-10	1.76	1.94	75.57	73.15	58.52	131.86	OK
C-11	1.76	1.94	75.62	73.20	58.56	131.95	OK
C-12	1.76	1.94	75.66	73.24	58.59	132.03	OK
C-13	1.76	1.94	75.70	73.28	58.62	132.10	OK

As	Keff	Kdmax	Dm _{ax}	Vs	Syarat	Vs	Cek
C-14	1.76	1.94	75.74	73.32	58.65	132.17	OK
C-15	1.76	1.94	75.76	73.33	58.67	132.20	OK
D-1	1.76	1.94	74.51	72.12	57.70	130.00	OK
D-2	1.76	1.94	74.58	72.19	57.76	130.13	OK
D3	1.76	1.94	74.63	72.24	57.79	130.22	OK
D-4	1.76	1.94	74.67	72.28	57.82	130.29	OK
D-5	1.76	1.94	74.71	72.32	57.85	130.36	OK
D-6	1.37	1.51	74.86	56.41	45.12	101.64	OK
D-7	1.37	1.51	75.24	56.69	45.35	102.15	OK
D-8	1.37	1.51	75.29	56.73	45.38	102.23	OK
D-9	1.37	1.51	75.32	56.75	45.40	102.27	OK
D-10	1.37	1.51	75.03	56.54	45.23	101.88	OK
D-11	1.76	1.94	74.95	72.56	58.04	130.79	OK
D-12	1.76	1.94	74.99	72.59	58.08	130.86	OK
D-13	1.76	1.94	75.03	72.63	58.10	130.93	OK
D-14	1.76	1.94	75.06	72.66	58.13	130.98	OK
D-15	1.76	1.94	75.07	72.67	58.13	131.00	OK
E-1	1.76	1.94	73.92	71.56	57.25	130.25	OK
E-2	1.76	1.94	74.73	72.34	57.87	128.64	OK
E-3	1.76	1.94	74.75	72.36	57.89	130.43	OK
E-4	1.76	1.94	74.65	72.26	57.81	130.40	OK
E-5	1.76	1.94	73.72	71.36	57.09	128.99	OK

6.4.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 12.5.6, simpangan antar lantai struktur di atas sistem isolasi tidak boleh melebihi $0,015h_x$.

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

$$\Delta_i = \frac{C_d \times \delta_{ei}}{I_e}$$

Δ_a = Batas simpangan

$$\Delta_a = 0.015h_{sx}$$

h_{sx} = ketinggian lantai yang ditinjau

$I_e = 1$ (sistem isolasi)

Perhitungan simpangan antar lantai arah X sebagai berikut :

$$\Delta_i = \frac{c_d \times \delta_{ei}}{I}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{2,5 \times (\text{Lantai Atap} - \text{Lantai 10})}{I_e}$$

$$\Delta_{atap} = \frac{2,5 \times (102,89 - 101,53)}{1} = 1,62 \text{ mm}$$

Perhitungan simpangan ijin sebagai berikut:

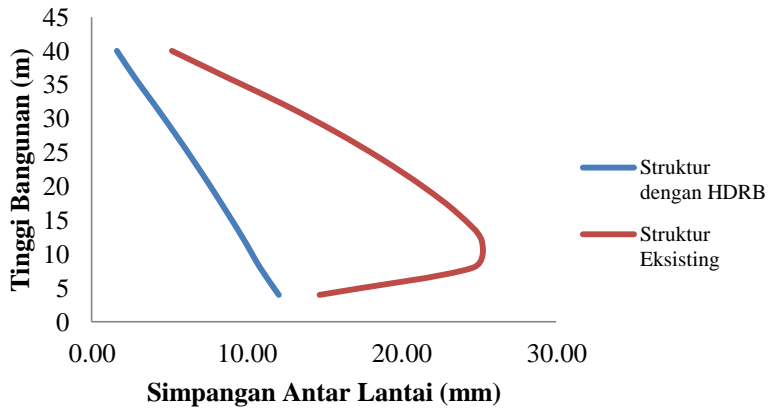
$$\Delta_a = 0,015h_{sx}$$

$$\Delta_a = 0,015 \times 4000 = 60 \text{ mm}$$

Tabel 6. 25 Perhitungan Simpangan Antar Lantai Struktur dengan HDRB Arah X dan Arah Y

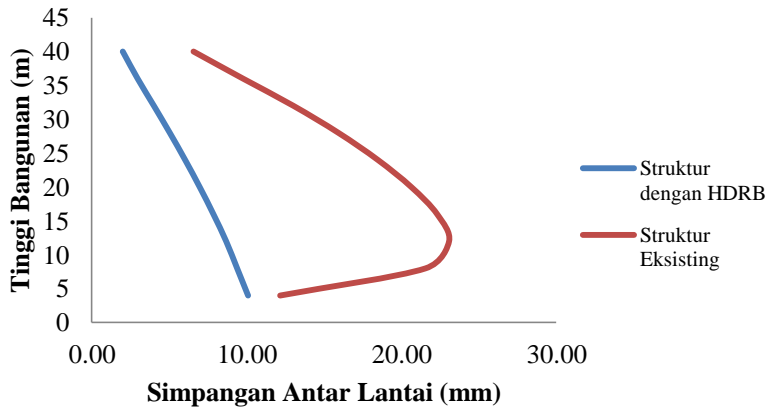
Lantai	Hx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa (mm)	Kontrol	
							Δx	Δy
Atap	4000	102.89	102.33					
10	4000	102.24	101.53	1.62	2.00	60	Aman	Aman
9	4000	101.12	100.34	2.80	2.96	60	Aman	Aman
8	4000	99.49	98.74	4.07	4.01	60	Aman	Aman
7	4000	97.37	96.72	5.32	5.04	60	Aman	Aman
6	4000	94.76	94.31	6.52	6.03	60	Aman	Aman
5	4000	91.69	91.52	7.67	6.97	60	Aman	Aman
4	4000	88.18	88.38	8.78	7.86	60	Aman	Aman
3	4000	84.23	84.90	9.86	8.68	60	Aman	Aman
2	4000	79.88	81.15	10.88	9.39	60	Aman	Aman
1	4000	75.05	77.11	12.08	10.10	60	Aman	Aman
Basement	3000	73.01	75.41	5.10	4.23	45	Aman	Aman

Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 6. 5 Perbedaan Simpangan Antar Lantai Arah X

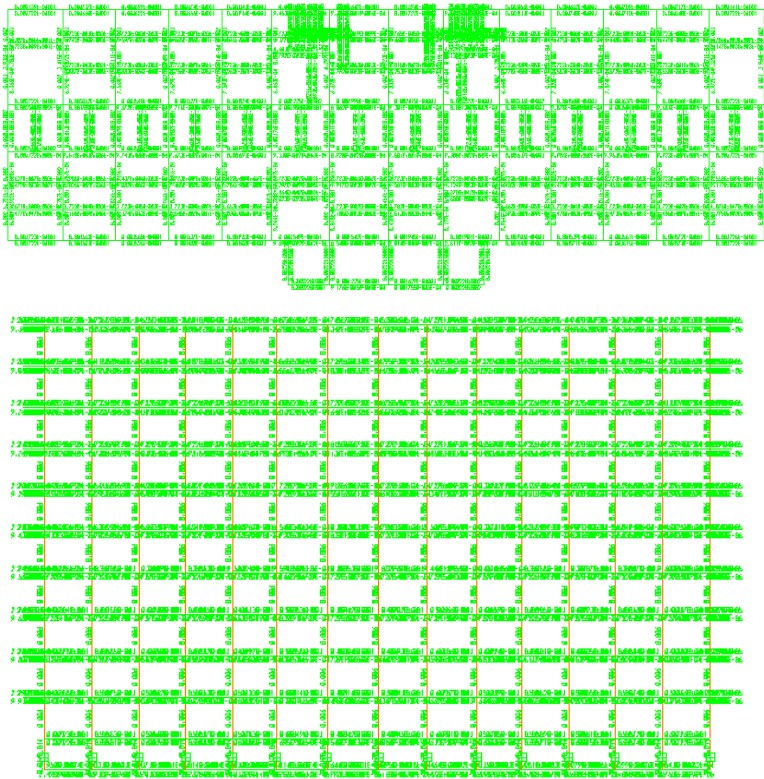
Simpangan Antar Lantai Arah Y



Gambar 6. 6 Perbedaan Simpangan Antar Lantai Arah Y

6.4.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Pada permodelan eksisting dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dengan Sistem Isolasi Dasar menggunakan HDRB tidak terdapat penampang yang gagal karena prinsip kerja HDRB yang mampu meredam gaya gempa dengan *damping ratio* sebesar 24%.



Gambar 6. 7 Hasil Kontrol Kapasitas Penampang Analisis Tahap 4

“ Halaman ini sengaja dikosongan ”

BAB 7

PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS

7.1 Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai pada struktur Gedung Pasca Sarjana IV UMM dibagi berdasarkan pembalokan, dengan pembebanan dihitung sesuai fungsi ruangan.

7.1.1 Pembebanan Pelat Lantai

Pembebanan pelat dibagi ke beban yang diterima oleh tiap lantai berdasarkan fungsi ruang dari lantai tersebut.

1. Pelat Lantai 1

➤ Beban Mati (DL)

$$\text{Berat sendiri pelat (2400 0x0,12)} = 288 \text{ kg/m}^2$$

Berat mati tambahan (SD) :

$$\text{Keramik} = 16,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi 2 cm} = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafond} = 9,2 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Partisi Plafond} = 16,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting Plumbing} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Instalasi listrik} = 40 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Beban Mati Total (qD)} = 437,5 \text{ kg/m}^2$$

➤ Beban Hidup (qL)

$$\text{Beban hidup ruang arsip} = 479 \text{ kg/m}^2$$

➤ Kombinasi Pembebanan

$$Q_u = 1.2q_D + 1.6q_L$$

$$= 1.2 (437,5 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (479 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1291,4 \text{ kg/m}^2$$

2. Pelat Lantai 2 – 7

- **Beban Mati (DL)**

Berat sendiri pelat (2400 0x0,12)	= 288 kg/m ²
Berat mati tambahan (SD) :	
Keramik	= 16,5 kg/m ²
Spesi 2 cm	= 42 kg/m ²
Plafond	= 9.2 kg/m ²
Partisi Plafond	= 16.8 kg/m ²
Ducting Plumbing	= 25 kg/m ²
<u>Instalasi listrik</u>	= 40 kg/m ² +
Beban Mati Total (qD)	= 437,5 kg/m²

- **Beban Hidup (qL)**

Beban hidup kantor	= 240 kg/m ²
--------------------	-------------------------

- **Kombinasi Pembebanan**

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1.2q_D + 1.6q_L \\
 &= 1.2 (437,5 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (240 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 909 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Pelat Lantai 8 - 9

- **Beban Mati (DL)**

Berat sendiri pelat (2400 0x0,12)	= 288 kg/m ²
Berat mati tambahan (SD) :	
Keramik	= 16,5 kg/m ²
Spesi 2 cm	= 42 kg/m ²
Plafond	= 9.2 kg/m ²
Partisi Plafond	= 16.8 kg/m ²
Ducting Plumbing	= 25 kg/m ²
<u>Instalasi listrik</u>	= 40 kg/m ² +
Beban Mati Total (qD)	= 437,5 kg/m²

- **Beban Hidup (qL)**

Beban hidup ruang kelas	= 192 kg/m ²
-------------------------	-------------------------

➤ Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.2q_D + 1.6q_L \\ &= 1.2 (437,5 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 832,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4. Pelat Lantai 10

➤ Beban Mati (DL)

Berat sendiri pelat (2400 0x0,12) = 288 kg/m²

Berat mati tambahan (SD) :

Keramik = 16,5 kg/m²

Spesi 2 cm = 42 kg/m²

Plafond = 9.2 kg/m²

Partisi Plafond = 16.8 kg/m²

Ducting Plumbing = 25 kg/m²

Instalasi listrik = 40 kg/m² +

Beban Mati Total (q_D) = 437,5 kg/m²

➤ Beban Hidup (q_L)

Beban hidup ruang pertemuan = 479 kg/m²

➤ Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.2q_D + 1.6q_L \\ &= 1.2 (437,5 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (479 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1291,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

5. Pelat Atap

➤ Beban Mati (DL)

Berat sendiri pelat (2400 0x0,10) = 240 kg/m²

Berat mati tambahan (SD) :

Waterproof = 7 kg/m²

Plafond = 9.2 kg/m²

Partisi Plafond = 16.8 kg/m²

Ducting Plumbing = 25 kg/m²

Instalasi listrik = 40 kg/m² +

$$\text{Beban Mati Total (qD)} = 338 \text{ kg/m}^2$$

➤ **Beban Hidup (qL)**

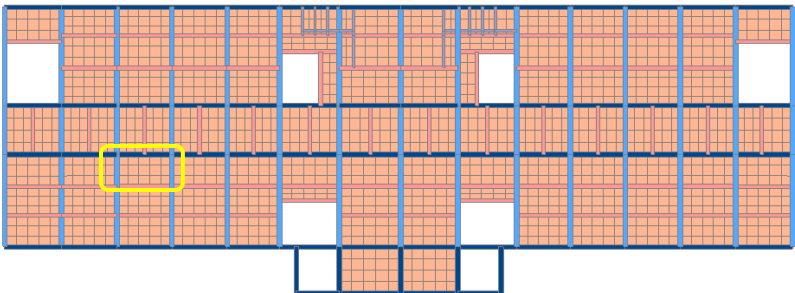
$$\begin{aligned} \text{Beban hidup atap} &= 96 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban air hujan} &= 29,4 \text{ kg/m}^2 + \\ \hline \text{Beban Hidup Total (qL)} &= 125,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

➤ **Kombinasi Pembebanan**

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.2qD + 1.6qL \\ &= 1.2 (338 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (125,4 \text{ kg/m}^2) \\ &= 606,24 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

7.1.2 Pelat 2 Arah

Pada analisis perhitungan pelat dua arah yang ditinjau adalah pelat dengan dimensi 2150 x 4100 mm di lantai 1. Selebihnya akan dilakukan rekapitulasi.



Gambar 7. 1 Denah Pelat Dua Arah yang ditinjau

7.1.2.1 Data Pembebanan

➤ **Beban Mati (DL)**

$$\text{Berat sendiri pelat (2400 0x0,12)} = 288 \text{ kg/m}^2$$

Berat mati tambahan (SD) :

$$\text{Keramik} = 16,5 \text{ kg/m}^2$$

Spesi 2 cm	= 42 kg/m ²
Plafond	= 9.2 kg/m ²
Partisi Plafond	= 16.8 kg/m ²
Ducting Plumbing	= 25 kg/m ²
<u>Instalasi listrik</u>	= 40 kg/m ² +
Beban Mati Total (qD)	= 437,5 kg/m ²

➤ Beban Hidup (qL)
 Beban hidup ruang arsip = 479 kg/m²

➤ Kombinasi Pembebanan
 $Q_u = 1.2qD + 1.6qL$
 $= 1.2 (437,5 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (479 \text{ kg/m}^2)$
 $= 1291,4 \text{ kg/m}^2$

7.1.2.2 Data Perencanaan

- Tipe Pelat = P1
- L_x = 2,5 m
- L_y = 4,5 m
- B_{B1} = 40 cm
- B_{B2} = 40 cm
- B_{B3} = 30 cm
- L_n = 4,1 m
- S_n = 2,15 m
- f_c' = 30 Mpa
- f_y = 320 Mpa
- β_1 = 0,84 (SNI 2847, pasal 10.2.7.3)
- b = 1000 mm = 1 m
- h = 120 mm = 0,12 m
- ρ_{susut} = 0,002 (SNI 2847, Pasal 7.12.2.1)
- $\phi_{tul. lentur}$ = 12 mm = 0,012m
- $\phi_{tul. susut}$ = 10 mm = 0,010 m
- *decking* = 20 mm = 0,02 m

- d_x = 94 mm = 0,094 m
- d_y = 82 mm = 0,082 m

7.1.2.3 Cek Jenis Pelat

Jenis pelat dicek untuk mengetahui pelat yang ditinjau tergolong pelat satu arah atau dua arah melalui syarat berikut.

$$\frac{L_n}{S_n} < 2$$

$$\frac{4,1}{2,15} < 2$$

$$1,9 < 2$$

Sehingga termasuk dalam pelat 2 arah

7.1.2.4 Momen-Momen Pada Pelat

Tipe Pelat	Momen	ly / lx									
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
I	$M_{lx} = +0,001 q_{lx}^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97
	$M_{ly} = +0,001 q_{ly}^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38
II	$M_{lx} = +0,001 q_{lx}^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40
	$M_{ly} = +0,001 q_{ly}^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12
	$M_{lx} = +0,001 q_{lx}^2 X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83
	$M_{ly} = +0,001 q_{ly}^2 X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57

Tabel 7. 1 Koefisien Momen Pelat

(Tabel 13.3.1 PBI 71)

$$M_{Lapangan\ x} = 0,001 \times q_{lx}^2 \times X$$

$$= 0,001 \times \left(1291,4 \frac{kg}{m^2}\right)^2 \times 40$$

$$= 238,78\ kgm$$

$$M_{Tumpuan\ x} = 0,001 \times q_{lx}^2 \times X$$

$$= 0,001 \times \left(1291,4 \frac{kg}{m^2}\right)^2 \times 12$$

$$= 71,63\ kgm$$

$$M_{Tumpuan\ y} = 0,001 \times q_{ly}^2 \times X$$

$$= 0,001 \times \left(1291,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)^2 \times 83$$

$$= 495,47 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan Y} = 0,001 \times q_{lx}^2 \times X$$

$$= 0,001 \times \left(1291,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)^2 \times 57$$

$$= 340,26 \text{ kgm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{320 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 12,5$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{fy} = \frac{1.4}{320} = 0,004$$

$$\rho_{max} = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$= \frac{0.75 \times 0.85 \times 0.84 \times 30 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 320 \text{ MPa}} \right)$$

$$= 0,03$$

7.1.2.5 Penulangan Pelat

1.) Arah X

a. Tumpuan X

$$Mu = 495,47 \text{ kgm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{495,47 \text{ kgm}}{0,9}$$

$$= 5505202 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{5505202 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (94 \text{ mm})^2} = 0,69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$= \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 12,5 \times \left(0,69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0022$$

Cek persyaratan:

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

$$0,004 > 0,0022 < 0,03 \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

$$\text{Karena } \rho_{min} > \rho, \text{ maka } \rho_{pakai} = \rho_{min} = 0,004$$

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

$$A_s \text{ perlu} = 0,004 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 411,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

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

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

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

Dipakai tulangan $\phi 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{411,25 \text{ mm}^2}$$

$$= 275 \text{ mm}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Dengan $A_s \text{ perlu} = 411,25 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $D12$.

Sehingga tulangan pakai = $D12 - 200$ dengan $A_s \text{ pakai} =$

$$565,49 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

$$411,25 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b. Lapangan X

$$M_u = 238,78 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{238,78 \text{ kgm}}{0,9}$$

$$= 2653110 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{2653110 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (94 \text{ mm})^2} = 0,33 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 12,5 \times \left(0,33 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)}{320 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

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

$$0,004 > 0,001 < 0,03 \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0,004$

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

As perlu = $0,004 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm}$

As perlu = $411,25 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan:

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

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

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

Dipakai tulangan $\phi 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{411,25 \text{ mm}^2}$$

$$= 275 \text{ mm}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Dengan $A_{s\text{ perlu}} = 411,25 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan D12. Sehingga tulangan pakai = D12 – 200 dengan $A_{s\text{ pakai}} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_{s\text{ perlu}} < A_{s\text{ pakai}}$$

$$411,25 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

2.) Arah Y

a. Tumpuan Y

$$Mu = 340,26 \text{ kgm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{340,26 \text{ kgm}}{0,9}$$

$$= 3780681 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{3780681 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (94 \text{ mm})^2} = 0,48 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

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

$$= \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 12,5 \times \left(0,48 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)}{320 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0015$$

Cek persyaratan:

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

$$0,004 > 0,0015 < 0,03 \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0,004$

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

$$As\text{ perlu} = 0,004 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm}$$

$$As\text{ perlu} = 411,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

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

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

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

Dipakai tulangan $\phi 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{411,25 \text{ mm}^2} \\ &= 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Dengan $A_s \text{ perlu} = 411,25 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $D12$.

Sehingga tulangan pakai = $D12 - 200$ dengan $A_s \text{ pakai} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

$$411,25 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b. Lapangan Y

$$M_u = 71,63 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{71,63 \text{ kgm}}{0,9}$$

$$= 795933 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{795933 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (94 \text{ mm})^2} = 0,10 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

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

$$= \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 12,5 \times \left(0,1 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)}{320 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0003$$

Cek persyaratan:

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

$$0,004 > 0,0003 < 0,03 \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0,004$

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

$$A_s \text{ perlu} = 0,004 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 411,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

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

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

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

Dipakai tulangan $\phi 12$, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{411,25 \text{ mm}^2}$$

$$= 275 \text{ mm}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Dengan $A_s \text{ perlu} = 411,25 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan D12.

Sehingga tulangan pakai = D12 – 200 dengan $A_s \text{ pakai} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

$$411,25 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

7.1.2.6 Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 240 dipakai $\rho_{susut} = 0,002$

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

$$= 0,002 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$$

$$= 240$$

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

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

(SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)

Dipakai tulangan $\emptyset 10$ mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ susut}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \times 1000 \text{ mm})}{240 \text{ mm}^2} \\ &= 327,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 327,25 \text{ mm} < S_{max} = 450 \text{ mm} \rightarrow S_{pakai} = 250 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 10 - 250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}} = 314,16 \text{ mm}^2 > 240 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

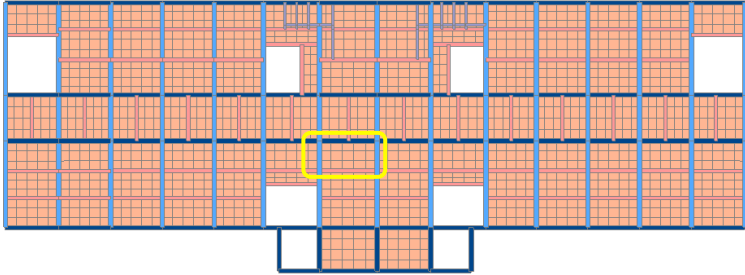
7.1.2.7 Rekapitulasi Perhitungan Pelat

Tabel 7. 2 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai Dua Arah PI

Arah X			Arah Y		
Tumpuan	Lapangan	Susut	Tumpuan	Lapangan	Susut
D12-200	D12-200	$\emptyset 10-250$	D12-200	D12-200	$\emptyset 10-250$

7.1.3 Pelat 1 Arah

Untuk pelat satu arah, perhitungan gaya dalam mengacu SNI 2847:2013 pasal 8.3.3. Perhitungan pelat yang ditinjau adalah pada plat lantai dengan ukuran 2150 x 4600 mm di lantai 1. Selbihnya akan di rekapitulasi.



Gambar 7. 2 Denah Pelat Satu Arah yang ditinjau

7.1.3.1 Data Pembebanan

- Beban Mati (DL)
 - Berat sendiri pelat (2400 0x0,12) = 288 kg/m²
 - Berat mati tambahan (SD) :
 - Keramik = 16,5 kg/m²
 - Spesi 2 cm = 42 kg/m²
 - Plafond = 9.2 kg/m²
 - Partisi Plafond = 16.8 kg/m²
 - Ducting Plumbing = 25 kg/m²
 - Instalasi listrik = 40 kg/m² +
 - Beban Mati Total (qD) = 437,5 kg/m²

- Beban Hidup (qL)
 - Beban hidup ruang arsip = 479 kg/m²

- Kombinasi Pembebanan
 - Qu = 1.2qD + 1.6qL
 - = 1.2 (437,5 kg/m²) + 1.6 (479 kg/m²)
 - = 1291,4 kg/m²

7.1.3.2 Data Perencanaan

- Tipe Pelat = P7
- L_x = 2,5 m

- L_y = 5 m
- B_{B1} = 40 cm
- B_{B2} = 40 cm
- B_{B3} = 30 cm
- L_n = 4,6 m
- S_n = 2,15 m
- $f_{c'}$ = 30 Mpa
- f_y = 320 Mpa
- β_1 = 0,84 (SNI 2847, pasal 10.2.7.3)
- b = 1000 mm = 1 m
- h = 120 mm = 0,12 m
- ρ_{susut} = 0,002 (SNI 2847, Pasal 7.12.2.1)
- $\phi_{tul. lentur}$ = 12 mm = 0,012m
- $\phi_{tul. susut}$ = 10 mm = 0,010 m
- $decking$ = 20 mm = 0,02 m
- d_x = 94 mm = 0,094 m
- d_y = 82 mm = 0,082 m

7.1.3.3 Cek Jenis Pelat

Jenis pelat dicek untuk mengetahui pelat yang ditinjau tergolong pelat satu arah atau dua arah melalui syarat berikut.

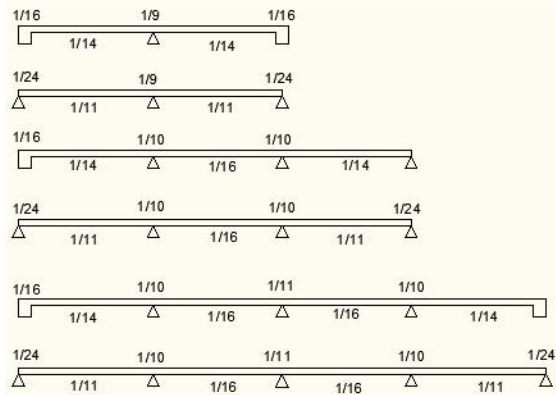
$$\frac{L_n}{S_n} > 2$$

$$\frac{4,6 \text{ m}}{2,15 \text{ m}} > 2$$

$$2,14 > 2 \quad \text{(Pelat 1 Arah)}$$

Sehingga termasuk dalam pelat 1 arah
(SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3)

7.1.3.4 Momen-Momen Pada Pelat



Gambar 7. 3 Koefisien Momen Pelat Satu Arah

$$\begin{aligned}
 M_{Lapangan} &= \frac{1}{16} \times q \times lx^2 \\
 &= \frac{1}{16} \times 1291,4 \frac{kg}{m^2} \times (2,15m)^2 \\
 &= 373,09 \text{ } kgm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Tumpuan \text{ kiri}} &= \frac{1}{10} \times q \times lx^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 1291,4 \frac{kg}{m^2} \times (2,15m)^2 \\
 &= 596,95 \text{ } kgm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Tumpuan \text{ kanan}} &= \frac{1}{10} \times q \times lx^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 1291,4 \frac{kg}{m^2} \times (2,15m)^2 \\
 &= 596,95 \text{ } kgm
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2012 ps. 8.3.3)

7.1.3.5 Penulangan Pelat

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f_c'} = \frac{320 \text{ } MPa}{0,85 \times 30 \text{ } MPa} = 12,5$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{320} = 0,004$$

$$\rho_{max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$= \frac{0.75 \times 0.85 \times 0.84 \times 30 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 320 \text{ MPa}} \right)$$

$$= 0,03$$

a. Tumpuan

$$M_u = 596,95 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{596,95 \text{ kgm}}{0,9}$$

$$= 6632771,89 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{6632771,89 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (94 \text{ mm})^2} = 0,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$= \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 12,5 \times \left(0,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0024$$

Cek persyaratan:

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

$$0,0035 > 0,0024 < 0,033 \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = 0,0035$

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

$$As \text{ perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm}$$

$$As \text{ perlu} = 337,44 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

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

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

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

Dipakai tulangan D12, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{337,44 \text{ mm}^2} \\
 &= 335,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 337,44 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan D12. Sehingga tulangan pakai = D12 – 200 dengan $A_{s \text{ pakai}} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ pakai}}$$

$$337,44 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b. Lapangan

$$M_u = 373,09 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{373,09 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 4145484 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{4145484 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (94 \text{ mm})^2} = 0,47 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 12,5 \times \left(0,47 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)}{320 \frac{N}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\
 &= 00015
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

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

$$0,0035 > 0,0015 < 0,033 \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = 0,0035$

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

$$A_s \text{ perlu} = 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 139,35 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

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

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

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

Dipakai tulangan D12, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{337,44 \text{ mm}^2}$$

$$= 335,17 \text{ mm}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Dengan $A_s \text{ perlu} = 139,35 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan D12.

Sehingga tulangan pakai = D12 – 200 dengan $A_s \text{ pakai} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

$$139,35 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

7.1.3.6 Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 240 dipakai $\rho_{susut} = 0,002$

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

$$= 0,002 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$$

$$= 240$$

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

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

(SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)

Dipakai tulangan Ø10mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ susut}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \times 1000 \text{ mm})}{240 \text{ mm}^2} \\ &= 327,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 327,25 \text{ mm} < S_{max} = 450 \text{ mm} \rightarrow S_{pakai} = 250 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø10 – 250 mm

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu} = 314,16 \text{ mm}^2 > 240 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

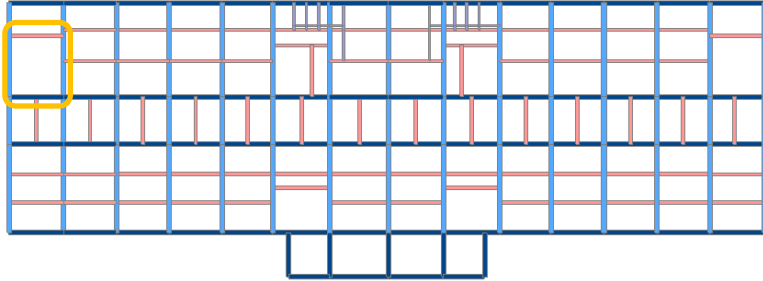
7.1.3.7 Rekapitulasi Perhitungan Pelat

Tabel 7. 3 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai Satu Arah P7

Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan	Tulangan Susut
D12-200	D12-200	Ø10-250

7.2 Pelat Tangga

Pada struktur tangga, tangga dimodelkan bersama struktur utama kemudian diambil output gaya dalam yang bekerja untuk dipakai dalam perhitungan penulangan. Tangga yang ditinjau dalam perhitungan ini adalah tangga tipe 1 selebihnya hasil penulangan disajikan dalam tabel rekapitulasi.



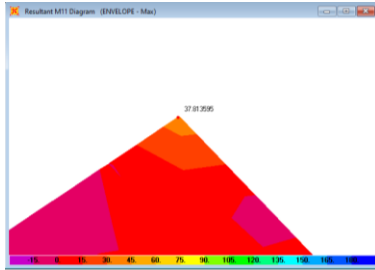
Gambar 7. 4 Lokasi Tangga Tipe 1

7.2.1 Data Perencanaan

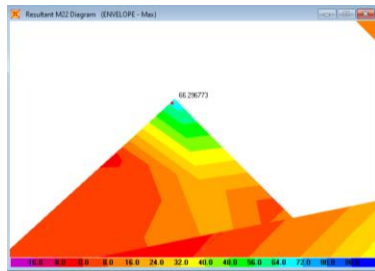
- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja tulangan ulir (f_y) = 320 MPa
- Mutu baja tulangan polos (f_y) = 240 MPa
- Diameter tulangan = $\varnothing 19$ mm
- Tebal selimut = 20 mm
- Tebal pelat = 150 mm
- β_1 = 0,84
(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi (ϕ) = 0,9
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.7)

7.2.2 Analisis Struktur Gaya Dalam

Pada perhitungan gaya dalam pelat tangga, diambil nilai momen yang terbesar. Diambil momen 2-2 untuk arah X dan momen 1-1 untuk arah Y sebagai berikut:



Gambar 7. 5 Momen 1-1 Pelat Tangga Tipe 1



Gambar 7. 6 Momen 2-2 Pelat Tangga Tipe 1

Tabel 7. 4 Momen Terbesar Pelat Tangga

Momen 1-1 (kN.m)	Momen 2-2 (kN.m)
37,81	66,3

7.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

➤ Tulangan arah Melintang

$$M_u = 66300000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{66300000}{0,9} = 73666666,67 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{320 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 12,5$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{73666666,67 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 102^2} = 7,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0,0044$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.75 \times 0.85 \times 0.84 \times 30 \text{ MPa}}{320 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 320 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,033$$

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

$$\rho = \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 7,15}{320}} \right) = 0,027$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,027$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,018 \times 1000 \times 102 = 2728 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D19-100} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 2836,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$2836,43 \text{ mm}^2 > 2728 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{(OK)}$$

➤ Tulangan Arah Memanjang

$$M_u = 37810000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{37810000}{0,9} = 42011111,11 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{320 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 12,5$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{42011111,11 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 121^2} = 2,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0,0044$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.75 \times 0.85 \times 0.84 \times 30 \text{ MPa}}{320 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 320 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,033$$

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

$$\rho = \frac{1}{12,5} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 2,89}{320}} \right) = 0,0096$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0096$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0096 \times 1000 \times 121 = 1160 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D19-200} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 1418,21 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 > 1160 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

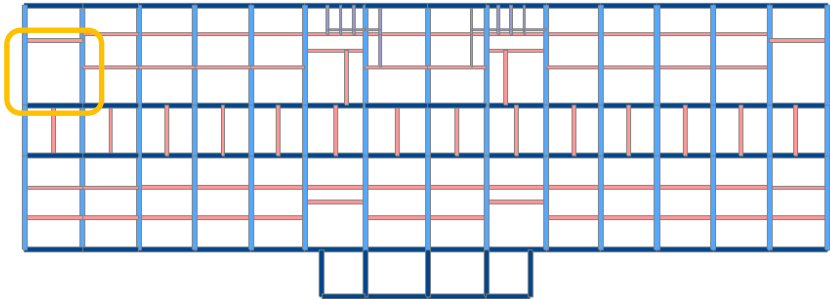
7.2.4 Rekapitulasi Perhitungan Pelat Tangga

Tabel 7. 5 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga 1

Tulangan Arah Melintang	Tulangan Arah Memanjang
D19-100	D19-200

7.3 Pelat Bordes

Pada struktur tangga, tangga dimodelkan bersama struktur utama kemudian diambil output gaya dalam yang bekerja untuk dipakai dalam perhitungan penulangan. Tangga yang ditinjau dalam perhitungan ini adalah Tangga tipe 1 selebihnya hasil penulangan disajikan dalam tabel rekapitulasi.



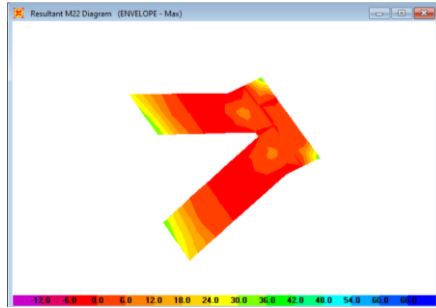
Gambar 7. 7 Lokasi Tangga Tipe 1

7.3.1 Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja tulangan ulir (f_y) = 320 MPa
- Mutu baja tulangan polos (f_y) = 240 MPa
- Diameter tulangan = 19 mm
- Tebal selimut = 20 mm
- Tebal pelat = 170 mm
- β_1 = 0,84
(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi (ϕ) = 0,9
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.7)

7.3.2 Analisis Struktur Gaya Dalam

Pada perhitungan gaya dalam pelat tangga, diambil nilai momen yang terbesar. Diambil momen 1-1 untuk arah X dan momen 2-2 untuk arah Y sebagai berikut:



Gambar 7. 8 Diagram Momen Tangga Tipe 1

Tabel 7. 6 Momen Terbesar Pelat Tangga

Momen 1-1 (kN.m)	Momen 2-2 (kN.m)
39,64	47,22

7.3.3 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

- Tulangan arah Melintang

$$M_u = 47220000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{47220000}{0,9} = 52466667 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,686$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{52466667 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 126^2} = 3,305 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

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

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 3,305}{400}} \right) = 0,0089$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0089$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0089 \times 1000 \times 126 = 1119 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D16-150} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 1340,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$1340,95 \text{ mm}^2 > 1119 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{(OK)}$$

➤ Tulangan Arah Memanjang

$$M_u = 25450000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{25450000}{0,9} = 28277778 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,686$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{28277778 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,9}{400}} \right) = 0,0049$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0049$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0125 \times 1000 \times 106 = 603 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D16-250} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 804,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$804,57 \text{ mm}^2 > 603 \text{ mm}^2 \quad (\mathbf{OK})$$

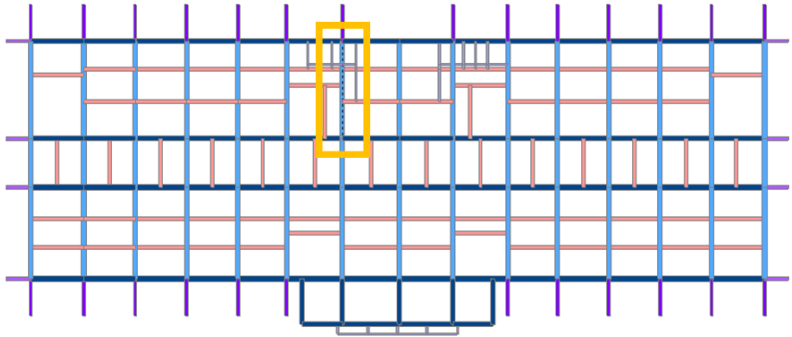
7.3.4 Rekapitulasi Perhitungan Pelat Tangga

Tabel 7. 7 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga 1

Tulangan Arah Melintang	Tulangan Arah Memanjang
D16-150	D16-250

7.4 Struktur Balok

7.4.1 Balok Induk (B1)



Gambar 7. 9 Denah Pembalokan B1 yang Ditinjau

Perhitungan kebutuhan tulangan balok dapat diketahui berdasarkan momen balok terbesar dari hasil analisis menggunakan program bantu SAP 2000. Berikut merupakan tahapan perhitungan penulangan balok menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) pada balok tipe B1. Perhitungan balok selanjutnya, akan direkapitulasi dalam tabel.

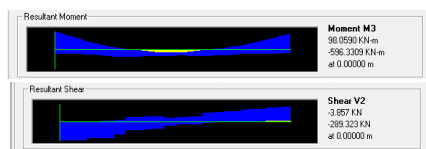
7.4.1.1 Data Perencanaan

- Tipe balok : B1
- Bentang balok (L) : 8000 mm
- Dimensi balok (B_{balok}) : 400 mm
- Dimensi balok (H_{balok}) : 800 mm
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) : 400 MPa
- Diameter tulangan lentur (D) : 22 mm

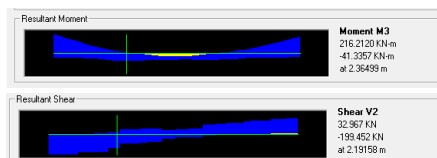
- Diameter tulangan geser (\emptyset) : 13 mm
- Diameter tulangan puntir (\emptyset) : 13 mm
- Spasi antar tulangan sejajar : 25 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))
- Faktor β_1 : 0,84
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)
- Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

7.4.1.2 Analisis Struktur Gaya Dalam

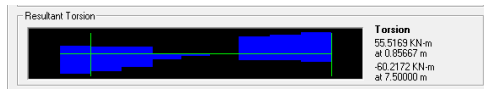
Berdasarkan hasil perhitungan SAP 2000, diketahui momen terbesar balok tipe B1 terjadi pada frame 3860. Berikut gaya dalam yang terjadi pada struktur balok hasil analisis struktur pada permodelan dengan kombinasi 1.2D + DY + 0,3DX + L. Penampang ini terletak di lantai 2 gedung.



Gambar 7. 10 Output Momen dan Gaya Geser Area Tumpuan B1



Gambar 7. 11 Output Gaya Momen & Geser Area Lapangan B1



Gambar 7. 12 Output Gaya Torsi Maksimum

Tabel 7. 8 Rekap Output Gaya Dalam

Gaya Dalam	Gaya (kN.mm)	
	Tumpuan	Lapangan
Momen	569,33	216.21
Geser	289,32	199,45
Torsi	60,22	

7.4.1.3 Perhitungan Tulangan Torsi

- a. Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1.

$$\sqrt{\left(\frac{V_U}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_U \times P_h}{1.7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

Torsi maksimum pada elemen B1:

$$T_U = 60,22 \text{ kN.m} = 60220000 \text{ N.mm}$$

$$b_h = b - 2 \cdot \text{decking} - D. \text{ sengkang}$$

$$b_h = 400 - 2 \cdot 40 - 13 = 307 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot \text{decking} - D. \text{ sengkang}$$

$$h_h = 800 - 2 \cdot 40 - 13 = 707 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (b \text{ balok} - 2d - 2\phi) + 2 \times (h \text{ balok} - 2d - 2\phi) \\ &= 2 \times (400 - 80 - 26) + 2 \times (800 - 80 - 26) \\ &= 1976 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ balok} - 2d - 2\phi) \times (h \text{ balok} - 2d - a) \\ &= (400 - 80 - 26) \times (800 - 80 - 26) \end{aligned}$$

$$= 204036 \text{ mm}^2$$

- b. Periksa persyaratan pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1, yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika:

$$T_U \leq T_{U_{\min}}$$

$$T_U \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right)$$

Dimana:

A_{CP} = Luas penampang keseluruhan

P_{CP} = Keliling penampang keseluruhan

λ = 1 (untuk beton normal)

ϕ = 0.75 (Faktor reduksi beban torsi)

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir :

$$A_{CP} = b \times h = 400 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} = 320.000 \text{ mm}^2$$

$$P_{CP} = 2 \times (b + h) = 2 \cdot (400\text{mm} + 800\text{mm}) = 2400 \text{ mm}$$

Maka untuk nilai $T_{U_{\min}}$:

$$T_{U_{\min}} = 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{320.000^2}{2400} \right)$$

$$T_{U_{\min}} = 14547511,13 \text{ N.mm}$$

$$T_U = 60217000 \text{ N.mm}$$

60.217.000 N.mm > 6.039.277 N.mm, maka diperlukan tulangan torsi.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2, nilai torsi maksimum boleh direduksi menjadi nilai sebagai berikut:

$$T_{U_{\max}} = 0.75 \times 0.330 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right)$$

$$T_{U_{\max}} = 0.75 \times 0.330 \times 1 \times \sqrt{35} \times \left(\frac{320000^2}{2400} \right)$$

$$T_{U_{\max}} = 57839502,07 \text{ N.mm}$$

Karena nilai $T_u > T_{U_{\max}}$ maka nilai $T_u = 57839502,07 \text{ N.mm}$

- c. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi transversal Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6, dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai A_o dapat diambil sama dengan $0,85A_{oh}$ dan nilai $\theta = 45^\circ$

$$A_o = 0,85A_{oh} = 173430,6 \text{ mm}^2$$

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

$$\frac{A_T}{s} = \frac{T_U}{\phi \times 2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot\theta}$$

$$\frac{A_T}{s} = \frac{57839502,07}{\phi \times 2 \times 173431 \times 400 \times 1}$$

$$\frac{A_T}{s} = 0,555837 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- d. Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi: Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7, tulangan torsi untuk tulangan lentur dihitung sebagai berikut:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 45^\circ$$

$$A_l = 0,555837 \cdot 1976 \left(\frac{400}{400} \right) \cdot 1 = 1098,334 \text{ mm}^2$$

Cek nilai A_l min dengan persamaan :

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times P_{oh} \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai $A_{l_{\min}} =$

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{Mpa} \times 32000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 0,6 \text{ mm} \right) \times 1976 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{l_{\min}} = 742,01 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan A_l dengan 2 kondisi yakni

$A\ell_{\text{perlu}} \leq A\ell_{\text{min}}$ Maka menggunakan $A\ell_{\text{min}}$

$A\ell_{\text{perlu}} \geq A\ell_{\text{min}}$ Maka menggunakan $A\ell_{\text{perlu}}$

Maka :

$$A\ell_{\text{perlu}} \leq A\ell_{\text{min}} \\ 1098,33 \text{ mm}^2 \leq 742,01 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan nilai $A\ell$ sebesar $1098,33 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok, sehingga :

$$\frac{A\ell}{4} = \frac{1098,334 \text{ mm}^2}{4} = 274,584 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $274,584 \text{ mm}^2$. Sedangkan pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang tulangan puntir dengan luasan sebesar :

$$A_{\text{perlu}} = 2 \times \frac{A\ell}{4} = 549,167 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan torsi perlu :

$n = 6$ dengan diameter 13mm

Kontrol :

$$A\ell_{\text{pasang}} \geq A\ell_{\text{perlu}} \\ A\ell_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{Luasan D puntir} \\ = 6 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times (13\text{mm})^2\right) \\ = 796,7143 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$A\ell_{\text{pasang}} \geq A\ell_{\text{perlu}}$$

$$796,7143 \text{ mm}^2 > 549,1671 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Sehingga tulangan puntir di tumpuan kiri, kanan, dan lapangan dipasang **6 D13**.

7.4.1.4 Perhitungan Tulangan Longitudinal

➤ Area Tumpuan

- Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$X_b = \frac{600}{600 + 400} \times 737,5$$

$$X_b = 442,5 \text{ mm}$$

- Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 441,6 \\ &= 331,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ X_{\min} &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

- Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 400 \text{ mm} \times 0,84 \times 200 \text{ mm}$$

$$C_c' = 1704857 \text{ N}$$

- Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Tunggal

$$A_s = \frac{C_c'}{f_y}$$

$$A_s = \frac{1704857 \text{ N}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_s = 4262,1 \text{ mm}^2$$

- Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 4262,1 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(736 \text{ mm} - \frac{0,84 \times 200}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1114854796 \text{ Nmm}$$

- Momen Lentur Nominal

$$M_{nc} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{596330000}{0,9} = 662588889 \text{ Nmm}$$

Cek Penulangan Rangkap

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap dengan syarat sebagai berikut :

- $M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan
- $M_{ns} = 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

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

$$M_{ns} = 662588889 - 1114854796$$

$$M_{ns} = -452265907 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga **tidak perlu** dihitung tulangan lentur tekan, akan tetapi tetap diperhitungkan.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,7$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{662588889 \text{ Nmm}}{0,9 \times 400 \times 738^2} = 3,046 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.75 \times 0.85 \times 0.84 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600+400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 3,046}{400}} \right) = 0,0081$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0081$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0081 \times 400 \times 738 = 2399 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan lentur ditambah luasan puntir :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = A_{S_{\text{perlu}}} + \frac{A\ell}{4}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 2399 \text{ mm}^2 + 274,58 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 2673,67 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tarik **10 D19**.

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 10$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 2836,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tarik :

$$A_{S_{\text{pasang}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$2836,43 \text{ mm}^2 > 2674 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang tulangan tekan :

$$As'_{\text{perlu}} = 30\% As$$

$$As'_{\text{perlu}} = 30\% \times 2836,4 \text{ mm}^2$$

$$As'_{\text{perlu}} = 850,93 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tekan **5 D19**.

$$As_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$As_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 5$$

$$As_{\text{pasang}} = 1418,21 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tekan :

$$As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 > 851 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Spasi Tulangan

Tulangan tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (10 \times 19)}{10 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 11,56 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{sejajar}}$$

$$16,86 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (DUA LAPIS)}$$

Tulangan tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 49,75 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{sejajar}}$$

$$49,75 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (SATU LAPIS)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

Karena tulangan tarik dipasang 2 lapis maka d mengalami perubahan nilai sehingga harus dicek terlebih dahulu :

$$d_{\text{aktual}} = h - \text{dec} - \emptyset_{\text{geser}} - \emptyset_{\text{lentur}} - 0.5s$$

$$d_{\text{aktual}} = 800 - 40 - 13 - 19 - (0.5 \times 40)$$

$$d_{\text{aktual}} = 708 \text{ mm}$$

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} \text{ tulangan tarik } \mathbf{10 D19} = 2835,29 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{2835,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 400 \text{ mm}}$$

$$a = 111,19 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2835,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \left(708 \text{ mm} - \frac{111,19 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_n = 739903544 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 665913189,8 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$665913189,8 \text{ Nmm} > 662588889 \text{ Nmm} \quad \text{(OK)}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan tulangan lentur area tumpuan balok tipe B1 sebagai berikut :

Tulangan lentur tarik **2 lapis** = **10 D19**

Tulangan lentur tekan **1 lapis** = **5 D13**

➤ **Area Lapangan**

- Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$X_b = \frac{600}{600 + 400} \times 737,5$$

$$X_b = 442,5 \text{ mm}$$

- Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 441,6 \\ &= 331,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ X_{\min} &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

- Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ C_c' &= 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 400 \text{ mm} \times 0,84 \times 200 \text{ mm} \\ C_c' &= 1704857 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Tunggal

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{C_c'}{f_y} \\ A_s &= \frac{1704857 \text{ N}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\ A_s &= 4262,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 4262,1 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(736 \text{ mm} - \frac{0,84 \times 200}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1114854796 \text{ Nmm}$$

➤ Momen Lentur Nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{216212000}{0,9} = 240235556 \text{ Nmm}$$

Cek Penulangan Rangkap

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap dengan syarat sebagai berikut :

- $M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan
- $M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

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

$$M_{ns} = 240235556 - 1114854796$$

$$M_{ns} = -874619240 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga **tidak perlu** dihitung tulangan lentur tekan, akan tetapi tetap diperhitungkan.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,7$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{240235556 \text{ Nmm}}{0,9 \times 400 \times 738^2} = 1,104 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,104}{400}} \right) = 0,0028$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = 0,0034$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0034 \times 400 \times 738 = 1009,9 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan lentur ditambah luasan puntir :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = A_{S_{\text{perlu}}} + \frac{A_{\ell}}{4}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 1009,9 \text{ mm}^2 + 274,58 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 1284 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tarik **5 D19**.

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 5$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 1418,21 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tarik :

$$A_{S_{\text{pasang}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$1418,2 \text{ mm}^2 > 1284 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang tulangan tekan :

$$A_{S'_{\text{perlu}}} = 30\% A_s$$

$$A_{S'_{\text{perlu}}} = 30\% \times 1418,2 \text{ mm}^2$$

$$As'_{\text{perlu}} = 452,46 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tekan **2 D19**.

$$As_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n$$

$$As_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 2$$

$$As_{\text{pasang}} = 567,29 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tekan :

$$As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$567,29 \text{ mm}^2 > 425 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Spasi Tulangan

Tulangan tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 \text{ mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 13\text{mm}) - (5 \times 19 \text{ mm})}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 49,75 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{sejajar}}$$

$$68,67 \text{ mm} > 25 \text{ mm (SATU LAPIS)}$$

Tulangan tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 \text{ mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 13\text{mm}) - (2 \times 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 256 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{sejajar}}$$

$$256 \text{ mm} > 25 \text{ mm (SATU LAPIS)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$d_{\text{aktual}} = h - d_{\text{ec}} - \phi_{\text{geser}} - 0.5\phi_{\text{lentur}}$$

$$d_{\text{aktual}} = 800 - 40 - 13 - (0.5 \times 22)$$

$$d_{\text{aktual}} = 736 \text{ mm}$$

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} \text{ tulangan tarik } \mathbf{5 D19} = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{1417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 400 \text{ mm}}$$

$$a = 55,59 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1417,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \left(738 \text{ mm} - \frac{55,59 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_n = 402442427 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 362198184,6 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$362198184,6 \text{ Nmm} > 216212000 \text{ Nmm} \quad (\mathbf{OK})$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan tulangan lentur area tumpuan balok tipe B1 sebagai berikut :

Tulangan lentur tarik **1 lapis** = **5 D19**

Tulangan lentur tekan **1 lapis** = **2 D19**

7.4.1.5 Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser tumpuan balok menggunakan gaya geser terfaktor terbesar yang didapat dari SAP 2000 dari kombinasi envelope.

- Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f'c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa
(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f'c} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{29,05} \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,39 \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa} \quad \text{(memenuhi syarat SNI)}$$

➤ Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$\lambda = 1$, untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 400 \text{ mm} \times 737,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 274683 \text{ N}$$

➤ Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 400 \text{ mm} \times 737,5 \text{ mm}$$

$$V_{s_{\min}} = 98333,3 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times 400 \text{ mm} \times 737,5 \text{ mm}$$

$$V_{s_{\max}} = 538594 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 2 \times 538594 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 1077187,7 \text{ N}$$

➤ Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 yaitu :

Wilayah 1 dan 3 yaitu daerah tumpuan sejauh $\frac{1}{4}ln$ pada sisi kanan dan kiri balok.

Wilayah 2 yaitu daerah lapangan dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok sejarak $\frac{1}{2}ln$.

➤ **Area Tumpuan**

$$V_u = 289320 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$289329 \text{ N} > 103006,1 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$103006,1 \text{ N} < 288320 \text{ N} > 206012,15 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{min}})$$

$$103006,1 \text{ N} < 289320 \text{ N} > 279762,1 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

4. Kondisi Geser 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\phi(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{max}})$$

$$279762 \text{ N} \leq 289320 \text{ N} \leq 609957,53 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4.

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = 289320 - (0,75 \times 274683)$$

$$V_s = 83307,85 \text{ N}$$

Dikarenakan nilai $V_s < V_{s_{min}}$, maka dipakai nilai $V_{s_{min}} = 98333,33 \text{ N}$.

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

$$S_{maks} = \frac{d}{2} = \frac{737,5}{2} = 368,75 \text{ mm}$$

Direncanakan $S_{rencana} = 100 \text{ mm} < S_{maks}$

Luas penampang geser :

$$A_v = \frac{b \times s}{f_{yt} \times 3} = \frac{400 \times 100}{400 \times 3} = 33,33 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,56$$

$$A_t = 0,56 \times 100 = 56 \text{ mm}^2$$

Maka A_{Vperlu}

$$A_{Vperlu} = A_v + (2 \times A_t)$$

$$A_{Vperlu} = 33,33 + (2 \times 55,58)$$

$$A_{Vperlu} = 144,5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 dengan 2 kaki.

Maka luas penampang tulangan geser rencana:

$$A_{Vpakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times nkaki$$

$$A_{Vpakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2$$

$$A_{Vpakai} = 265,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$A_{Vpakai} \geq A_{Vperlu}$$

$$265,57 \text{ mm}^2 > 144,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai **D13 - 100 mm**

➤ Area Lapangan

$$V_u = 199452 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$199452 \text{ N} > 103006,1 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$103006,1 \text{ N} < 199452 \text{ N} < 206012,15 \text{ N}$$

(Memenuhi)

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\min}})$$

$$103006,1 \text{ N} < 199452 \text{ N} < 279762,1 \text{ N}$$

(Memenuhi)

4. Kondisi Geser 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\phi(V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\max}})$$

$$279762 \text{ N} < 199452 \text{ N} > 279762,15 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 2 atau 3.

$$V_s = V_{s_{\min}} = 98333,33 \text{ N}$$

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

$$S_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{737,5}{2} = 368,75 \text{ mm}$$

$$\text{Direncanakan } S_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm} < S_{\text{maks}}$$

Luas penampang geser :

$$A_v = \frac{b \times s}{f_{yt} \times 3} = \frac{400 \times 150}{400 \times 3} = 50 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,56$$

$$A_t = 0,56 \times 150 = 83,38 \text{ mm}^2$$

Maka $A_{V\text{perlu}}$:

$$A_{V\text{perlu}} = A_v + (2 \times A_t)$$

$$A_{V\text{perlu}} = 50 + (2 \times 83,38)$$

$$A_{V\text{perlu}} = 216,75 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 dengan 2 kaki.

Maka luas penampang tulangan geser rencana:

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_{\text{kaki}}$$

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2$$

$$A_{V\text{pakai}} = 265,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{V\text{pakai}} \geq A_{V\text{perlu}}$$

$$265,57 \text{ mm}^2 > 217 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai **D13 - 150 mm**

7.4.1.6 Panjang Penyaluran Tulangan

1. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

a. Tulangan diteruskan sejauh d , $12d_b$, atau $\ell_n/16$ (SNI 2847:2013 pasal 12.10.3 dan 12.10.4; ACI 318M-14 pasal 25.4.3 dan 25.4.4):

- $d = 737,5 \text{ mm}$
- $12d_b = 12 \times 19 = 228 \text{ mm}$
- $\ell_n/16 = 7300/16 = 456,25 \text{ mm}$

b. Mencari nilai ℓ_d

Diketahui nilai:

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\Psi_t = 1.0 \text{ Faktor lokasi penulangan}$$

$$\Psi_e = 1.0 \text{ Faktor pelapis}$$

$$\Psi_s = 1.0$$

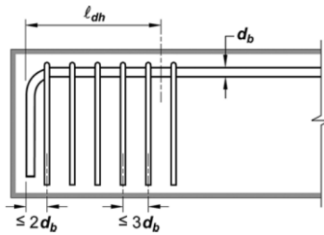
$\lambda = 1.0$ Faktor digunakan agregat normal

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b$$

$$\ell_d = \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) \times 19 = 816,21 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar yakni 816,21 mm \approx 850 mm.

2. Panjang Penyaluran Tulangan Berkait



Gambar 7. 13 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar

$$\ell_{dh} = \left(\frac{0.24 \cdot \Psi_c \cdot \Psi_e \cdot \Psi_r \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \cdot d_b$$

$$\ell_{dh} = \left(\frac{0.24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{30}} \right) \cdot 19 = 330,02 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan :

$$\ell_{dh \text{ reduksi}} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times \ell_{dh}$$

$$\ell_{dh \text{ reduksi}} = \frac{425 \text{ mm}^2}{567,29 \text{ mm}^2} \times 330,02 \text{ mm}$$

$$\ell_{dh \text{ reduksi}} = 249,8 \text{ mm} \sim 250 \text{ mm}$$

$$8d_b = 8 \times 19 \text{ mm}$$

$$8d_b = 152 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \ell_{dh} &> 150 \text{ mm} \\ 250 \text{ mm} &> 150 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dh} &> 8d_b \\ 250 \text{ mm} &> 152 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

3. Panjang Penyaluran Kondisi Tekan

$$\begin{aligned} \ell_{dc} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b \\ \ell_{dc} &= \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Nmm}}} \times 19 \text{ mm} \\ \ell_{dc} &= 333,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dc} &= 0,043 \times f_y \times d_b \\ \ell_{dc} &= 0,043 \times 400 \text{ Mpa} \times 19 \text{ mm} \\ \ell_{dc} &= 326,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil nilai terbesar, $\ell_{dc} = 333,02 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan :

$$\begin{aligned} \ell_{dc \text{ reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times \ell_{dc} \\ \ell_{dc \text{ reduksi}} &= \frac{425 \text{ mm}^2}{567,29 \text{ mm}^2} \times 333,02 \text{ mm} \\ \ell_{dc \text{ reduksi}} &= 249,8 \text{ mm} \sim 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \ell_{dc} &> 200 \text{ mm} \\ 250 \text{ mm} &> 200 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

4. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik untuk Torsi

Mencari nilai ℓ_d

Diketahui nilai:

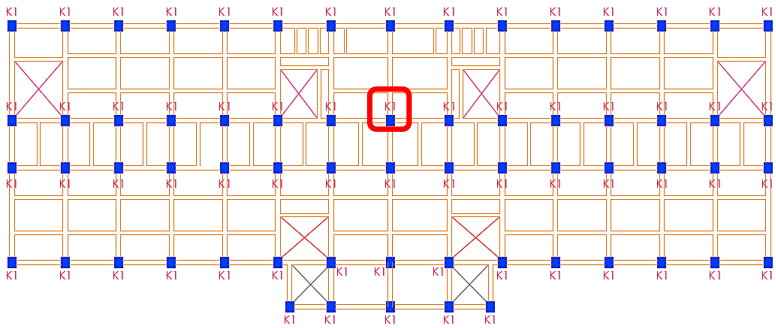
$$\begin{aligned}
d_b &= 13 \text{ mm} \\
\Psi_t &= 1.0 \text{ Faktor lokasi penulangan} \\
\Psi_e &= 1.0 \text{ Faktor pelapis} \\
\Psi_s &= 1.0 \\
\lambda &= 1.0 \text{ Faktor digunakan agregat normal} \\
\ell_d &= \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b \\
\ell_d &= \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) \times 13 = 558,5 \text{ mm} \\
&\text{diambil } \ell_d = 600 \text{ mm.}
\end{aligned}$$

7.5 Struktur Kolom

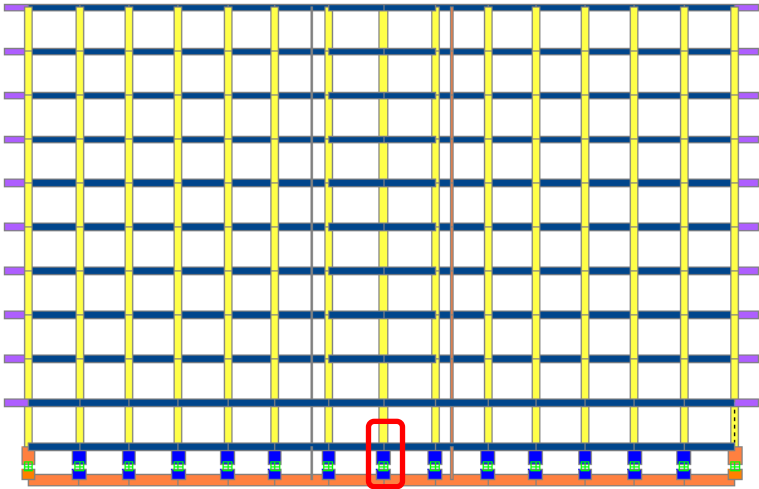
Perhitungan kebutuhan tulangan kolom dapat diketahui berdasarkan gaya aksial kolom terbesar dari hasil analisis menggunakan program bantu SAP 2000. Berikut merupakan tahapan perhitungan penulangan kolom menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) pada balok tipe K1. Perhitungan balok selanjutnya, akan direkapitulasi dalam tabel.

7.5.1 Kolom K1

Berdasarkan hasil perhitungan SAP 2000, diketahui gaya aksial terbesar kolom tipe K1 terjadi pada frame 2847. Penampang ini terletak di lantai 1 gedung.



Gambar 7. 14 Posisi Kolom K1 yang Ditinjau



Gambar 7. 15 Portal D, Posisi Kolom K1

7.5.1.1 Data Perencanaan

- Tipe kolom = K1
- Tinggi kolom tinjau = 4000 mm
- Tinggi kolom atas = 4000 mm
- Tinggi kolom bawah = 3000 mm

- B kolom = 700 mm
- H kolom = 900 mm
- Mutu beton (f_c') kolom = 30 MPa
- Mutu beton (f_c') balok = 30 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) = 240 MPa
- Diameter tulangan lentur (D) = 25 mm
- Diameter tulangan geser (\emptyset) = 10 mm
- Spasi antar tulangan sejajar = 25 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)
- Tebal selimut beton (decking) = 40 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))
- Faktor β_1 = 0,84
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,65
(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 torsi (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

Tinggi efektif arah y :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} \\
 &= 700 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 25) \\
 &= 637,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} \\
 &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \times 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 700 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 25) - (\frac{1}{2} \times 900) \\
 &= 187,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi efektif arah x :

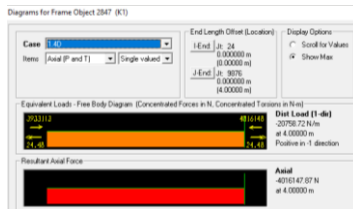
$$d = b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur}$$

$$\begin{aligned}
 &= 900 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 25) \\
 &= 837,5 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \text{Øsenggang} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} \\
 &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \times 25) \\
 &= 62,5 \text{ mm} \\
 d'' &= b - \text{decking} - \text{Øsenggang} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 900 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 25) - (\frac{1}{2} \times 700) \\
 &= 487,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

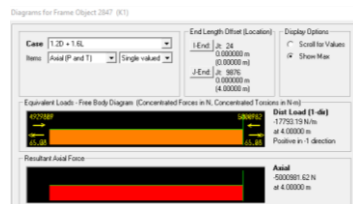
7.5.1.2 Analisis Struktur Gaya Dalam

Berdasarkan hasil perhitungan SAP 2000, diketahui gaya aksial terbesar kolom tipe K1 terjadi pada frame 2847. Berikut gaya dalam yang terjadi pada struktur balok hasil analisis struktur pada permodelan dengan kombinasi pengaruh gempa maupun tidak. Penampang ini terletak di lantai 1 gedung.

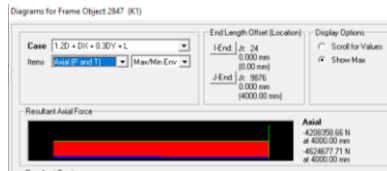
➤ Output Gaya Aksial



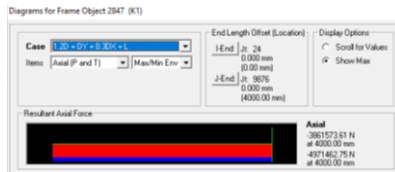
Gambar 7. 16 Output Aksial (1,4D)



Gambar 7. 17 Output Aksial (1,2D+1,6L)

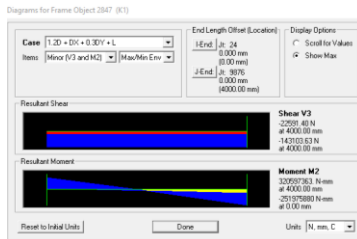


Gambar 7. 18 Output Aksial ($1,2D + DX + 0,3DY + L$)

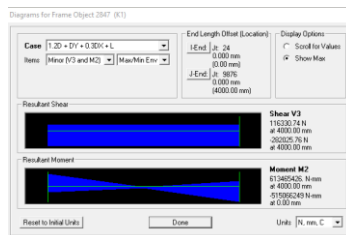


Gambar 7. 19 Output Aksial ($1,2D + DY + 0,3DX + L$)

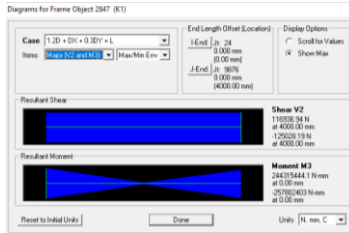
➤ **Output Gaya Momen**



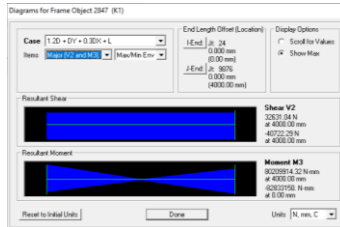
Gambar 7. 20 Output Momen M22 ($1,2D + DX + 0,3DY + L$)



Gambar 7. 21 Output Momen M22 ($1,2D + DY + 0,3DX + L$)



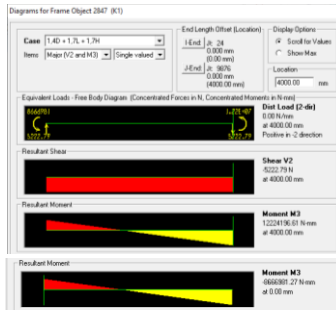
Gambar 7. 22 Output Momen M33 ($1,2D + DX + 0,3DY + L$)



Gambar 7. 23 Output Momen M33 ($1,2D + DY + 0,3DX + L$)



Gambar 7. 24 Output Momen M22 ($1,2D + 1,6L + 0,5R$)



Gambar 7. 25 Output Momen M33 (1,2D + 1,6L + 0,5R)

Tabel 7. 9 Output Gaya Dalam Kolom K1

Kombinasi	Gaya Aksial (N)	Momen (Nmm)	
		M1	M2
1,4D	4016147.87		
1,2D + 1,6L	5000981.62		
1.2D + DY + 0.3DX + L	4971462.75	82833150	613465426
1.2D + DX + 0.3DY + L	4624677.71	257802403	320597363
1,4D + 1,7L + 1,7H	5461516	8666981.27	12224197
		174597013	249968331

Sumbu X

Momen Portal tak Bergoyang (Non Sway)

Kombinasi = 1,4D + 1,7L + 1,7H

Nilai M_{1ns} = 174597013 Nmm

Nilai M_{2ns} = 249968331 Nmm

Momen Portal Bergoyang (Sway)

Kombinasi = 1,2D + DX + 0,3DY + L

Nilai M_{1s} = 257802403 Nmm

Nilai M_{2s} = 320597363 Nmm

Sumbu Y

Momen Portal Tak Bergoyang (Non Sway)

$$\text{Kombinasi} = 1,4D + 1,7L + 1,7H$$

$$\text{Nilai } M_{1ns} = 8666981 \text{ Nmm}$$

$$\text{Nilai } M_{2ns} = 12224197 \text{ Nmm}$$

Momen Portal Bergoyang (Sway)

$$\text{Kombinasi} = 1,2D + DY + 0,3DX + L$$

$$\text{Nilai } M_{1s} = 82833150 \text{ Nmm}$$

$$\text{Nilai } M_{2s} = 613465426 \text{ Nmm}$$

Keterangan :

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

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

M_{1s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam satuan Nmm.

M_{2s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam satuan Nmm.

7.5.1.3 Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi dari persamaan $A_g \cdot f_c / 10$, bila P_u lebih besar maka perhitungan menggunakan SRPMM.

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} < P_u$$

$$\frac{900 \times 700 \times 30}{10} < P_u$$

$$1890000 \text{ N} < 5461516 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

7.5.1.4 Peninjauan Terhadap Momen Sumbu X

➤ Rasio Beban (β_d)

$$\beta_d = \frac{P_u (1,4D)}{P_u (1,2D + 1,6L)}$$

$$\beta_d = \frac{4016147.87 \text{ N}}{5000981.62 \text{ N}} = 0,80$$

Keterangan :

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

➤ Menghitung Faktor (ψ)

Dalam menghitung faktor ψ pada suatu titik, maka harus diperhitungkan semua balok dan kolom yang bertemu pada satu titik tersebut.

$$\psi = \frac{\sum \frac{EI}{lc} \text{ kolom}}{\sum \frac{EI}{l} \text{ balok}}$$

EI Kolom K1 (70/90)

$$EI_k = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 700 \times 900^3$$

$$I_g = 2,9768 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$EI_k = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 2,9768 \times 10^{10}}{1 + 0,80}$$

$$Elk = 1,7 \times 10^{14} \text{Nmm}^2$$

EI Balok B1 (40/60)

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

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,35 \times \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3$$

$$Ig = 2520000000 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700\sqrt{f'c'} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Elk = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,80}$$

$$Elk = 1,439 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Tabel 7. 10 Rekap Hasil Perhitungan Ec, Ig, EI & EI/I

Penampang	Tipe	b/h	l (mm)	Ec Mpa	Ig mm ⁴	EI Nmm ²	EI/I N/mm ²
		(mm)					
Kolom	K. Atas	700	4000	25743	29767500000	169999557501486	42499889375
		900					
	K.Tinjau	700	4000	25743	29767500000	169999557501486	42499889375
		900					
	K.Bawah	1200	3000	25743	120960000000	690791852704449	230263950901
		1200					
Jepit Atas	B1	400	8000	25743	5973333333	34113177911331	4264147239
		800					
	B2	400	5000	25743	2520000000	14391496931343	2878299386
		600					
	B1	400	4000	25743	5973333333	34113177911331	8528294478
		800					
	B2	400	5000	25743	2520000000	14391496931343	2878299386
		600					
Jepit Bawah	B1	400	8000	25743	5973333333	34113177911331	4264147239
		800					
	B2	400	5000	25743	2520000000	14391496931343	2878299386
		600					
	B1	400	4000	25743	5973333333	34113177911331	8528294478
		800					
	B2	400	5000	25743	2520000000	14391496931343	2878299386
		600					

Kekakuan Kolom Atas (Ψ_a)

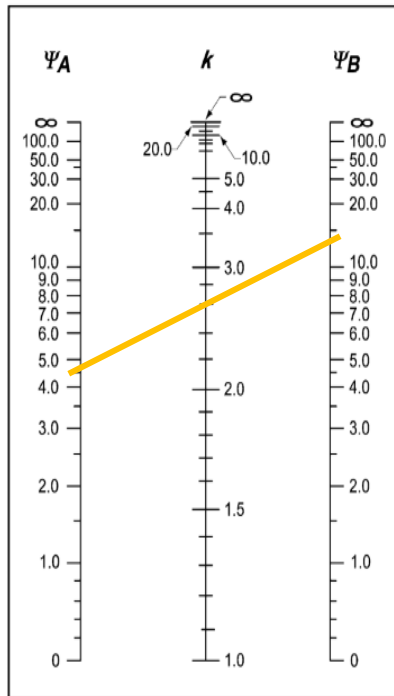
$$\Psi_a = \frac{\Sigma (EI/L)_{\text{kolom atas + kolom tinjau}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2}}$$

$\Psi_a = 4,58$

Kekakuan Kolom Bawah (Ψ_b)

$$\Psi_b = \frac{\Sigma (EI/L)_{\text{kolom bawah + kolom tinjau}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2}}$$

$\Psi_b = 14,71$



Gambar 7. 26 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom Arah X

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k), didapatkan nilai k = 2,6.

➤ **Jari-jari Inersia (r)**

$$r = 0,3h$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1.2)

$$r = 270 \text{ mm}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Kolom (λ)**

$$\lambda = \frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \text{ (pengaruh langsing diabaikan)}$$

$$\lambda = \frac{2,3 \times 3400}{270} \leq 22$$

$$28,96 > 22$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10 maka Kolom K1 termasuk kolom langsing.

➤ **Beban Tekuk Euler (P_c)**

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

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 1,7 \times 10^{14}}{(2,6 \times 3400)^2}$$

$$P_c = 21470541,92 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$\Sigma P_c = 65 \times 21470541,92 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 1395585225 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P$$

$$\Sigma P_u = 65 \times 5461516 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = 354998540 \text{ N}$$

➤ **Faktor Perbesaran Momen (δ_s)**

Faktor perbesaran momen dihitung dengan persamaan.

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q} \geq 1,0$$

Namun bila δ_s melebihi 1,5, maka δ_s harus dihitung dengan persamaan.

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

Tabel 7. 11 Output SAP Base Reactions

TABLE: Base Reactions		
OutputCase Text	GlobalFX N	GlobalFY N
DX	9185500.53	1788931.87

Tabel 7. 12 Output SAP Joint Displacement

TABLE: Joint Displacements			
Joint Text	OutputCase Text	U1 mm	U2 mm
24	DX	80.715	0.169
9876	DX	75.937	0.161

$$\Delta_o = \frac{(80,72 - 75,94) \times 2,5}{1}$$

$$\Delta_o = 11,93 \text{ mm}$$

$$V_{us} = 9185500,53 \text{ N}$$

$$l_c = 3400 \text{ mm}$$

$$\Sigma P_u = 354998540 \text{ N}$$

$$Q = \frac{\Sigma P_u \Delta_o}{V_{us} l_c}$$

$$Q = \frac{354998540 \text{ N} \times 11,93 \text{ mm}}{9185500,53 \text{ N} \times 3400 \text{ mm}}$$

$$Q = 0,136$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - 0,136} \geq 1,0$$

$$\delta_s = 1,157 \geq 1,0$$

Karena $\delta_s < 1,5$ maka dipakai $\delta_s = 1,157$

➤ **Momen Setelah Perbesaran (M_1 & M_2)**

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

$$M_1 = 7174597013 \text{ Nmm} + (1,157)257802403 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = 472844103 \text{ Nmm}$$

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

$$M_1 = 249968331 \text{ Nmm} + (1,157)320597363 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = 620861812 \text{ Nmm}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 620861812,4 Nmm

7.5.1.5 Peninjauan Terhadap Momen Sumbu Y

➤ **Rasio Beban (βd)**

$$\beta d = \frac{P_u (1,4D)}{P_u (1,2D + 1,6L)}$$

$$\beta d = \frac{4016147,87 \text{ N}}{5000981,62 \text{ N}} = 0,80$$

Keterangan :

βd = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

➤ **Menghitung Faktor (ψ)**

Dalam menghitung faktor ψ pada suatu titik, maka harus diperhitungkan semua balok dan kolom yang bertemu pada satu titik tersebut.

$$\psi = \frac{\frac{\sum EI}{l_c} \text{ kolom}}{\frac{\sum EI}{l} \text{ balok}}$$

EI Kolom K1 (70/90)

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

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} h b$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 900 \times 700^3$$

$$I_g = 1,801 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_{c'}} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$E_{lk} = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 18007500000}{1 + 0,80}$$

$$E_{lk} = 1,028 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

EI Balok B1 (40/80)

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

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,35 \times \frac{1}{12} \times 400 \times 800^3$$

$$I_g = 5,973 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_{c'}} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$E_{lk} = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 5973333333}{1 + 0,80}$$

$$E_{lk} = 3,41 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Tabel 7. 13 Rekap Hasil Perhitungan E_c , I_g , EI & EI/I

Penampang	Tipe	b/h	l	E_c	I_g	EI	EI/I
		(mm)	(mm)	Mpa	mm ⁴	Nmm ²	N/mm ²
Kolom	K. Atas	900	4000	25742.96	18007500000	1.02839E+14	25709809622
		700					
	K.Tinjau	900	4000	25742.96	18007500000	1.02839E+14	25709809622
		700					
	K.Bawah	1200	3000	25742.96	1.2096E+11	6.90792E+14	2.30264E+11
		1200					
Jepit Atas	B1	400	8000	25742.96	5973333333	3.41132E+13	4264147239
		800					
	B2	400	5000	25742.96	2520000000	1.43915E+13	2878299386
		600					
	B1	400	4000	25742.96	5973333333	3.41132E+13	8528294478
		800					
B2	400	5000	25742.96	2520000000	1.43915E+13	2878299386	
	600						
Jepit Bawah	B1	400	8000	25742.96	5973333333	3.41132E+13	4264147239
		800					
	B2	400	5000	25742.96	2520000000	1.43915E+13	2878299386
		600					
	B1	400	4000	25742.96	5973333333	3.41132E+13	8528294478
		800					
B2	400	5000	25742.96	2520000000	1.43915E+13	2878299386	
	600						

Kekakuan Kolom Atas (ψ_a)

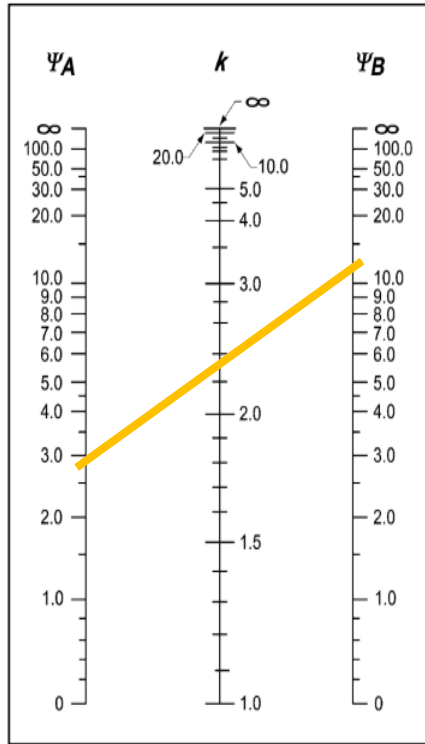
$$\psi_a = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom atas + kolom tinjau}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2}}$$

$\psi_a = 2,8$

Kekakuan Kolom Bawah (ψ_b)

$$\psi_b = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom bawah + kolom tinjau}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2}}$$

$\psi_b = 13,8$



Gambar 7. 27 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom Arah Y

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k) didapatkan nilai $k = 2,35$.

➤ **Jari-jari Inersia (r)**

$$r = 0,3h$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1.2)

$$r = 210 \text{ mm}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Kolom (λ)**

$$\lambda = \frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \text{ (pengaruh langsing diabaikan)}$$

$$\lambda = \frac{2,08 \times 3200}{210} \leq 22$$

$$31,695 > 22$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10 maka Kolom K1 termasuk kolom langsing.

➤ **Beban Tekuk Euler (Pc)**

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 1,028 \times 10^{14}}{(2,35 \times 3200)^2}$$

$$P_c = 1,8 \times 10^7 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$\Sigma P_c = 65 \times 1,8 \times 10^7 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 1,2 \times 10^9 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_u$$

$$\Sigma P_c = 65 \times 5461516 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 3,5 \times 10^8 \text{ N}$$

➤ **Faktor Perbesaran Momen (δs)**

Faktor perbesaran momen dihitung dengan persamaan.

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q} \geq 1,0$$

Namun bila δs melebihi 1,5, maka δs harus dihitung dengan persamaan.

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

Tabel 7. 14 Output SAP Base Shear

TABLE: Base Reactions		
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	N	N
DY	1540057.42	9319537.67

Tabel 7. 15 Output SAP Joint Displacement

TABLE: Joint Displacements			
Joint	OutputCase	U1	U2
Text	Text	mm	mm
24	DY	0.206	80.794
9876	DY	0.195	76.849

$$\Delta_o = \frac{(80,79 - 76,85) \times 2,5}{1}$$

$$\Delta_o = 9,85 \text{ mm}$$

$$V_{us} = 9319537,67 \text{ N}$$

$$l_c = 3200 \text{ mm}$$

$$\Sigma P_u = 354998540 \text{ N}$$

$$Q = \frac{\Sigma P_u \Delta_o}{V_{us} l_c}$$

$$Q = \frac{354998540 \text{ N} \times 9,85 \text{ mm}}{9319537,67 \text{ N} \times 3200 \text{ mm}}$$

$$Q = 0,117$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - 0,117} \geq 1,0$$

$$\delta_s = 1,13 \geq 1,0$$

Karena $\delta_s < 1,5$ maka dipakai $\delta_s = 1,13$

➤ **Momen Setelah Perbesaran (M_1 & M_2)**

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

$$M_1 = 8666981,27 \text{ Nmm} + (1,13) 82833150 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = 102502486,1 \text{ Nmm}$$

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

$$M_1 = 12224196,61 \text{ Nmm} + (1,13) 613465426 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = 707173476,3 \text{ Nmm}$$

Dari hasil perhitungan perbesaran momen yang ditinjau di sumbu x dan sumbu y, maka digunakan hasil terbesar yaitu 707173476,3 Nmm

➤ **Menentukan (ρ)**

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang. Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{700} = 0,09 \sim 0,10$$

Sumbu Vertikal

$$v = \frac{P_u}{\phi \cdot b \cdot h \cdot \beta_1 \cdot f_c'}$$

$$v = \frac{5461516}{0,65 \times 900 \times 700 \times 0,84 \times 30} \times 1,2$$

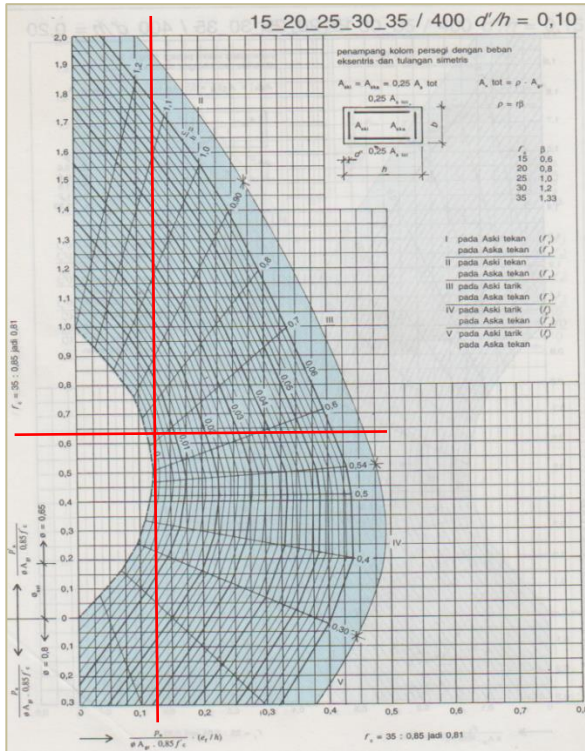
$$v = 0,638$$

Sumbu Horizontal

$$h = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}$$

$$h = \frac{707173476,3}{0,65 \times 900 \times 700^2 \times 0,84 \times 30} \times 1,2$$

$$h = 0,12$$



Gambar 7. 28 Diagram Interaksi Kolom K1

Karena hasil perhitungan ρ_{perlu} menggunakan diagram interaksi kolom tidak ditemukan nilainya maka diambil $\rho_{min} = 0,01 \times 1,2 = 0,012$

$$\rho_{perlu} = 0,012 < 6\% \quad (\text{OK})$$

➤ **Luas Tulangan (As)**

$$A_{s,perlu} = \rho \times b \times h$$

$$A_{s,perlu} = 0,012 \times 700 \times 900$$

$$A_{s,perlu} = 7560 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D25}}$$

$$n = \frac{7560 \text{ mm}^2}{490,625 \text{ mm}^2}$$

$$n = 15,4 \sim \text{pasang 16 buah}$$

Maka luas tulangan yang dipakai

$$A_{S_{\text{pakai}}} = n \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = 16 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = 7850 \text{ mm}^2$$

Kontrol As :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$7850 \text{ mm}^2 > 7560 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Persentase tulangan terpasang:

$$\text{persentase} = \frac{A_{S_{\text{pasang}}}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = \frac{7850}{700 \times 900} \times 100\%$$

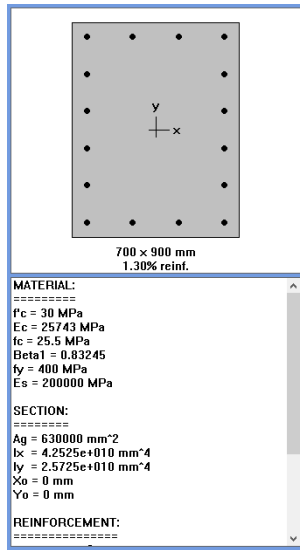
$$\text{persentase} = 1,25 \% < 8\% \quad (\text{OK})$$

7.5.1.6 Cek Penulangan Program SP Column

Hasil perhitungan yang diinput ke dalam analisis SP Column.

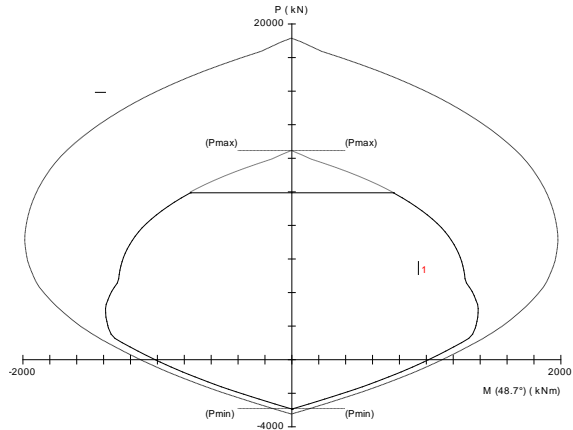
- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja tulangan (f_y) = 400 MPa
- Modulus elastisitas = 200.000 MPa
- β_1 = 0,84
- Dimensi penampang (b/h) = 700 mm/900mm
- Mux (M22 kombinasi arah X) = 620861812 Nmm
- Muy (M33 kombinasi arah Y) = 707173476 Nmm
- Tulangan = 16 D25

➤ **Input Analisis SP Column**



Gambar 7. 29 Input Parameter K1 Desain SPColumn

➤ **Output Analisis SP Column**



Gambar 7. 30 Diagram Interaksi Aksial Momen K1

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	Pu	Mux	Muy	φMnx	φMny	φMu/Mu	NA Depth	dt Depth	et	φ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	5461.52	620.86	707.17	841.38	958.35	1.355	632	982	0.00166	0.650

Gambar 7. 31 Output SP Column, Kapasitas Kolom K1

Berdasarkan output dari SP Column

$$M_{ux} = 620,86 \text{ kNm} < M_{nx} = 816,72 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

$$M_{uy} = 707,17 \text{ kNm} < M_{ny} = 930,26 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan kolom **16 D25** mencukupi.

Kontrol Jarak Spasi Tulangan:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{min} \text{ SP Column} = 129,64 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 129,64 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

7.5.1.7 Cek Kapasitas Penampang

➤ Mencari Nilai (e_{min} & e_{perlu})

$$P_n = \frac{P_u}{0,65}$$

$$P_n = \frac{5461516 \text{ N}}{0,65}$$

$$P_n = 8402332,31 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,65}$$

$$M_n = \frac{707173476,3 \text{ Nmm}}{0,65}$$

$$M_n = 1087959194 \text{ Nmm}$$

$$e_{perlu} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{1087959194 \text{ Nmm}}{8402332,31 \text{ N}}$$

$$e \text{ perlu} = 129,5 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = 15,24 + 0,03h = 42,2 \text{ mm}$$

➤ **Cek Kondisi Balance**

Syarat :

$$\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

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

$$X_b = \frac{600}{600+400} \times 637,5$$

$$X_b = 382,5 \text{ mm}$$

$$A_b = \beta_1 X_b$$

$$A_b = 0,84 \times 382,5 \text{ mm}$$

$$A_b = 319,66 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s(f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$C_s' = 7850 \text{ mm}^2(400\text{MPa} - 0,85 \times 30\text{MPa})$$

$$C_s' = 2939825 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_b$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \times 700 \times 0,84 \times 382,5$$

$$C_c' = 5705943,75 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$T = 7850 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$T = 3140000 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$P_b = 5705943,75 \text{ N} + 2939825 \text{ N} - 3140000 \text{ N}$$

$$P_b = 5505768,75 \text{ N}$$

$$M_b = C_c' \left(d - d'' - \frac{1}{2}ab \right) + C_s'(d - d'' - d') + Td''$$

$$M_b = 3383623848 \text{ Nmm}$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$$e_b = \frac{3383623848 \text{ Nmm}}{5505768,75 \text{ N}} = 614,6 \text{ mm}$$

➤ **Kontrol Kondisi**

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (tekan menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (tarik menentukan)

Maka:

42,24 mm < 129,5 mm < 614,56 mm (**tekan menentukan**)

Kontrol Kondisi Tekan Menentukan

Syarat :

$$e < e_b$$

$$129,5 \text{ mm} < 614,6 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

➤ **Mencari Nilai (a)**

Diasumsikan a sejarak 0,54d

$$a = 0,54d$$

$$0,85x = 344,25 \text{ mm}$$

$$x = 405 \text{ mm}$$

Syarat:

$$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{637,5}{405} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\epsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{637,5}{405} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = 344,44 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\epsilon_y = \frac{400}{200.000}$$

$$\epsilon_y = 0,002$$

➤ **Kontrol Leleh (fs)**

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,0017 < 0,002 \quad \text{(OK)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,44 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \quad \text{(OK)}$$

$$C_s' = A_s(f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$C_s' = 7850 \text{ mm}^2(400\text{MPa} - 0,85 \times 30\text{MPa})$$

$$C_s' = 2939825 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_b$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \times 700 \times 0,84 \times 405$$

$$C_c' = 6041587,5 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$T = 7850 \text{ mm}^2 \times 344,44\text{MPa}$$

$$T = 2703888,89 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$P = 6041587,5 \text{ N} + 2939825 \text{ N} - 2703888,89 \text{ N}$$

$$P = 6277523,61 \text{ N}$$

Syarat:

$$P > P_b$$

$$6277523,61 \text{ N} > 5505768,75 \text{ N} \quad \text{(OK)}$$

$$M_{n\text{terpasang}} = C_c' \left(d - d'' - \frac{1}{2}ab \right) + C_s'(d - d'' - d') + Td''$$

$$M_{n\text{terpasang}} = 3383623848 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$M_{n\text{terpasang}} \geq M_n$$

3383623848 Nmm > 1087959194 Nmm (OK)

Maka tulangan **16 D25** memenuhi kapasitas.

7.5.1.8 Perhitungan Tulangan Geser

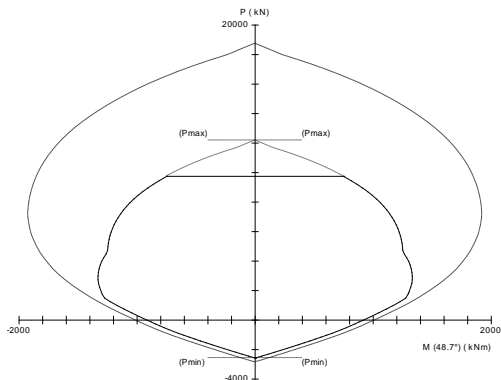
Data perencanaan :

- h kolom = 700 mm
- b kolom = 900 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Tinggi kolom = 4000 mm
- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Kuat leleh tulangan ulir (f_y) = 400 MPa
- Kuat leleh tulangan polos (f_y) = 240 MPa
- Diameter tulangan lentur = 25 mm
- Diameter tulangan geser = 10 mm
- Faktor reduksi (ϕ) = 0,75

Pada perhitungan geser kolom digunakan momen nominal dari hasil analisis program bantu SP Column.

➤ Analisis Gaya Dalam (Mnt & Mnb)

Diambil dari hasil SP Column sebagai berikut:



Gambar 7. 32 Output Mn SP Column untuk Geser Kolom K1

$$M_{nt} = 1155000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 885000000 \text{ Nmm}$$

➤ **Gaya Geser Desain (V_u)**

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

Dimana :

M_{nt} = Momen nominal atas kolom

M_{nb} = Momen nominal bawah kolom

$$V_u = \frac{1155000000 + 885000000}{4000}$$

$$V_u = 510000 \text{ N}$$

➤ **Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')**

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa

(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,48 \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

➤ **Kuat Geser Beton (V_c)**

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

(SNI 03-2847-2013, pasal 11.2.1.2)

$\lambda = 1$, untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{5461516 \text{ N}}{14(630000) \text{ mm}} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 700 \times 637,5$$

$$V_c = 672811,65 \text{ N}$$

➤ **Kuat Geser Tulangan Geser (V_{smin})**

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times 700 \text{ mm} \times 637,5 \text{ mm}$$

$$V_{s_{\min}} = 148750 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 700 \text{ mm} \times 637,5 \text{ mm}$$

$$V_{s_{\max}} = 814737,3 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 2 \times 814737,3 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 1629474,61 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

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

$$510000 \text{ N} > 252304,37 \text{ N} \quad \text{(NOT OK)}$$

2. Kondisi Geser 2 → tulangan geser minimum

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

$$252304,37 \text{ N} < 510000 \text{ N} > 504608,74 \text{ N} \quad \text{(NOT OK)}$$

3. Kondisi Geser 3 → tulangan geser minimum

$$\varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{\min}})$$

$$504608,74 \text{ N} < 510000 \text{ N} < 616171,24 \text{ N} \quad \text{(OK)}$$

4. Kondisi Geser 4 → memerlukan tulangan geser

$$\varphi(V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{\max}})$$

$$616171,24 \text{ N} > 510000 \text{ N} < 1115661,72 \text{ N} \quad \text{(NOT OK)}$$

Maka, penulangan geser menggunakan kondisi 3 yaitu dibutuhkan tulangan geser minimum.

$$V_s = V_{s_{\min}}$$

$$V_s = 148750 \text{ N}$$

Direncanakan jarak tulangan geser 150 mm

$$A_{V\text{perlu}} = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{148750 \text{ N} \times 150 \text{ mm}}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 637,5 \text{ mm}}$$

$$= 145,83 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser rencana:

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_{\text{kaki}}$$

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$A_{V\text{pakai}} = 157,08 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{V\text{pakai}} \geq A_{V\text{perlu}}$$

$$157,08 \text{ mm}^2 > 145,83 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Maka dipakai **Ø10 - 150 mm**

7.5.1.9 Cek Syarat Penulangan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi:
 - a) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi

$$S_o \leq 8 \times D_{\text{lentur}}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \times 25 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$
 - b) 24 kali diameter batang tulangan begel

$$S_o \leq 24 \times D_{\text{geser}}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$
 - c) Setengah dimensi penampang kolom terkecil

$$S_o \leq \frac{1}{2} \times b_w$$

$$150 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 700 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 350 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

d) $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

Kontrol syarat memenuhi, maka dipakai $S_{pakai} 150 \text{ mm}$.

2. Panjang L_o tidak boleh kurang dari yang terbesar diantara ketiga syarat dibawah, yaitu:

a) Seperenam bentang bersih kolom

$$L_o = \frac{1}{6} \times (4000 - 600)$$

$$L_o = 566,67 \text{ mm}$$

b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 558,33 \text{ mm}$$

$$L_o < 900 \text{ mm}$$

Maka dipakai $L_o 900 \text{ mm}$

3. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok-kolom.

4. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

7.5.1.10 Perhitungan Sambungan Lewatan Vertikal Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.3 dan ACI 318M-14 pasal 18.7.4.3, sambungan lewatan hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom dan harus diikat dengan tulangan sengkang. Karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama, maka sambungan lewatan yang digunakan tergolong kelas B.

Menurut SNI 2847 pasal 12.17.2.2 dan ACI 318M-14 pasal 10.7.5.2.2. Untuk sambungan kelas B panjang minimum sambungan lewatannya adalah $1.3\ell_d$. Dimana ℓ_d dihitung sesuai

SNI 2847:2013 pasal 12.2.2 dan ACI 318M-14 pasal 25.4.2.2. sebagai berikut:

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b$$

$$\ell_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) \times 25 = 869,4 \text{ mm}$$

$$\ell_{sc} = 1,3\ell_d = 1,3 \times 869,4 \text{ mm} = 1130,22 \sim 1150 \text{ mm}$$

7.5.1.11 Rekapitulasi Tulangan Kolom K1

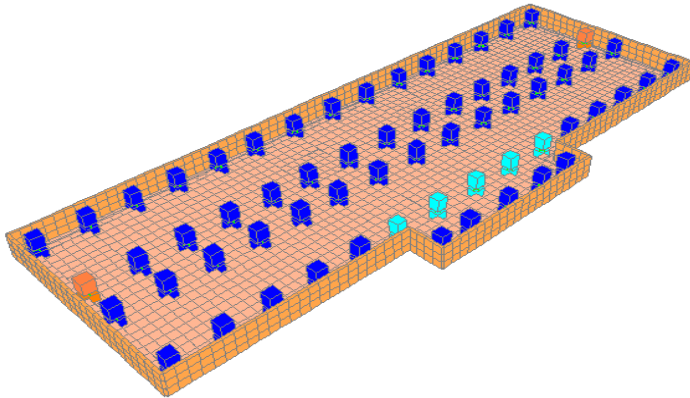
Tabel 7. 16 Rekapitulasi Penulangan Kolom K1

Perhitungan Tulangan Kolom K1 700 x 900 mm							
Tulangan Lentur			Tulangan Geser				Lsc (mm)
n	Diameter (mm)		n kaki	Diameter (mm)	Spasi (mm)		
16	D	25	2	D	10	150	1150

BAB 8

PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH

8.1 Retaining Wall



Gambar 8. 1 Posisi Retaining Wall pad Gedung Pasca Sarjana IV UMM

8.1.1 Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu tulangan ulir (f_{yl}) = 420 MPa
- Mutu tulangan polos (f_{yt}) = 240 MPa
- Tinggi Dinding (h) = 3000 mm
- Lebar Dinding (b) = 300 mm
- Diameter tulangan lentur (D) = D25
- Tebal selimut (d) = 75 mm
- β_1 = 0.84

Tebal manfaat :

$$dx = b - d - D - 0,5D$$

$$dx = 300 - 75 - 25 - (0,5 \times 25)$$

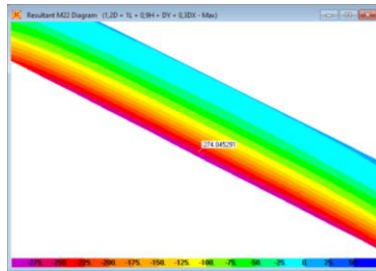
$$dx = 187,5 \text{ mm}$$

$$dy = b - d - 0,5D$$

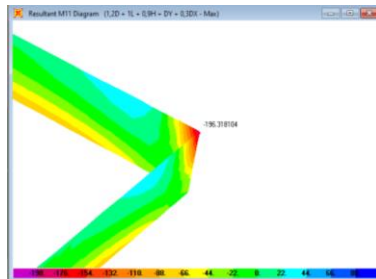
$$dy = 300 - 75 - (0,5 \times 25)$$

$$dy = 212,5 \text{ mm}$$

8.1.2 Perhitungan Tulangan Retaining Wall



Gambar 8. 2 Output Momen 2-2 Retaining Wall



Gambar 8. 3 Output Momen 1-1 Retaining Wall

Tabel 8. 1 Rekapitulasi Output Momen Retaining Wall

Momen Arah X (kNm)	Momen Arah Y (kNm)
196,32	274,05

➤ Tulangan Arah X

$$M_u = 196320000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{196320000}{0,9} = 217777777,8 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{420 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{217777777,8 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 187,5^2} = 6,20 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{420 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,023$$

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

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 6,20}{420}} \right) = 0,017$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,017$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,017 \times 1000 \times 187,5 = 3221 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D25-100} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 4910,71 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$4910,71 \text{ mm}^2 > 3221 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

➤ Tulangan Arah Y

$$M_u = 274050000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{274050000}{0,9} = 304444444,4 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{304444444,4 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 212,5^2} = 7,50 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 7,50}{420}} \right) = 0,022$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,022$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,022 \times 1000 \times 212,5 = 4616 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D25-100} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 4910,71 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$4910,71 \text{ mm}^2 > 4616 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{(OK)}$$

❖ Tulangan Susut (Atas)

Digunakan tulangan ulir dengan $f_y = 420 \text{ Mpa}$, sehingga nilai $\rho = 0,0018$.

$$A_s \text{ susut} = \rho \cdot b \cdot h$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 1000 = 1800 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan:

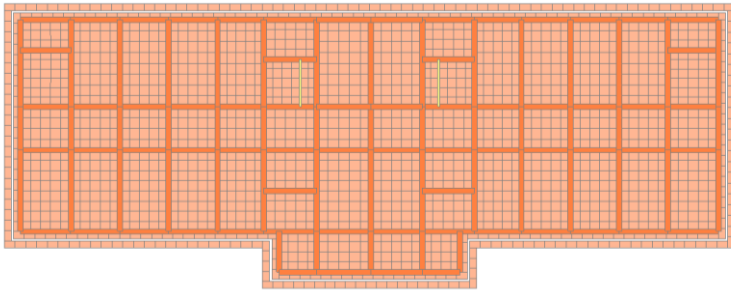
$$\mathbf{D16-100} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 2010,6 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{(OK)}$$

8.1.3 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Retaining Wall

Tabel 8. 2 Rekapitulasi Penulangan Retaining Wall

Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y	Tulangan Susut
D25-150	D25-100	D16-100

8.2 Pelat Basement



Gambar 8. 4 Pelat Basementt

8.2.1 Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu tulangan ulir (f_{yl}) = 420 MPa
- Mutu tulangan polos (f_{yt}) = 240 MPa
- Tebal Pelat (t) = 300 mm
- Diameter tulangan lentur (D) = 13 mm
- Tebal selimut (d) = 40 mm
- β_1 = 0.84

Tebal manfaat :

$$dx = b - d - 0,5D$$

$$dx = 300 - 40 - (0,5 \times 13)$$

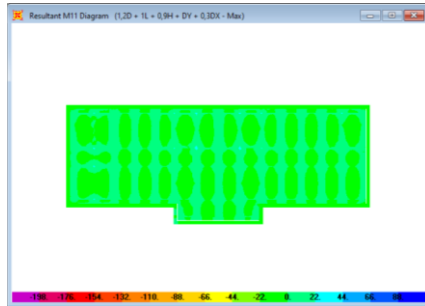
$$dx = 253,5 \text{ mm}$$

$$dy = b - d - D - 0,5D$$

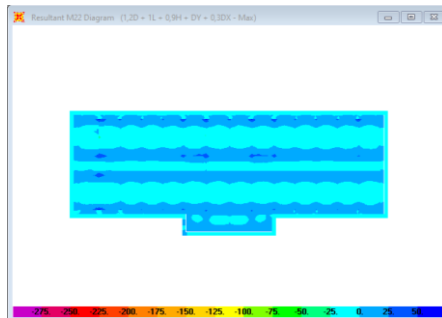
$$dy = 300 - 40 - 13 - (0,5 \times 13)$$

$$dy = 240,5 \text{ mm}$$

8.2.2 Perhitungan Tulangan Pelat Basement



Gambar 8. 5 Output Momen 1-1 Pelat Basement



Gambar 8. 6 Output Momen 2-2 Pelat Basement

Tabel 8. 3 Rekapitulasi Output Momen Pelat Basement

Momen 1-1 (kNm)	Momen 2-2 (kNm)
45,53	74,02

➤ **Tulangan Arah X**

$$M_u = 45530000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{45530000}{0,9} = 50593555,56 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{50593555,56 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 253,5^2} = 0,875 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

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

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ MPa}} \right)}{420 \text{ MPa}}$$

$$\rho_{\max} = 0,023$$

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

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,875}{420}} \right) = 0,0021$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0021$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0021 \times 1000 \times 253,5 = 532,35 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D13-150} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 885,24 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$885,24 \text{ mm}^2 > 532,35 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{(OK)}$$

➤ **Tulangan Arah Y**

$$M_u = 74020000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{74020000}{0,9} = 82248222,22 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{82248222,22 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 240,5^2} = 1,422 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

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

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ MPa}} \right)}{420 \text{ MPa}}$$

$$\rho_{\max} = 0,023$$

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

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,422}{420}} \right) = 0,0035$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0035$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0035 \times 1000 \times 240,5 = 838 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan :

$$\mathbf{D13-150} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 885,24 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$885,24 \text{ mm}^2 > 838 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{(OK)}$$

8.2.3 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pelat Basementt

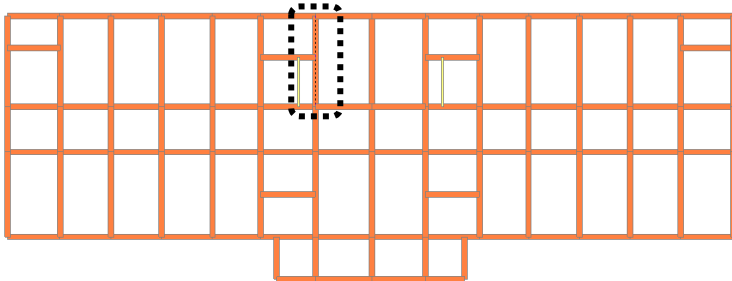
Tabel 8. 4 Rekapitulasi Penulangan Pelat Basementt

Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
D13-150	D13-150

8.3 Sloof

Sloof direncanakan untuk menahan gaya aksial, lentur serta geser, gaya aksial yang dibebankan pada sloof adalah gaya 10% aksial yang terjadi pada kolom di atasnya. Penulangan dianalisis dengan program bantu SP Column

8.3.1 Sloof (S1)



Gambar 8. 7 Denah Sloof yang Ditinjau

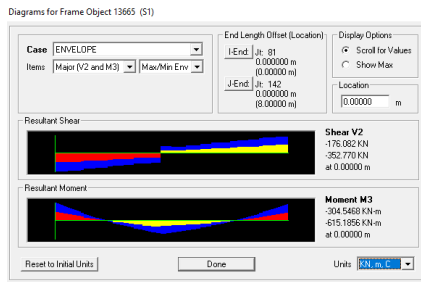
Perhitungan kebutuhan tulangan sloof dapat diketahui berdasarkan momen sloof terbesar dari hasil analisis menggunakan program bantu SAP 2000. Berikut merupakan tahapan perhitungan penulangan balok menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) pada sloof tipe S1. Perhitungan sloof selanjutnya, akan direkapitulasi dalam tabel.

8.3.1.1 Data Perencanaan

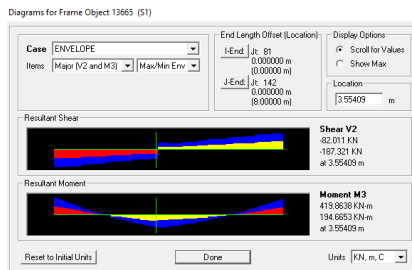
- Tipe sloof : S1
- Bentang sloof (L) : 8000 mm
- Dimensi sloof (B_{sloof}) : 500 mm
- Dimensi sloof (H_{sloof}) : 1000 mm
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) : 400 MPa
- Diameter tulangan lentur (D) : 25 mm
- Diameter tulangan geser (ϕ) : 13 mm
- Spasi antar tulangan sejajar : 25 mm
- (SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.1)
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1(c))
- Faktor β_1 : 0,84
- (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9
- (SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.1)
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
- (SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)
- Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) : 0,75
- (SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.3)

8.3.1.2 Analisis Struktur Gaya Dalam

Berdasarkan hasil perhitungan SAP 2000, diketahui momen terbesar sloof tipe S1 terjadi pada frame 13665. Berikut gaya dalam yang terjadi pada struktur balok hasil analisis struktur pada permodelan dengan kombinasi Envelope.



Gambar 8. 8 Output Momen dan Gaya Geser Area Tumpuan S1



Gambar 8. 9 Output Gaya Momen & Geser Area Lapangan S1

Gambar 8. 10 Output Gaya Torsi Maksimum S1

Tabel 8. 5 Rekap Output Gaya Dalam

Gaya Dalam	Gaya (kN.mm)	
	Tumpuan	Lapangan
Momen	615.19	419.86
Geser	352.77	187.32
Torsi	113.69	

8.3.1.3 Perhitungan Tulangan Torsi

- Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1.

$$\sqrt{\left(\frac{V_U}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_U \times P_h}{1.7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_C}{b_w \times d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

Torsi maksimum pada elemen B1:

$$T_U = 113,69 \text{ kN.m} = 113690000 \text{ Nmm}$$

$$b_h = b - 2 \cdot \text{decking} - D. \text{ sengkang}$$

$$b_h = 500 - 2 \cdot 40 - 13 = 407 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot \text{decking} - D. \text{ sengkang}$$

$$h_h = 1000 - 2 \cdot 40 - 13 = 907 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (b \text{ sloof} - 2d - 2\phi) + 2 \times (h \text{ sloof} - 2d - 2\phi) \\ &= 2 \times (500 - 80 - 26) + 2 \times (1000 - 80 - 26) \\ &= 2576 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ sloof} - 2d - 2\phi) \times (h \text{ sloof} - 2d - a) \\ &= (500 - 80 - 26) \times (1000 - 80 - 26) \\ &= 352236 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- b. Periksa persyaratan pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847:2013
Pasal 11.5.1, yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika:

$$T_U \leq T_{U_{min}}$$

$$T_U \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right)$$

Dimana:

$$A_{CP} = \text{Luas penampang keseluruhan}$$

$$P_{CP} = \text{Keliling penampang keseluruhan}$$

$$\lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$\phi = 0.75 \text{ (Faktor reduksi beban torsi)}$$

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir :

$$A_{CP} = b \times h = 500 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 500000 \text{ mm}^2$$

$$P_{CP} = 2 \times (b + h) = 2 \cdot (500\text{mm} + 1000\text{mm}) = 3000 \text{ mm}$$

Maka untuk nilai $T_{U_{min}}$:

$$T_{U_{\min}} = 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{500000^2}{3000} \right)$$

$$T_{U_{\min}} = 28413107,67 \text{ Nmm}$$

$$T_U = 113690000 \text{ Nmm}$$

113690000 Nmm > 28413107,67 Nmm, maka diperlukan tulangan torsi.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2, nilai torsi maksimum boleh direduksi menjadi nilai sebagai berikut:

$$T_{U_{\max}} = 0.75 \times 0.330 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right)$$

$$T_{U_{\max}} = 0.75 \times 0.330 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{500000^2}{3000} \right)$$

$$T_{U_{\max}} = 112967777,5 \text{ Nmm}$$

Karena nilai $T_u > T_{U_{\max}}$ maka nilai $T_u = 112967777,5 \text{ N.mm}$

- c. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi transversal Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6, dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai A_o dapat diambil sama dengan $0,85A_{oh}$ dan nilai $\theta = 45^\circ$

$$A_o = 0,85A_{oh} = 299401 \text{ mm}^2$$

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

$$\frac{A_T}{s} = \frac{T_U}{\phi \times 2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot\theta}$$

$$\frac{A_T}{s} = \frac{112967777,5}{\phi \times 2 \times 299401 \times 400 \times 1}$$

$$\frac{A_T}{s} = 0,629 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- d. Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi: Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7, tulangan torsi untuk tulangan lentur dihitung sebagai berikut:

$$A\ell = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 45^\circ$$

$$A\ell = 0,629 \times 2576 \left(\frac{400}{400} \right) \cdot 1 = 1619,93 \text{ mm}^2$$

Cek nilai $A\ell$ min dengan persamaan :

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times P_{oh} \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai $A\ell_{\min} =$

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{Mpa} \times 500000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 0,629 \text{ mm} \right) \times 2576 \text{ mm} \times \frac{400 \text{Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A\ell_{\min} = 1255,61 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan $A\ell$ dengan 2 kondisi yakni

$$A\ell_{\text{perlu}} \leq A\ell_{\min} \text{ Maka menggunakan } A\ell_{\min}$$

$$A\ell_{\text{perlu}} \geq A\ell_{\min} \text{ Maka menggunakan } A\ell_{\text{perlu}}$$

Maka :

$$A\ell_{\text{perlu}} \leq A\ell_{\min}$$

$$1619,93 \text{ mm}^2 > 1255,61 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan nilai $A\ell$ sebesar $1619,93 \text{ mm}^2$.

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok, sehingga :

$$\frac{A\ell}{4} = \frac{1619,93 \text{ mm}^2}{4} = 404,983 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 274,584 mm². Sedangkan pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang tulangan puntir dengan luasan sebesar :

$$A_{\text{perlu}} = 2 \times \frac{A_{\ell}}{4} = 809,97 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan torsi perlu :

n = 4 dengan diameter 19 mm

Kontrol :

$$A_{\ell_{\text{pasang}}} \geq A_{\ell_{\text{perlu}}}$$

$$\begin{aligned} A_{\ell_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{Luasan D puntir} \\ &= 4 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2 \right) \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\ell_{\text{pasang}}} &\geq A_{\ell_{\text{perlu}}} \\ 1134,57 \text{ mm}^2 &> 809,97 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan puntir di tumpuan kiri, kanan, dan lapangan dipasang **4 D19**.

8.3.1.4 Perhitungan Tulangan Longitudinal

➤ Area Tumpuan

➤ Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$X_b = \frac{600}{600 + 400} \times 934,5$$

$$X_b = 560,7 \text{ mm}$$

➤ Garis Netral Maksimum

$$X_{\text{max}} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 560,7$$

$$= 430,53 \text{ mm}$$

- Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d'$$

$$X_{\min} = 65,5 \text{ mm}$$

- Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

- Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 0,84 \times 200 \text{ mm}$$

$$C_c' = 2131071 \text{ N}$$

- Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Tunggal

$$A_s = \frac{C_c'}{f_y}$$

$$A_s = \frac{2131071 \text{ N}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_s = 5327,68 \text{ mm}^2$$

- Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 5327,68 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(934,5 \text{ mm} - \frac{0,84 \times 200}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1813389566 \text{ Nmm}$$

- Momen Lentur Nominal

$$M_{nc} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{615185000}{0,9} = 683538889 \text{ Nmm}$$

Cek Penulangan Rangkap

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap dengan syarat sebagai berikut :

- $M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan
- $M_{ns} = 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

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

$$M_{ns} = 683538889 - 1813389566$$

$$M_{ns} = -1129850677 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga **tidak perlu** dihitung tulangan lentur tekan, akan tetapi tetap diperhitungkan.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,7$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{683538889 \text{ Nmm}}{0,9 \times 400 \times 935^2} = 1,565 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,565}{400}} \right) = 0,0040$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka dipakai $\rho = 0,0040$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0040 \times 500 \times 935 = 1888 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan lentur ditambah luasan puntir :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\text{perlu}}} + \frac{A_t}{4}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 1888,49 \text{ mm}^2 + 404,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 2293,47 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tarik **5 D25**.

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 5$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 2455,36 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tarik :

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$2455,36 \text{ mm}^2 > 2293 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang tulangan tekan :

$$A_{s'_{\text{perlu}}} = 30\% A_s$$

$$A_{s'_{\text{perlu}}} = 30\% \times 2455,36 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'_{\text{perlu}}} = 736,61 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tekan **2 D25**.

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 982,14 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tekan :

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s'_{\text{perlu}}}$$

$$982,14 \text{ mm}^2 > 737 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Spasi Tulangan

Tulangan tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 67,25 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} > S_{sejajar}$$

$$67,25 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (SATU LAPIS)}$$

Tulangan tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 344 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} > S_{sejajar}$$

$$344 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (SATU LAPIS)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\phi M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$A_{s \text{ pasang}} \text{ tulangan tarik } \mathbf{5 D25} = 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{2454,37 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm}}$$

$$a = 76,99 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2454,37 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \left(934,5 \text{ mm} - \frac{76,99 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_n = 1099557539 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 989601785,3 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\phi M_{n \text{ pasang}} > M_u$$

$$989601785,3 \text{ Nmm} > 683538889 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan tulangan lentur area tumpuan sloof tipe S1 sebagai berikut :

Tulangan lentur tarik **1 lapis** = **5 D25**

Tulangan lentur tekan **1 lapis** = **2 D25**

➤ **Area Lapangan**

- Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$X_b = \frac{600}{600 + 400} \times 934,5$$

$$X_b = 560,7 \text{ mm}$$

- Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 560,7 \\ &= 430,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ X_{\min} &= 65,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

- Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ C_c' &= 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 0,84 \times 200 \text{ mm} \\ C_c' &= 2131071 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Tunggal

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{C_c'}{f_y} \\ A_s &= \frac{2131071 \text{ N}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\ A_s &= 5327,68 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 5327,68 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(934,5 \text{ mm} - \frac{0,84 \times 200}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1813389566 \text{ Nmm}$$

➤ Momen Lentur Nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{419860000}{0,9} = 466511111 \text{ Nmm}$$

Cek Penulangan Rangkap

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap dengan syarat sebagai berikut :

- $M_{ns} > 0$, maka perlu tulangan lentur tekan
- $M_{ns} \leq 0$, maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

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

$$M_{ns} = 466511111 - 1813389566$$

$$M_{ns} = -1346878455 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} < 0$$

Sehingga **tidak perlu** dihitung tulangan lentur tekan, akan tetapi tetap diperhitungkan.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,7$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{466511111 \text{ Nmm}}{0,9 \times 500 \times 935^2} = 1,068 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,068}{400}} \right) = 0,0027$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = 0,0034$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0034 \times 500 \times 935 = 1599,5 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan lentur ditambah luasan puntir :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = A_{S_{\text{perlu}}} + \frac{A_{\ell}}{4}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 1599,5 \text{ mm}^2 + 404,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 2005 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tarik **5 D25**.

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 5$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 2455,36 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tarik :

$$A_{S_{\text{pasang}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$2455,36 \text{ mm}^2 > 2005 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang tulangan tekan :

$$A_{S'_{\text{perlu}}} = 30\% A_s$$

$$A_{S'_{\text{perlu}}} = 30\% \times 2455,36 \text{ mm}^2$$

$$As'_{\text{perlu}} = 736,61 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tekan **2 D25**.

$$As_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n$$

$$As_{\text{pasang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 2$$

$$As_{\text{pasang}} = 982,14 \text{ mm}^2$$

Kontrol Tulangan Tekan :

$$As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$982,14 \text{ mm}^2 > 736,61 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Spasi Tulangan

Tulangan tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 \text{ mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 13\text{mm}) - (5 \times 25 \text{ mm})}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 67,25 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{sejajar}}$$

$$67,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (SATU LAPIS)}$$

Tulangan tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 \text{ mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 13\text{mm}) - (2 \times 25 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 344 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{sejajar}}$$

$$344 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (SATU LAPIS)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} \text{ tulangan tarik } \mathbf{5 \text{ D25}} = 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{2454,37 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm}}$$

$$a = 76,99 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2454,37 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \left(935 \text{ mm} - \frac{76,99 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_n = 879646031 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 791681428,3 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$791681428,3 \text{ Nmm} > 4198600000 \text{ Nmm} \quad (\mathbf{OK})$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan tulangan lentur area tumpuan balok tipe B1 sebagai berikut :

$$\text{Tulangan lentur tarik } \mathbf{1 \text{ lapis}} \quad = \mathbf{5 \text{ D25}}$$

$$\text{Tulangan lentur tekan } \mathbf{1 \text{ lapis}} \quad = \mathbf{2 \text{ D25}}$$

8.3.1.5 Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser tumpuan sloof menggunakan gaya geser terfaktor terbesar yang didapat dari SAP 2000 dari kombinasi envelope.

- Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa

(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{29,05 \text{ MPa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,39 \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa}$$

(memenuhi syarat SNI)

➤ Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$\lambda = 1$, untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 500 \text{ mm} \times 935 \text{ mm}$$

$$V_c = 435070 \text{ N}$$

➤ Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 500 \text{ mm} \times 935 \text{ mm}$$

$$V_{s_{\min}} = 155750 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 935 \text{ mm}$$

$$V_{s_{\max}} = 853078 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 2 \times 853078 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 1706155,77 \text{ N}$$

➤ Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 yaitu :

Wilayah 1 dan 3 yaitu daerah tumpuan sejarak $\frac{1}{4}ln$ pada sisi kanan dan kiri balok.

Wilayah 2 yaitu daerah lapangan dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok sejarak $\frac{1}{2}ln$.

➤ **Area Tumpuan**

$$V_u = 352769 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$352769 \text{ N} > 163151 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$163151 \text{ N} < 352769 \text{ N} > 326302 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\min}})$$

$$163151 \text{ N} < 352769 \text{ N} < 443114,8 \text{ N}$$

(Memenuhi)

4. Kondisi Geser 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\phi(V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\max}})$$

$$443115 \text{ N} > 352769 \text{ N} < 966110,7 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 3.

$$V_s = V_{s_{\min}} = 155750 \text{ N}$$

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

$$S_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{935}{2} = 467,25 \text{ mm}$$

$$\text{Direncanakan } S_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm} < S_{\text{maks}}$$

Luas penampang geser :

$$Av = \frac{b \times s}{f_{yt} \times 3} = \frac{500 \times 150}{400 \times 3} = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$\frac{At}{s} = 0,63$$

$$At = 0,63 \times 150 = 94,33 \text{ mm}^2$$

Maka $A_{V\text{perlu}}$

$$A_{V\text{perlu}} = A_v + (2 \times At)$$

$$A_{V\text{perlu}} = 62,5 + (2 \times 94,33)$$

$$A_{V\text{perlu}} = 251,16 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 dengan 2 kaki.

Maka luas penampang tulangan geser rencana:

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times nkaki$$

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2$$

$$A_{V\text{pakai}} = 265,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$A_{V\text{pakai}} \geq A_{V\text{perlu}}$$

$$265,57 \text{ mm}^2 > 251,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai **D13 - 150 mm**

➤ Area Lapangan

$$V_u = 187320 \text{ N}$$

➤ Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$187320 \text{ N} > 163151 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$163151 \text{ N} < 187320 \text{ N} < 326302 \text{ N}$$

(Memenuhi)

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{\min}})$$

$$163151 \text{ N} < 187320 \text{ N} < 443114,8 \text{ N}$$

(Memenuhi)

4. Kondisi Geser 4 → Memerlukan tulangan geser

$$\varphi(V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{\max}})$$

$$443115 \text{ N} > 187320 \text{ N} < 443114,79 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 3.

$$V_s = V_{s_{\min}} = 155750 \text{ N}$$

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

$$S_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{935}{2} = 467,25 \text{ mm}$$

$$\text{Direncanakan } S_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm} < S_{\text{maks}}$$

Luas penampang geser :

$$A_v = \frac{b \times s}{f_{yt} \times 3} = \frac{500 \times 150}{400 \times 3} = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,63$$

$$A_t = 0,63 \times 150 = 94,33 \text{ mm}^2$$

Maka $A_{V_{\text{perlu}}}$

$$A_{V_{\text{perlu}}} = A_v + (2 \times A_t)$$

$$A_{V_{\text{perlu}}} = 62,5 + (2 \times 94,33)$$

$$A_{V_{\text{perlu}}} = 251,16 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 dengan 2 kaki.

Maka luas penampang tulangan geser rencana:

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times nkaki$$

$$A_{V\text{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2$$

$$A_{V\text{pakai}} = 265,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$A_{V\text{pakai}} \geq A_{V\text{perlu}}$$

$$265,57 \text{ mm}^2 > 251,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai **D13 - 150 mm**

8.3.1.6 Panjang Penyaluran Tulangan

1. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

- c. Tulangan diteruskan sejauh d , $12d_b$, atau $\ell_n/16$ (SNI 2847:2013 pasal 12.10.3 dan 12.10.4; ACI 318M-14 pasal 25.4.3 dan 25.4.4):

- $d = 934,5 \text{ mm}$
- $12d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$
- $\ell_n/16 = 7300/16 = 456,25 \text{ mm}$

- d. Mencari nilai ℓ_d

Diketahui nilai:

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$\Psi_t = 1.0 \text{ Faktor lokasi penulangan}$$

$$\Psi_e = 1.0 \text{ Faktor pelapis}$$

$$\Psi_s = 1.0$$

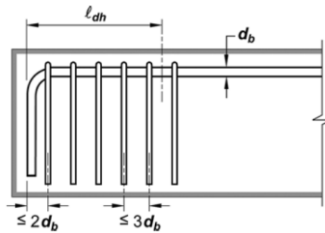
$\lambda = 1.0$ Faktor digunakan agregat normal

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b$$

$$\ell_d = \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) \times 25 = 1037,97 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar yakni $1037,97 \text{ mm} \approx 1100 \text{ mm}$.

2. Panjang Penyaluran Tulangan Berkait



Gambar 8. 11 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar

$$l_{dh} = \left(\frac{0.24 \cdot \Psi_c \cdot \Psi_e \cdot \Psi_r \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \cdot d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0.24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{30}} \right) \cdot 25 = 438,18 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan :

$$l_{dh \text{ reduksi}} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dh \text{ reduksi}} = \frac{982,14 \text{ mm}^2}{737 \text{ mm}^2} \times 438,18 \text{ mm}$$

$$l_{dh \text{ reduksi}} = 328,6 \text{ mm} \sim 350 \text{ mm}$$

$$8d_b = 8 \times 25 \text{ mm}$$

$$8d_b = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

$$l_{dh} > 8d_b$$

$$350 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

3. Panjang Penyaluran Kondisi Tekan

$$\ell_{dc} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

$$\ell_{dc} = \frac{0,24 \times 400 \text{ N/mm}^2}{1 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2}} \times 25 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc} = 438,18 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc} = 0,043 \times f_y \times d_b$$

$$\ell_{dc} = 0,043 \times 400 \text{ Mpa} \times 25 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $\ell_{dc} = 438,18 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan :

$$\ell_{dc \text{ reduksi}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times \ell_{dc}$$

$$\ell_{dc \text{ reduksi}} = \frac{982,14 \text{ mm}^2}{737 \text{ mm}^2} \times 438,18 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc \text{ reduksi}} = 328,6 \text{ mm} \sim 350 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\ell_{dc} > 200 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

4. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik untuk Torsi

Mencari nilai ℓ_d

Diketahui nilai:

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\Psi_t = 1.0 \text{ Faktor lokasi penulangan}$$

$$\Psi_e = 1.0 \text{ Faktor pelapis}$$

$$\Psi_s = 1.0$$

$$\lambda = 1.0 \text{ Faktor digunakan agregat normal}$$

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b$$

$$\ell_d = \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) \times 19 = 816,2 \text{ mm}$$

diambil $\ell_d = 850 \text{ mm}$.

8.4 Pondasi

8.4.1.1 Data Tanah

Sesuai dengan data tanah dari Testana Engineering yang terletak di Kota Surabaya,

Tabel 8. 6 Data Tanah Lokasi yang Ditinjau

Lapisan ke- (m)	Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	Nilai N-SPT
1	0-1	Lempung berlanau	17
2	2-4	Lempung berlanau, berpasir, berkerikil	18
3	2-5	Lempung berlanau, berpasir, berkerikil	15
4	2-6	Lempung berlanau, berpasir, berkerikil	12
5	4-8	Lempung, berpasir berlanau	9
6	4-8	Lempung, berpasir berlanau	11
7	4-8	Lempung, berpasir berlanau	12
8	4-8	Lempung, berpasir berlanau	13
9	9-30	Pasir berkerikil berlanau	19
10	9-30	Pasir berkerikil berlanau	31
11	9-30	Pasir berkerikil berlanau	29
12	9-30	Pasir berkerikil berlanau	27
13	9-30	Pasir berkerikil berlanau	26

Lapisan ke- (m)	Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	Nilai N-SPT
14	9-30	Pasir berkerikil berlanau	29
15	9-30	Pasir berkerikil berlanau	51
16	9-30	Pasir berkerikil berlanau	42
17	9-30	Pasir berkerikil berlanau	39
18	9-30	Pasir berkerikil berlanau	29
19	9-30	Pasir berkerikil berlanau	35
20	9-30	Pasir berkerikil berlanau	44
21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	46
22	9-30	Pasir berkerikil berlanau	48
23	9-30	Pasir berkerikil berlanau	50
24	9-30	Pasir berkerikil berlanau	52
25	9-30	Pasir berkerikil berlanau	60
26	9-30	Pasir berkerikil berlanau	60
27	9-30	Pasir berkerikil berlanau	60
28	9-30	Pasir berkerikil berlanau	60
29	9-30	Pasir berkerikil berlanau	60
30	9-30	Pasir berkerikil berlanau	60

8.4.2 Data Perencanaan

Diameter pile rencana (D)	: 0,50 m
Kedalaman rencana	: 20 m
Luas permukaan tiang (A_p)	: 0,283 m ²
Luas selimut tiang (A_s)	: 24,514 m ²
Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Faktor keamanan (n)	: 2

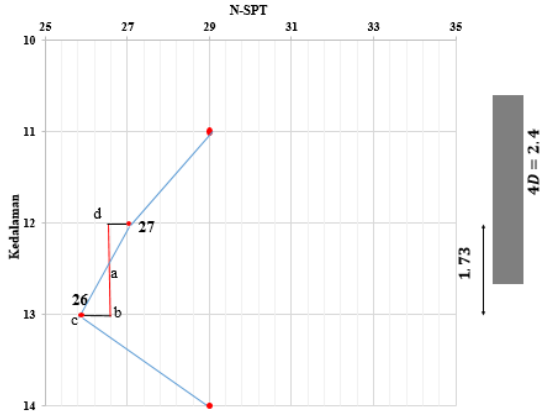
8.4.2.1 Daya Dukung Ijin Tiang

Daya dukung dihitung sesuai prosedur diatas.

$$N_1 = 26$$

$$4D = 4 \times 0,6 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$$

Sehingga diambil nilai N rata-rata 4D dari ujung tiang.



Gambar 8. 12 Penentuan \bar{N}

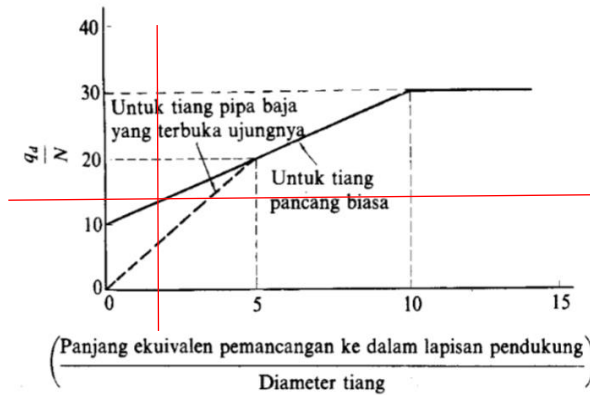
$$\bar{N}_2 = \frac{27 + 26}{2} = 26,5$$

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} = \frac{26 + 26,5}{2} = 26,25$$

Panjang ekuivalen dari penetrasi (L) adalah 0,5 m, karena tiang merupakan tiang pancang biasa maka didapatkan

$$L/D = \frac{1,73}{0,6} = 2,89$$

Setelah didapatkan L/D dicari nilai q_d/N didapat dari diagram intensitas di bawah ini.



Gambar 8. 13 Menentukan nilai q_d/N

Dengan nilai $L/D = 2$, maka dari grafik pada Gambar 6.11 didapatkan nilai $q_d/N = 14$. Sehingga nilai q_d :

$$\begin{aligned}
 q_d &= 15,7 \times \bar{N} = 15,7 \times 26,25 = 414,5 \text{ ton/m}^2 \\
 R_p &= q_d \times A \\
 &= 414,5 \text{ ton/m}^2 \times \frac{\pi D^2}{4} \\
 &= 414,5 \text{ ton/m}^2 \times \frac{\pi (0,6 \text{ m})^2}{4} \\
 &= 117,12 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan kapasitas gesek maksimum dinding tiang yaitu harga rata-rata N dibagi lapisan-lapisan tanah didapat dari data tanah dan f_s yang sesuai dengan harga rata-rata N dapat diperoleh dengan melihat pada Tabel 6.2, Dari Tabel 6.4, l_i dan f_i dapat diketahui.

8.4.2.2 Gaya Gesek Dinding Tiang

Gaya gesek dinding tiang R_f dihitung di tiap lapisan, pada kedalaman 18 m R_f didapatkan :

$$R_f = U l_i \cdot f_s = 1,88 \times 1 \times 5,2 = 9,77 \text{ ton}$$

Sedangkan R_f total pada kedalaman 18 m didapatkan sebesar,

$$\sum R_f = 223,18 \text{ ton}$$

8.4.2.3 Kapasitas Daya Dukung Tiang

Daya Dukung Ultimate (R_u) :

$$\begin{aligned} R_u &= q_d \cdot A + U \sum l_i \cdot f_i \\ &= 117,12 \text{ ton} + 223,18 \text{ ton} \\ &= 340,3 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya Dukung yang diijinkan (R_a) :

$$R_a = \frac{R_u}{n} = \frac{340,3}{2} = 170,148 \text{ ton}$$

Daya Cabut yang diijinkan (R_{cabut}) :

$$R_{cabut} = \frac{R_f}{n_{cabut}} = \frac{223,18}{4} = 55,795 \text{ ton}$$

Dari perhitungan di atas dibuat tabel hasil rekap daya dukung di setiap kedalaman seperti pada Tabel 8.7.

Tabel 8. 7 Daya dukung tanah pada setiap kedalaman

Lapisan ke- (m)	Tebal lapisan (h) (m)	Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	Tipe	Nilai N-SPT	E _s	k	β	H	EH	4D	L (m)	L/D	q _d /N (grafik)	q _d /N _{fix}	N2 (4D dari dasar)	N (N1+N2)	q _d (ton/m ²)	R _p (ton)	f _i (t/m ²)	R _f	R _u Pemancangan	Qallow SF3 (ton/Ra)	Qallow SF2 (ton/Ra)	Qallow SF4 (ton/gaya tarik/fin)	Cek (SF=3)	Cek (SF=2)	Cek (Qu)
1	1	0-1	Lempung berlanau	C	17.0	476.0	160.1	0.9	2.2	2.2	2.0	1.7	3.5	16.9	16.9	17.5	17.3	292.0	57.4	12.0	6.0	63.4	21.1	31.7	15.8	OK	OK	OK
2	4	2-4	Lempung berlanau, berpasir, berkerikil	C	18.0	504.0	169.5	0.9	2.3	4.5	2.0	1.7	3.5	16.9	16.9	17.5	17.8	300.5	59.0	12.0	12.0	71.0	23.7	35.5	17.8	OK	OK	OK
3	4	2-5	Lempung berlanau, berpasir, berkerikil	C	15.0	420.0	141.3	0.9	2.0	6.5	2.0	5.2	10.4	30.8	30.0	16.5	15.8	472.5	92.8	12.0	18.0	110.8	36.9	55.4	27.7	OK	OK	OK
4	4	2-6	Lempung berlanau, berpasir, berkerikil	C	12.0	336.0	113.0	0.8	1.7	8.2	2.0	5.2	10.4	30.8	30.0	13.5	12.8	382.5	75.1	12.0	24.0	99.1	33.0	49.6	24.8	OK	OK	OK
5	4	4-8	Lempung, berpasir berlanau	C	9.0	252.0	84.8	0.8	1.4	9.6	2.0	5.2	10.4	30.8	30.0	10.5	9.8	292.5	57.5	9.0	28.5	86.0	28.7	43.0	21.5	OK	OK	OK
6	4	4-8	Lempung, berpasir berlanau	C	11.0	308.0	103.6	0.8	1.6	11.2	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	10.0	10.5	250.5	49.2	11.0	34.0	83.2	27.7	41.6	20.8	OK	OK	OK
7	4	4-8	Lempung, berpasir berlanau	C	12.0	336.0	113.0	0.8	1.7	12.9	2.0	1.7	3.5	16.9	16.9	11.5	11.8	198.9	39.1	12.0	40.0	79.1	26.4	39.5	19.8	OK	OK	OK
8	4	4-8	Lempung, berpasir berlanau	C	13.0	364.0	122.4	0.8	1.8	14.7	2.0	1.7	3.5	16.9	16.9	12.5	12.8	215.8	42.4	12.0	46.0	88.4	29.5	44.2	22.1	OK	OK	OK
9	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	19.0	532.0	178.9	0.9	2.4	17.1	2.0	10.4	20.8	51.6	30.0	16.0	17.5	525.0	103.1	3.8	49.8	152.9	51.0	76.5	38.2	OK	OK	OK
10	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	31.0	868.0	292.0	1.1	3.5	20.6	2.0	20.8	41.6	93.1	30.0	25.0	28.0	840.0	165.0	6.2	56.0	221.0	73.7	110.5	55.3	OK	OK	OK
11	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	29.0	812.0	273.1	1.0	3.3	23.9	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	28.0	28.5	679.9	133.6	5.8	61.8	195.4	65.1	97.7	48.8	OK	OK	OK
12	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	27.0	756.0	254.3	1.0	3.1	27.1	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	28.0	27.5	656.1	128.9	5.4	67.2	196.1	65.4	98.0	49.0	OK	OK	OK
13	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	26.0	728.0	244.9	1.0	3.0	30.1	2.0	1.7	3.5	16.9	16.9	26.5	26.3	444.4	87.3	5.2	72.4	159.7	53.2	79.8	39.9	OK	OK	OK
14	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	29.0	812.0	273.1	1.0	3.3	33.4	2.0	5.2	10.4	30.8	30.0	27.5	28.3	847.5	166.5	5.8	78.2	244.7	81.6	122.3	61.2	OK	OK	OK
15	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	51.0	1428.0	480.3	1.2	5.0	38.5	2.0	38.1	76.2	162.4	30.0	40.0	40.0	1200.0	235.7	10.0	88.2	322.9	108.0	162.0	81.0	OK	OK	OK
16	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	42.0	1176.0	395.6	1.1	4.4	42.8	2.0	15.6	31.2	72.4	30.0	46.5	40.0	1200.0	235.7	8.4	96.6	332.3	110.8	166.2	83.1	OK	OK	OK
17	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	39.0	1092.0	367.3	1.1	4.1	46.9	2.0	5.2	10.4	30.8	30.0	40.5	39.8	1192.5	234.2	7.8	104.4	338.6	112.9	169.3	84.7	OK	OK	OK
18	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	29.0	812.0	273.1	1.0	3.3	50.3	2.0	17.3	34.6	79.3	30.0	34.0	31.5	945.0	185.6	5.8	110.2	295.8	98.6	147.9	74.0	OK	OK	OK
19	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	35.0	980.0	329.6	1.1	3.8	54.1	2.0	10.4	20.8	51.6	30.0	32.0	33.5	1005.0	197.4	7.0	117.2	314.6	104.9	157.3	78.7	OK	OK	OK
20	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	44.0	1232.0	414.4	1.1	4.5	58.6	2.0	15.6	31.2	72.4	30.0	39.5	40.0	1200.0	235.7	8.8	126.0	361.7	120.6	180.9	90.4	OK	OK	OK
21	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	46.0	1288.0	433.2	1.2	4.7	63.2	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	45.0	40.0	954.3	187.4	9.2	135.2	322.6	107.5	161.3	80.7	OK	OK	OK
22	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	48.0	1344.0	452.1	1.2	4.8	68.1	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	47.0	40.0	954.3	187.4	9.6	144.8	332.2	110.7	166.1	83.1	OK	OK	OK
23	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	50.0	1400.0	470.9	1.2	5.0	73.0	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	49.0	40.0	954.3	187.4	10.0	154.8	342.2	114.1	171.1	85.6	OK	OK	OK
24	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	52.0	1456.0	489.7	1.2	5.1	78.2	2.0	3.5	6.9	23.9	23.9	51.0	40.0	954.3	187.4	10.0	164.8	352.2	117.4	176.1	88.1	OK	OK	OK
25	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	60.0	1680.0	565.1	1.2	5.7	83.9	2.0	13.9	27.7	65.4	30.0	56.0	40.0	1200.0	235.7	10.0	174.8	410.5	136.8	205.3	102.6	OK	OK	NOK
26	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	60.0	1680.0	565.1	1.2	5.7	89.6	2.0	0.0	0.0	10.0	10.0	60.0	40.0	400.0	78.6	10.0	184.8	263.4	87.8	131.7	65.8	OK	OK	OK
27	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	60.0	1680.0	565.1	1.2	5.7	95.3	2.0	0.0	0.0	10.0	10.0	60.0	40.0	400.0	78.6	10.0	194.8	273.4	91.1	136.7	68.3	OK	OK	OK
28	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	60.0	1680.0	565.1	1.2	5.7	101.0	2.0	0.0	0.0	10.0	10.0	60.0	40.0	400.0	78.6	10.0	204.8	284.4	94.5	141.7	70.8	OK	OK	OK
29	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	60.0	1680.0	565.1	1.2	5.7	106.7	2.0	0.0	0.0	10.0	10.0	60.0	40.0	400.0	78.6	10.0	214.8	293.4	97.8	146.7	73.3	OK	OK	OK
30	21	9-30	Pasir berkerikil berlanau	S	60.0	1680.0	565.1	1.2	5.7	112.4	2.0	0.0	0.0	10.0	10.0	60.0	40.0	400.0	78.6	10.0	224.8	303.4	101.1	151.7	75.8	OK	OK	OK

8.4.3 Perencanaan Tipe Pondasi

Tipe pondasi ditentukan berdasarkan gaya aksial yang terjadi dan kapasitas daya dukung yang dimiliki. Berikut tipe pondasi berdasarkan gaya yang bekerja.

Tabel 8. 8 Perencanaan Tipe Pondasi

Tipe	b (mm)	h (mm)	Tinggi (mm)	Kedalaman Tiang (m)	Jumlah Tiang	Diameter (mm)
P1	2500	2500	1000	20	4	500
P2	1600	3100	1000	20	2	500

8.4.4 Pondasi (P1)

8.4.4.1 Data Perencanaan

Diameter pile rencana (D)	: 0,50 m
Kedalaman Rencana	: 20 m
Daya dukung ultimate (R_u)	: 361,7 ton (Tabel 8.7)
Daya dukung ijin tiang SF2 (R_a)	: 180,9 ton (Tabel 8.7)
Daya dukung ijin tiang SF3 (R_a)	: 120,6 ton (Tabel 8.7)
Daya cabut ijin tiang (R_{cabut})	: 90,4 ton (Tabel 8.7)
P ijin tiang bahan	: 363,4 ton (Brosur Tiang
Pancang WIKA BETON terlampir)	

8.4.4.2 Kebutuhan Jumlah Tiang

Dipakai 4 tiang pancang dalam 1 pile cap, dengan 2 tiang di bagian baris dan 2 tiang di bagian kolom.

8.4.4.3 Cek Kemampuan Bahan (Pile)

Dipakai tiang pancang dengan diameter 50 cm kelas A2 dengan kedalaman 20 m.

Tabel 8. 9 Brosur tiang pancang WIKA BETON

Classification								
Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length L (m)	Bending Crack (Ton.m)	Moment Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2,50	3,75	72,60
		A3				3,00	4,50	70,75
		B				3,50	6,30	67,50
		C				4,00	8,00	65,40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3,50	5,25	93,10
		A3				4,20	6,30	89,50
		B				5,00	9,00	86,40
		C				6,00	12,00	85,00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5,50	8,25	121,10
		A3				6,50	9,75	117,60
		B				7,50	13,50	114,40
		C				9,00	18,00	111,50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7,50	11,25	149,50
		A2				8,50	12,75	145,80
		A3				10,00	15,00	143,80
		B				11,00	19,80	139,10
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10,50	15,75	185,30
		A2				12,50	18,75	181,70
		A3				14,00	21,00	178,20
		B				15,00	27,00	174,90
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17,00	25,50	252,70
		A2				19,00	28,50	249,00
		A3				22,00	33,00	243,20
		B				25,00	45,00	238,30
800	120	A1	2564	641	6 - 24	29,00	58,00	229,50
		A2				40,70	63,60	415,00
		A3				46,20	84,40	408,20
		B				51,00	97,80	398,20
1000	140	A1	3782	946	6 - 24	55,70	108,20	390,80
		A2				70,60	129,80	367,60
		A3				82,30	139,80	604,80
		B				93,30	170,90	590,60
C	105,70	199,70	575,00					
	123,60	229,90	552,90					

$$P_{ijin \text{ tiang}} > R_a \text{ tanah}$$

$$363,4 \text{ ton} > 361,7 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

8.4.4.4 Perencanaan Pile Cap

Data Perencanaan :

b/h kolom : 1200/1200 mm

D tiang : 500 mm

Perencanaan Dimensi Poer :

Pada perhitungan jarak antar tiang pancang (S) menurut Principles of Foundation Engineering VII sebagai berikut :

Jarak antar tiang pancang (S)

$$2D \leq S \leq 3D$$

$$100 \text{ cm} \leq S \leq 150 \text{ cm}$$

Dipakai $S = 150 \text{ cm}$

Perhitungan jarak tiang ke tepi poer (S')

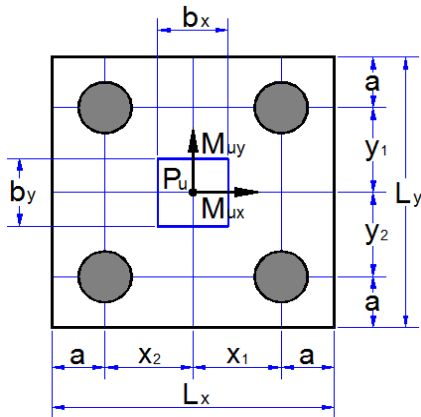
$$1D \leq S' \leq 2D$$

$$50 \text{ cm} \leq S' \leq 100 \text{ cm}$$

Jadi dipakai $S' = 50 \text{ cm}$

Untuk tinggi poer direncanakan setebal $100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$

Maka didapat dimensi pile cap :



Gambar 8. 14 Perencanaan Dimensi Pilecap

$$b_x = 1200 \text{ mm}$$

$$b_y = 1200 \text{ mm}$$

$$X_1 = X_2 = 750 \text{ mm}$$

$$a = 500 \text{ mm}$$

$$L_x = L_y = 2500 \text{ mm}$$

8.4.4.5 Gaya yang terjadi pada Pondasi

Dari program bantu SAP 2000, diketahui gaya – gaya yang terjadi pada joint 142 sebagai berikut.

Tabel 8. 10 Output Gaya Dalam Pondasi Joint 142

Kombinasi	Gaya Dalam				
	P	Vx	Vy	Mx	My
	(ton)	(ton)	(ton)	(ton.m)	(ton.m)
1D + 1L	494,23	0,02	0,05	8,67	45,38
1D + DX + 0.3DY + L	556,54	18,14	8,69	26,14	51,7
1D + DY + 0.3DX + L	569,05	7,84	18,72	14,18	59,72
Maksimum	569,05	18,14	18,72	26,14	59,72

Menghitung momen akibat pengaruh gaya geser :

$$\sum Mx = Mx + (Vy \times d)$$

$$\sum My = My + (Vx \times d)$$

➤ 1D + 1L

$$\sum Mx = 8,67 + (0,05 \times 1) = 8,73 \text{ ton.m}$$

$$\sum My = 45,38 + (0,02 \times 1) = 45,39 \text{ ton.m}$$

➤ 1D + DX + 0.3DY + L

$$\sum Mx = 26,14 + (8,69 \times 1) = 34,82 \text{ ton.m}$$

$$\sum My = 51,7 + (18,14 \times 1) = 69,84 \text{ ton.m}$$

➤ 1D + DY + 0.3DX + L

$$\sum Mx = 14,18 + (18,72 \times 1) = 32,91 \text{ on.m}$$

$$\sum My = 59,73 + (7,84 \times 1) = 67,57 \text{ ton.m}$$

8.4.4.6 Efisiensi Daya Dukung Tiang Pancang Grup

Gaya yang terjadi pada pondasi tiang pancang grup tidak dapat menerima gaya aksial secara 100%. Sehingga dihitung besaran efisiensi daya dukung pada tiang grup sebagai berikut.

Metode Converse-Labarre :

$$\eta = 1 - \left\{ \operatorname{arctg} \left(\frac{D}{S} \right) \left(\frac{(m-1) \cdot n + (n-1) \cdot m}{90 \cdot m \cdot n} \right) \right\}$$

(Principles of Foundation Engineering VII Table 11.17)

Dimana :

Diameter tiang pancang (D) = 0,5 m

Jarak antar tiang pancang (S) = 1,50 m

Jumlah baris tiang dalam grup (m) = 2

Jumlah kolom tiang dalam grup (n) = 2

Sehingga,

$$\eta = 1 - \left\{ \operatorname{arctg} \left(\frac{0,5}{1,50} \right) \left(\frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right) \right\} = 0,99$$

$$P_{ijin_{grup}} = \eta \times P_{ijin_{gempa}}$$

$$= 0,99 \times 181,7$$

$$= 179,11 \text{ ton}$$

$$P_{ijin_{grup}} = P_{ijin} \times n$$

$$= 179,11 \times 4$$

$$= 716,47 \text{ ton}$$

Kontrol :

$$P_{ijin_{grup}} > P_{maks}$$

$$716,47 \text{ ton} > 569,05 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

8.4.4.7 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Grup

$$P_{max} = \frac{P + w_{poer}}{n} \pm \frac{M_y x_{max}}{x_i^2} \pm \frac{M_x y_{max}}{y_i^2}$$

➤ 1D + 1L

$$P_{max} = \frac{494,23}{4} + \frac{45,4 \times 0,75}{2,25} + \frac{8,7 \times 0,75}{2,25} = 141,60 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{494,23}{4} - \frac{45,4 \times 0,75}{2,25} - \frac{8,7 \times 0,75}{2,25} = 105,52 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{494,23}{4} + \frac{45,4 \times 0,75}{2,25} - \frac{8,7 \times 0,75}{2,25} = 135,78 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{494,23}{4} - \frac{45,4 \times 0,75}{2,25} + \frac{8,7 \times 0,75}{2,25} = 111,33 \text{ ton}$$

➤ 1D + DX + 0.3DY + L

$$P_{max} = \frac{556,54}{4} + \frac{69,84 \times 0,75}{2,25} + \frac{34,82 \times 0,75}{2,25} = 174,02 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{556,54}{4} - \frac{69,84 \times 0,75}{2,25} - \frac{34,82 \times 0,75}{2,25} = 104,25 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{556,54}{4} + \frac{69,84 \times 0,75}{2,25} - \frac{34,82 \times 0,75}{2,25} = 150,81 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{556,54}{4} - \frac{69,84 \times 0,75}{2,25} + \frac{34,82 \times 0,75}{2,25} = 127,46 \text{ ton}$$

➤ 1D + DY + 0.3DX + L

$$P_{max} = \frac{569,05}{4} + \frac{67,57 \times 0,75}{2,25} + \frac{32,91 \times 0,75}{2,25} = 175,75 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{569,05}{4} - \frac{67,57 \times 0,75}{2,25} - \frac{32,91 \times 0,75}{2,25} = 108,77 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{569,05}{4} + \frac{67,57 \times 0,75}{2,25} - \frac{32,91 \times 0,75}{2,25} = 153,82 \text{ ton}$$

$$P_{max} = \frac{569,05}{4} - \frac{67,57 \times 0,75}{2,25} + \frac{32,91 \times 0,75}{2,25} = 130,71 \text{ ton}$$

8.4.4.8 Perhitungan Satu Arah pada Poer akibat Kolom

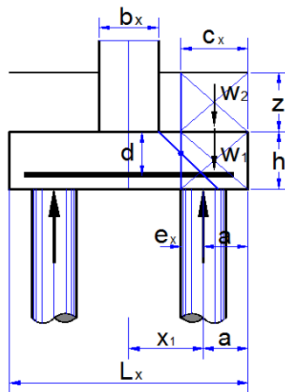
Geser satu arah dihitung untuk mengetahui apakah tebal pile cap cukup kuat untuk menahan geser yang terjadi.

Beban yang dipakai pada perhitungan geser satu arah ini digunakan kombinasi ultimate karena perhitungan geser menggunakan rumus ultimate :

$$P_u = 569,05 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \frac{P_u}{b \cdot h} = \frac{569,05 \text{ ton}}{2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}} \\ &= 91,05 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

a) Geser Satu Arah (Arah X)



Gambar 8. 15 Skema Geser Satu Arah (arah x)

$$\begin{aligned} dx &= d - t - D - \frac{D}{2} \\ dx &= 1000 - 75 - \frac{22}{2} \\ dx &= 914 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} lx &= (0,5 \times b_{poer}) - (0,5 \times b_{kolom}) - d \\ lx &= (0,5 \times 2500) - (0,5 \times 1200) - 914 \\ lx &= -264 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = \sigma_u \times b \times l_x$$

$$V_u = 0,91 \times 2500 \times -264$$

$$V_u = -600913,32 \text{ N}$$

❖ **Kapasitas Geser Pile Cap**

Gaya geser yang mampu dipikul beton, V_c (arah x)

$$V_c = 0.17\sqrt{f_c'} b d$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30 \text{ MPa}} \times 2500 \text{ mm} \times 914 \text{ mm}$$

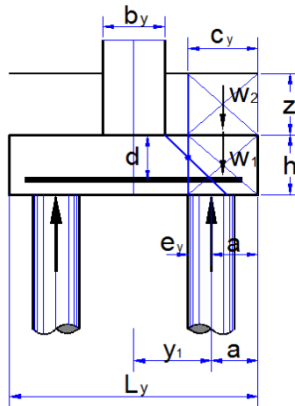
$$= 2127628 \text{ N}$$

Cek kuat geser satu arah x :

$$V_{u_x} < V_c$$

$$600913 \text{ N} < 2127628 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

b) Geser Satu Arah (Arah Y)



Gambar 8. 16 Skema Geser Satu Arah (Arah Y)

$$d_y = d - t - D - \frac{D}{2}$$

$$d_y = 1000 - 75 - 22 - \frac{22}{2}$$

$$d_y = 892 \text{ mm}$$

$$l_y = (0,5 \times b_{poer}) - (0,5 \times b_{kolom}) - d$$

$$ly = (0,5 \times 2500) - (0,5 \times 1200) - 892$$

$$ly = -242 \text{ mm}$$

$$Vu = \sigma_u \times b \times ly$$

$$Vu = 0,91 \times 2500 \times -242$$

$$Vu = -550837,21 \text{ N}$$

❖ **Kapasitas Geser Pile Cap**

Gaya geser yang mampu dipikul beton, V_c (arah x)

$$V_c = 0.17\sqrt{f_c'}b d$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30 \text{ MPa}} \times 2500 \text{ mm} \times 892 \text{ mm} \\ = 928602 \text{ N}$$

Cek kuat geser satu arah x :

$$Vu_y < V_c$$

$$550837,21 \text{ N} < 928602 \text{ N (OK)}$$

8.4.4.9 Pemeriksaan Geser Dua Arah pada Poer Akibat Kolom

Menghitung gaya geser dua arah pada poer :

$$At = (b_{poer} \times h_{poer}) - (b_{kolom} + d) \times (h_{kolom} + d)$$

$$At = (2500 \times 2500) - (1200 + 914) \times (1200 + 892)$$

$$At = 1827512 \text{ mm}^2$$

$$Vu = \sigma_u \times At$$

$$Vu = 0,91 \times 1827512$$

$$Vu = 1663903,48 \text{ N}$$

$$At = (b_{poer} \times h_{poer}) - (n \times A_{tiang})$$

$$At = (2500 \times 2500) - (4 \times 19642,9)$$

$$At = 6171428,57 \text{ mm}^2$$

$$Vu = \sigma_u \times At$$

$$Vu = 0,91 \times 6171428,57$$

$$Vu = 5618929,70 \text{ N}$$

Maka diambil nilai V_u terbesar yaitu 5618929,70 N.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1(a),(b) dan (c), untuk persamaan pelat/pondasi telapak aksi dua arah, nilai V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil:

$$1. \quad V_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f_c} \times b_o \times d \times \lambda$$

Dimana :

β : rasio dari sisi panjang kolom terhadap sisi pendek kolom

b_o : keliling dari penampang kritis

$$\beta = \frac{1200}{1200} = 1$$

$$b_{o_x} = 2 \times (b_{kolom} + h_{kolom}) + 4d$$

$$b_{o_x} = 2 \times (1200 + 1200) + 4 \times 914$$

$$b_{o_x} = 8456 \text{ mm}$$

$$b_{o_y} = 2 \times (b_{kolom} + h_{kolom}) + 4d$$

$$b_{o_y} = 2 \times (1200 + 1200) + 4 \times 892$$

$$b_{o_y} = 8368 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

$$V_{c_x} = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{1} \right) \sqrt{30} \times 8456 \times 914 \times 1$$

$$V_{c_x} = 21166147 \text{ N}$$

$$V_{c_y} = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{1} \right) \sqrt{30} \times 8368 \times 892 \times 1$$

$$V_{c_y} = 20441707 \text{ N}$$

$$2. \quad V_c = 0,083 \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f_c} \times b_o \times d \times \lambda$$

$$V_{c_x} = 0,083 \left(\frac{40 \times 914}{8456} + 2 \right) \sqrt{30} \times 8456 \times 914 \times 1$$

$$V_{c_x} = 22218326,46 \text{ N}$$

$$V_{c_y} = 0,083 \left(\frac{40 \times 892}{8368} + 2 \right) \sqrt{30} \times 8368 \times 892 \times 1$$

$$V_{c_y} = 21255310,32 \text{ N}$$

$$3. \quad V_c = 0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \times \lambda$$

$$V_{c_x} = 0,33 \times \sqrt{30} \times 8456 \times 914 \times 1$$

$$V_{c_x} = 13969656,82 \text{ N}$$

$$V_{c_x} = 0,33 \times \sqrt{30} \times 8368 \times 892 \times 1$$

$$V_{c_x} = 13491526,57 \text{ N}$$

Maka dipakai nilai V_c yang terkecil yaitu $13491530 \text{ N} = 13491,53 \text{ kN}$.

Kontrol :

$$V_u < V_c$$

$$5618,93 \text{ kN} < 13491,53 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

8.4.4.10 Perencanaan Tulangan Lentur

Pada perencanaan tulangan lentur poer, poer diasumsikan sebagai balok kantilever sengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

Diketahui :

$$b_{\text{poer}} = 2500 \text{ mm}$$

$$h_{\text{poer}} = 2500 \text{ mm}$$

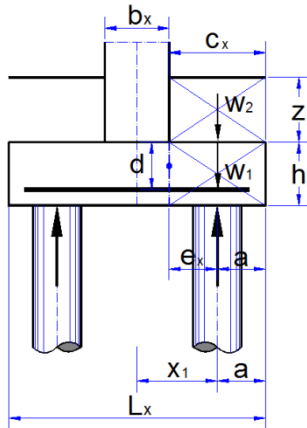
$$t_{\text{poer}} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut} = 75 \text{ mm}$$

$$D \text{ tul. lentur} = 22 \text{ mm}$$

$$D \text{ tul. susut} = 16 \text{ mm}$$

❖ Penulangan Poer arah x



Gambar 8. 17 Skema Penulangan Pilecap (Arah X)

b_1 = jarak dari ujung poer ke tepi kolom

$$b_1 = b_{poer} - \frac{b_{poer}}{2} - \frac{h_{kolom}}{2} = 0,65 \text{ m}$$

b_2 = jarak dari as tiang ke tepi kolom

$$b_2 = b_1 - s' = 0,65 - 0,5 = 0,15 \text{ m}$$

Berat pile cap pada daerah yang ditinjau :

$$q_u = b_1 \times b_{poer} \times h_{poer} \times 2400$$

$$q_u = 0,65 \times 2,5 \times 1 \times 2400$$

$$q_u = 3900 \text{ kg}$$

Gaya maksimum pada satu tiang pancang :

$$P_u = 175,75 \text{ ton} = 175754 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer :

$$M_u = 25,54 \text{ kg.m} = 255392433 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{255392433}{0,9} = 283769369 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,69$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{283769369 \text{ Nmm}}{0,8 \times 2500 \times 914^2} = 0,17 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,17}{400}} \right) = 0,0004$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = 0,0034$

Maka luas tulangan perlu:

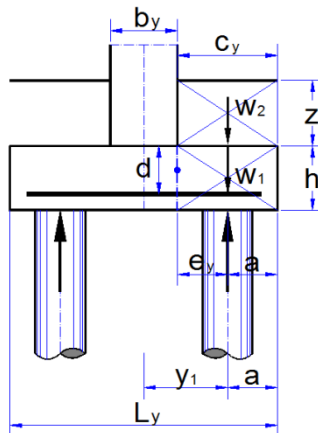
$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0034 \times 2500 \times 914 = 7822 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan:

$$\mathbf{D22-100} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 9507,14 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

❖ Penulangan Pilecap arah y



Gambar 8. 18 Skema Penulangan Pilecap (Arah Y)

$b_1 = \text{jarak dari ujung poer ke tepi kolom}$

$$b_1 = b_{poer} - \frac{b_{poer}}{2} - \frac{h_{kolom}}{2} = 0,65 \text{ m}$$

$b_2 = \text{jarak dari as tiang ke tepi kolom}$

$$b_2 = b_1 - s' = 0,65 - 0,5 = 0,15 \text{ m}$$

Berat pile cap pada daerah yang ditinjau :

$$q_u = b_1 \times b_{poer} \times h_{poer} \times 2400$$

$$q_u = 0,65 \times 2,5 \times 1 \times 2400$$

$$q_u = 3900 \text{ kg}$$

Gaya maksimum pada satu tiang pancang :

$$P_u = 175,75 \text{ ton} = 175754 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer :

$$M_u = 25,54 \text{ kg.m} = 255392433 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{255392433}{0,9} = 283769369 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,69$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times dy^2} = \frac{283769369 \text{ Nmm}}{0,8 \times 2500 \times 892^2} = 0,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,024$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,18}{400}} \right) = 0,0004$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = 0,0034$

Maka luas tulangan perlu:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0034 \times 2500 \times 892 = 7634 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan:

$$\mathbf{D22-100} \rightarrow A_{S_{\text{pakai}}} = 9507,14 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

❖ **Tulangan Susut (Atas)**

Tulangan pada posisi atas pondasi ditulangi dengan tulangan susut atau suhu.

Digunakan tulangan ulir dengan $f_y = 420$ Mpa, sehingga nilai $\rho = 0,0018$.

As susut = $\rho \cdot b \cdot h$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 1000 = 1800 \text{ mm}^2$$

(SNI 2847:2013 ps. 7.12.12.1)

Tulangan yang digunakan:

D16-100 → $A_{S_{pakai}} = 2010,6 \text{ mm}^2$ (OK)

8.4.4.11 Rekapitulasi Perhitungan Poer

Tabel 8. 11 Rekapitulasi Tulangan Poer P1

Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y	Tulangan Susut
D22-100	D22-100	D16-100

8.4.5 Kontrol Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Gaya Horisontal

Gaya penahan mendatar pada tiang pancang ditentukan dengan daya dukung yang diizinkan berdasarkan tegangan di dalam tubuh tiang dan pergeseran pada kepala tiang pancang. Pada cara ini tiang dihitung sebagai suatu gekagar di atas pondasi yang elastis yang dinyatakan dengan tegangan pada tubuh tiang, besarnya pergeseran tanah dan koefisien reaksi lapisan tanah dalam arah yang tegak lurus dengannya. Berikut perhitungan daya dukung tiang pancang terhadap gaya horisontal :

$$H_a = \frac{k \times D}{\beta} \times \delta_a$$

(*Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Nakazawa*)

Dimana :

H_a : Daya dukung mendatar yang diizinkan

k : Koefisien reaksi lapisan tanah di bawah permukaan dalam arah vertikal

D : Diameter tiang pancang

EI : Kekakuan lentur dari tiang

δ_a : Besarnya pergeseran normal

Perhitungan daya dukung mendatar tiang pancang pada kedalaman 20 m :

\emptyset_{luar} : 50 cm

\emptyset_{dalam} : 32 cm

δ_a gempa : 2,5 cm

$$E = 4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{50} = 117500 \text{ MPa} = 11750 \text{ ton/m}^2$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (\emptyset_{luar}^4 - \emptyset_{dalam}^4)$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (50^4 - 32^4)$$

$$I = 255324 \text{ cm}^4 = 0,00255 \text{ m}^4$$

$$EI = 11750 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 0,00255 \text{ m}^4 = 30,001 \text{ ton. m}^2$$

$$E_o = 28 \times N \text{ SPT} = 28 \times 44 = 1232$$

$$k = 0,2 \times E_o \times D^{-0,75} = 0,2 \times 1232 \times 0,5^{-0,75} = 414,4 \text{ ton/m}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k \times D}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{414,4 \times 0,5}{4 \times 30,001}} = 1,1 \text{ m}^{-1}$$

$$H_a = \frac{k \times D}{\beta} \times \delta_a$$

$$H_a = \frac{414,4 \times 0,5}{1,1} \times 2,5$$

$$H_a = 4,52 \text{ ton}$$

Tabel 8. 12 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Gaya Horizontal

Kedalaman (m)	Nilai N- SPT	Eo	k (ton/m ³)	β (m ⁻¹)	H (ton)	ΣH (ton)
1	17	476	160.11	0.90	2.21	2.21
2	18	504	169.52	0.92	2.31	4.53
3	15	420	141.27	0.88	2.02	6.54
4	12	336	113.02	0.83	1.71	8.25
5	9	252	84.76	0.77	1.37	9.62
6	11	308	103.60	0.81	1.60	11.22
7	12	336	113.02	0.83	1.71	12.92
8	13	364	122.43	0.85	1.81	14.74
9	19	532	178.94	0.93	2.41	17.14
10	31	868	291.96	1.05	3.48	20.62
11	29	812	273.12	1.03	3.31	23.92
12	27	756	254.29	1.01	3.13	27.06
13	26	728	244.87	1.01	3.05	30.10
14	29	812	273.12	1.03	3.31	33.41
15	51	1428	480.32	1.19	5.05	38.46
16	42	1176	395.56	1.13	4.36	42.82
17	39	1092	367.30	1.11	4.13	46.95
18	29	812	273.12	1.03	3.31	50.25
19	35	980	329.63	1.08	3.81	54.06
20	44	1232	414.39	1.15	4.52	58.58

Berdasarkan tabel 8.12, daya dukung tiang pancang terhadap gaya horizontal pada kedalaman 20 m sebesar 58,58 ton. Gaya horizontal maksimal pada struktur bangunan sebesar 18,7 ton. Maka dapat disimpulkan bahwa tiang pancang mampu menahan beban horizontal pada kedalaman 10 m.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB 9

ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR FIXED BASED DENGAN STRUKTUR HDRB

Penggunaan sistem isolasi dasar berupa HDRB dapat mengurangi beban gempa yang diterima oleh gedung sehingga akan berkaitan dengan kapasitas masing – masing elemen struktur. Dari hasil analisis perencanaan struktur menggunakan HDRB, terdapat reduksi gaya dalam sehingga kebutuhan tulangan pada elemen struktur semakin berkurang. Berikut merupakan rekapitulasi reduksi gaya dalam serta kebutuhan tulangan pada setiap elemen.

9.1 Rekapitulasi Gaya Dalam Elemen Struktur

Tabel 9. 1 Rekapitulasi Gaya Aksial Elemen

No	Elemen	Dimensi		Gaya Aksial		Reduksi (%)
		h (mm)	b (mm)	Eksisting (kN)	HDRB (kN)	
1	Balok (B1)	800	400	462.70	169.83	63.30
2	Balok (B2)	600	400	821.01	276.53	66.32
3	Balok (B3)	400	300	736.69	230.76	68.68
4	Balok (B4)	300	200	11.00	9.89	10.13
5	Balok (BK1)	800	300	22.91	16.29	28.90
6	Balok (BK2)	600	300	63.71	24.08	62.20
7	Sloof (S1)	1000	500	114.25	33.10	71.03
8	Sloof (S2)	300	150	46.42	2.73	94.12
9	Kolom (K1)	700	900	8430.92	5461.52	35.22
Rata-Rata Reduksi Gaya Aksial						55.5

Tabel 9. 2 Rekapitulasi Gaya Geser Elemen

No	Elemen	Dimensi		Gaya Geser		Reduksi (%)
		h (mm)	b (mm)	Eksisting (kN)	HDRB (kN)	
1	Balok (B1)	800	400	722.56	289.320	59.96
2	Balok (B2)	600	400	834	301.118	63.89
3	Balok (B3)	400	300	58.32	65.762	-12.76
4	Balok (B4)	300	200	23.81	15.354	35.51
5	Balok (BK1)	800	300	87.62	86.774	0.97
6	Balok (BK2)	600	300	58.54	58.59	-0.09
7	Sloof (S1)	1000	500	413.54	352.769	14.70
8	Sloof (S2)	300	150	18.63	3.564	80.87
9	Kolom (K1)	700	900	473.77	150.354	68.26
Rata-Rata Reduksi Gaya Geser						34.6

Tabel 9. 3 Rekapitulasi Gaya Torsi Elemen

No	Elemen	Dimensi		Gaya Torsi		Reduksi (%)
		h (mm)	b (mm)	Eksisting (kN)	HDRB (kN)	
1	Balok (B1)	800	400	135.14	60.217	55.44
2	Balok (B2)	600	400	189.37	67.764	64.22
3	Balok (B3)	400	300	11.87	14.168	-19.36
4	Balok (B4)	300	200	8.29	2.65	68.03
5	Balok (BK1)	800	300	51.45	22.407	56.45
6	Balok (BK2)	600	300	28.6	10.821	62.16
7	Sloof (S1)	1000	500	61.53	113.69	-84.77
8	Sloof (S2)	300	150	1.11	0.149	86.58
9	Kolom (K1)	700	900	11.05	15.169	-37.28
Rata-Rata Reduksi Gaya Torsi						27.9

Tabel 9. 4 Rekapitulasi Momen Elemen

No	Elemen	Dimensi		Momen		Reduksi (%)
		h (mm)	b (mm)	Eksisting (kN)	HDRB (kN)	
1	Balok (B1)	800	400	1384.84	596.33	56.94
2	Balok (B2)	600	400	958.60	389.98	59.32
3	Balok (B3)	400	300	106.10	71.83	32.30
4	Balok (B4)	300	200	32.78	16.69	49.07
5	Balok (BK1)	800	300	166.93	167.06	-0.08
6	Balok (BK2)	600	300	85.36	85.39	-0.03
7	Sloof (S1)	1000	500	723.37	615.19	14.96
8	Sloof (S2)	300	150	18.90	5.39	71.47
9	Kolom (K1)	700	900	1339.79	321.30	76.02
Rata-Rata Reduksi Momen						40.0

9.2 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Struktur

9.2.1 Elemen Balok

Tabel 9. 5 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Balok

PERHITUNGAN TULANGAN LENTUR										
Balok	Posisi	Jenis Tulangan	HDRB				Eksisting			
			n	Ø/D (mm)	Luas (mm ²)	n	Ø/D (mm)	Luas (mm ²)		
B1	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	10	D	19	2836.4	12	D	25	5890.5
		Tul. Tekan	5	D	19	1418.2	7	D	25	3436.1
	Lapangan	Tul. Tarik	5	D	19	1418.2	7	D	25	3436.1
		Tul. Tekan	2	D	19	567.3	9	D	25	4417.9
	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	10	D	19	2836.4	12	D	25	5890.5
		Tul. Tekan	5	D	19	1418.2	7	D	25	3436.1
B2	Tumpuan	Tul. Tarik	10	D	19	2836.4	7	D	25	3436.1

PERHITUNGAN TULANGAN LENTUR										
Balok	Posisi	Jenis Tulangan	HDRB				Eksisting			
			n	Ø/D (mm)		Luas (mm ²)	n	Ø/D (mm)		Luas (mm ²)
	Kanan	Tul. Tekan	4	D	19	1134.6	5	D	25	2454.4
		Lapangan	Tul. Tarik	4	D	19	1134.6	5	D	25
	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	2	D	19	567.3	7	D	25	3436.1
		Tul. Tarik	10	D	19	2836.4	7	D	25	3436.1
		Tul. Tekan	4	D	19	1134.6	5	D	25	2454.4
		Tul. Tarik	4	D	16	804.6	6	D	19	1701.2
B3	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	3	D	16	603.4	3	D	19	850.6
		Lapangan	Tul. Tarik	3	D	16	603.4	3	D	19
	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	2	D	16	402.3	5	D	19	1417.6
		Tul. Tarik	4	D	16	804.6	6	D	19	1701.2
		Tul. Tekan	3	D	16	603.4	3	D	19	850.6
		Tul. Tarik	4	D	12	452.6	3	D	12	339.3
B4	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	2	D	12	226.3	2	D	12	226.2
		Lapangan	Tul. Tarik	4	D	12	452.6	2	D	12
	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	2	D	12	226.3	3	D	12	339.3
		Tul. Tarik	4	D	12	452.6	3	D	12	339.3
		Tul. Tekan	2	D	12	226.3	2	D	12	226.2
		Tul. Tarik	4	D	19	1134.6	12	D	25	5890.5
BK1	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	4	D	19	567.3	7	D	25	3436.1
		Lapangan	Tul. Tarik	4	D	19	1134.6	7	D	25
	Tumpuan Kanan	Tul. Tekan	2	D	19	567.3	7	D	25	3436.1
		Tul. Tarik	4	D	19	1134.6	7	D	25	3436.1

PERHITUNGAN TULANGAN LENTUR										
Balok	Posisi	Jenis Tulangan	HDRB			Eksisting				
			n	Ø/D (mm)	Luas (mm ²)	n	Ø/D (mm)	Luas (mm ²)		
	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	4	D	19	1134.6	12	D	25	5890.5
		Tul. Tekan	4	D	19	567.3	7	D	25	3436.1
BK2	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	3	D	19	850.9	7	D	25	3436.1
		Tul. Tekan	3	D	19	567.3	5	D	25	2454.4
	Lapangan	Tul. Tarik	3	D	19	850.9	5	D	25	2454.4
		Tul. Tekan	2	D	19	567.3	5	D	25	2454.4
	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	3	D	19	850.9	7	D	25	3436.1
		Tul. Tekan	3	D	19	567.3	5	D	25	2454.4
S1	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	5	D	25	2455.36	5	D	25	2454.4
		Tul. Tekan	2	D	25	982.143	5	D	25	2454.4
	Lapangan	Tul. Tarik	5	D	25	2455.36	5	D	25	2454.4
		Tul. Tekan	2	D	25	982.143	5	D	25	2454.4
	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	5	D	25	2455.36	5	D	25	2454.4
		Tul. Tekan	2	D	25	982.143	5	D	25	2454.4
S2	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	4	D	10	314.286	2	D	12	226.2
		Tul. Tekan	2	D	10	157.143	2	D	12	226.2
	Lapangan	Tul. Tarik	4	D	10	314.286	2	D	12	226.2
		Tul. Tekan	2	D	10	157.143	2	D	12	226.2
	Tumpuan Kanan	Tul. Tarik	4	D	10	314.286	2	D	12	226.2
		Tul. Tekan	2	D	10	157.143	2	D	12	226.2

Tabel 9. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Total Tulangan Lentur Balok

Nama Balok	Jumlah Elemen		Luas		Total Luas	
	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB
B1	300	330	26507.2	10494.8	7952156.4	3463279.3
B2	650	715	17671.5	9643.9	11486448	6895357.9
B3	700	770	7371.7	3821.7	5160223	2942720
B4	150	165	1696.5	2036.6	254469	336034.29
BK1	180	198	25525.4	5105.6	4594579.3	1010903.1
BK2	80	88	16689.7	4254.6	1335176.9	374408.57
S1	116	116	14726.2	10312.5	1708241	1196250
S2	2	2	1357.2	1414.2857	2714.3361	2828.5714
Total Luas Tulangan Lentur					30783053	15022703

Tabel 9. 7 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Torsi Balok

PERHITUNGAN TULANGAN TORSI BALOK								
Nama	Eksisting				HDRB			
	n	Ø/D		Luas (mm ²)	n	Ø/D		Luas (mm ²)
		(mm)				(mm)		
B1	4	D	16	804.2	6	D	13	796.7
B2	2	D	16	402.1	4	D	13	531.1
B3	2	D	12	226.2	4	D	12	452.6
B4					4	D	8	201.1
BK1	4	D	16	804.2	2	D	16	402.3
BK2	2	D	16	402.1	2	D	16	402.3
S1	4	D	19	1134.1	4	D	19	1134.6
S2					2	D	10	157.1

Tabel 9. 8 Rekapitulasi Kebutuhan Total Tulangan Torsi Balok

Nama Balok	Jumlah Elemen		Luas		Total Luas	
	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB
B1	300	330	804.2	796.7	241274.3	262915.7
B2	650	715	402.1	531.1	261380.5	379767.1
B3	700	770	226.2	452.6	158336.3	348480.0
B4	150	165	0.0	201.1	0.0	33188.6

Nama Balok	Jumlah Elemen		Luas		Total Luas	
	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB
BK1	180	198	804.2	402.3	144764.6	79652.6
BK2	80	88	402.1	402.3	32169.9	35401.1
S1	116	116	1134.1	1134.6	131557.3	131610.3
S2	2	2	0.0	157.1	0.0	314.3
Total Luas Tulangan Lentur					837926	1139405

Tabel 9. 9 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Balok Struktur Eksisting

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK EKSISTING								
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)
1	B1 (400 mm x 800 mm) l = 8 m							
	ln	7100						
	Tump. Kanan	1775	19	3	10	100	235.6	4417.9
	Lapangan	3550	25	3	10	150	235.6	5811.9
	Tump. Kiri	1775	19	3	10	100	235.6	4417.9
	B1 (400 mm x 800 mm) l = 4 m							
	ln	3100						
	Tump. Kanan	775	9	3	10	100	235.6	2061.7
	Lapangan	1550	11	3	10	150	235.6	2670.4
	Tump. Kiri	775	9	3	10	100	235.6	2061.7
2	B2 (400 mm x 600 mm) l = 5 m							
	ln	4300						
	Tump. Kanan	1075	12	2	10	100	157.1	1845.7
	Lapangan	2150	15	2	10	150	157.1	2408.6
	Tump. Kiri	1075	12	2	10	100	157.1	1845.7
	B2 (400 mm x 600 mm) l = 4,5 m							
	ln	3800						
	Tump. Kanan	950	11	2	10	100	157.1	1649.3
	Lapangan	1900	14	2	10	150	157.1	2146.8

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK EKSISTING								
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)
	Tump. Kiri	950	11	2	10	100	157.1	1649.3
	B2 (400 mm x 600 mm) l = 3,75 m							
	ln	3350						
	Tump. Kanan	837.5	9	2	10	100	157.1	1472.6
	Lapangan	1675	12	2	10	150	157.1	1911.1
	Tump. Kiri	837.5	9	2	10	100	157.1	1472.6
	B2 (400 mm x 600 mm) l = 3,5 m							
	ln	3100						
	Tump. Kanan	775	9	2	10	100	157.1	1374.4
	Lapangan	1550	11	2	10	150	157.1	1780.2
	Tump. Kiri	775	9	2	10	100	157.1	1374.4
3	B3 (300 mm x 400 mm) l = 5 m							
	ln	4600						
	Tump. Kanan	1150	13	2	10	100	157.1	1963.5
	Lapangan	2300	16	2	10	150	157.1	2565.6
	Tump. Kiri	1150	13	2	10	100	157.1	1963.5
	B3 (300 mm x 400 mm) l = 4,5 m							
	ln	4100						
	Tump. Kanan	1025	11	2	10	100	157.1	1767.1
	Lapangan	2050	15	2	10	150	157.1	2303.8
	Tump. Kiri	1025	11	2	10	100	157.1	1767.1
4	B4 (200 mm x 300 mm) l = 2,5 m							
	ln	2150						
	Tump. Kanan	537.5	5	2	8	150	100.5	460.8
	Lapangan	1075	8	2	8	150	100.5	821.0
	Tump. Kiri	537.5	5	2	8	150	100.5	460.8
5	BK1 (300 mm x 800 mm) l = 3 m							
	ln	3000						
	Tump. Kanan	750	9	5	10	100	392.7	3337.9
	Lapangan	1500	11	5	10	150	392.7	4319.7

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK EKSISTING								
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)
	Tump. Kiri	750	9	5	10	100	392.7	3337.9
6	BK2 (300 mm x 600 mm) l = 2,1 m							
	ln	2100						
	Tump. Kanan	525	6	3	10	100	235.6	1472.6
	Lapangan	1050	8	3	10	150	235.6	1885.0
	Tump. Kiri	525	6	3	10	100	235.6	1472.6
7	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 8 m							
	ln	7500						
	Tump. Kanan	1875	14	2	10	150	157.1	2120.6
	Lapangan	3750	26	2	10	150	157.1	4084.1
	Tump. Kiri	1875	14	2	10	150	157.1	2120.6
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 4 m							
	ln	3500						
	Tump. Kanan	875	7	2	10	150	157.1	1073.4
	Lapangan	1750	13	2	10	150	157.1	1989.7
	Tump. Kiri	875	7	2	10	150	157.1	1073.4
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 5 m							
	ln	4500						
	Tump. Kanan	1125	9	2	10	150	157.1	1335.2
	Lapangan	2250	16	2	10	150	157.1	2513.3
	Tump. Kiri	1125	9	2	10	150	157.1	1335.2
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 4,5 m							
	ln	4000						
	Tump. Kanan	1000	8	2	10	150	157.1	1204.3
	Lapangan	2000	14	2	10	150	157.1	2251.5
	Tump. Kiri	1000	8	2	10	150	157.1	1204.3
S1 (500 mm x 1000 mm) l = 3,75 m								
ln	3250							
Tump. Kanan	812.5	6	2	10	150	157.1	1007.9	
Lapangan	1625	12	2	10	150	157.1	1858.8	

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK EKSISTING								
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)
	Tump. Kiri	812.5	6	2	10	150	157.1	1007.9
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 3,5 m							
	ln	3000						
	Tump. Kanan	750	6	2	10	150	157.1	942.5
	Lapangan	1500	11	2	10	150	157.1	1727.9
	Tump. Kiri	750	6	2	10	150	157.1	942.5
8	S2 (150 mm x 300 mm) l = 4,5 m							
	ln	4000						
	Tump. Kanan	1000	8	2	8	150	100.5	770.7
	Lapangan	2000	14	2	8	150	100.5	1440.9
	Tump. Kiri	1000	8	2	8	150	100.5	770.7

Tabel 9. 10 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Balok Struktur HDRB

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK HDRB								
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)
1	B1 (400 mm x 800 mm) l = 8 m							
	ln	7100						
	Tump. Kanan	1775	19	2	13	100	265.5	4977.5
	Lapangan	3550	25	2	13	150	265.5	6548.1
	Tump. Kiri	1775	19	2	13	100	265.5	4977.5
	B1 (400 mm x 800 mm) l = 4 m							
	ln	3100						
	Tump. Kanan	775	9	2	13	100	265.5	2322.8
	Lapangan	1550	11	2	13	150	265.5	3008.6
Tump. Kiri	775	9	2	13	100	265.5	2322.8	
2	B2 (400 mm x 600 mm) l = 5 m							
	ln	4300						

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK HDRB

No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)	
	Tump. Kanan	1075	8	2	13	150	265.5	2168.0	
	Lapangan	2150	15	2	13	150	265.5	4070.5	
	Tump. Kiri	1075	8	2	13	150	265.5	2168.0	
	B2 (400 mm x 600 mm) l = 4,5 m								
	ln	3800							
	Tump. Kanan	950	7	2	13	150	265.5	1946.7	
	Lapangan	1900	14	2	13	150	265.5	3628.0	
	Tump. Kiri	950	7	2	13	150	265.5	1946.7	
	B2 (400 mm x 600 mm) l = 3,75 m								
	ln	3350							
	Tump. Kanan	837.5	7	2	13	150	265.5	1747.6	
	Lapangan	1675	12	2	13	150	265.5	3229.8	
	Tump. Kiri	837.5	7	2	13	150	265.5	1747.6	
	B2 (400 mm x 600 mm) l = 3,5 m								
	ln	3100							
	Tump. Kanan	775	6	2	13	150	265.5	1637.0	
Lapangan	1550	11	2	13	150	265.5	3008.6		
Tump. Kiri	775	6	2	13	150	265.5	1637.0		
3	B3 (300 mm x 400 mm) l = 5 m								
	ln	4600							
	Tump. Kanan	1150	12.5	2	12	100	226.2	2827.4	
	Lapangan	2300	24	2	12	100	226.2	5428.7	
	Tump. Kiri	1150	12.5	2	12	100	226.2	2827.4	
	B3 (300 mm x 400 mm) l = 4,5 m								
	ln	4100							
	Tump. Kanan	1025	11.3	2	12	100	226.2	2544.7	
Lapangan	2050	21.5	2	12	100	226.2	4863.2		
Tump. Kiri	1025	11.3	2	12	100	226.2	2544.7		
4	B4 (200 mm x 300 mm) l = 2,5 m								
	ln	2150							
	Tump. Kanan	537.5	6	2	10	100	157.1	1001.4	

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK HDRB								
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)
	Lapangan	1075	12	2	10	100	157.1	1845.7
	Tump. Kiri	537.5	6	2	10	100	157.1	1001.4
5	BK1 (300 mm x 800 mm) l = 3 m							
	ln	3000						
	Tump. Kanan	750	4	2	13	250	265.5	1061.9
	Lapangan	1500	7	2	13	250	265.5	1858.3
	Tump. Kiri	750	4	2	13	250	265.5	1061.9
6	BK2 (300 mm x 600 mm) l = 2,1 m							
	ln	2100						
	Tump. Kanan	525	3	2	13	250	265.5	822.9
	Lapangan	1050	5	2	13	250	265.5	1380.4
	Tump. Kiri	525	3	2	13	250	265.5	822.9
7	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 8 m							
	ln	7500						
	Tump. Kanan	1875	13.5	2	13	150	265.5	3583.8
	Lapangan	3750	26	2	13	150	265.5	6902.1
	Tump. Kiri	1875	13.5	2	13	150	265.5	3583.8
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 4 m							
	ln	3500						
	Tump. Kanan	875	7	2	13	150	265.5	1814.0
	Lapangan	1750	13	2	13	150	265.5	3362.6
	Tump. Kiri	875	7	2	13	150	265.5	1814.0
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 5 m							
	ln	4500						
	Tump. Kanan	1125	9	2	13	150	265.5	2256.4
	Lapangan	2250	16	2	13	150	265.5	4247.4
	Tump. Kiri	1125	9	2	13	150	265.5	2256.4
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 4,5 m							
	ln	4000						
	Tump. Kanan	1000	8	2	13	150	265.5	2035.2
	Lapangan	2000	14	2	13	150	265.5	3805.0

PERHITUNGAN TULANGAN GESER BALOK HDRB										
No	Posisi	l (mm)	n	n kaki	Ø (mm)	s (mm)	As Pakai (mm ²)	As Total (mm ²)		
	Tump. Kiri	1000	8	2	13	150	265.5	2035.2		
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 3,75 m									
	ln	3250								
	Tump. Kanan	812.5	6	2	13	150	265.5	1703.4		
	Lapangan	1625	12	2	13	150	265.5	3141.3		
	Tump. Kiri	812.5	6	2	13	150	265.5	1703.4		
	S1 (500 mm x 1000 mm) l = 3,5 m									
	ln	3000								
	Tump. Kanan	750	6	2	13	150	265.46458	1592.7875		
	Lapangan	1500	11	2	13	150	265.46458	2920.1104		
	Tump. Kiri	750	6	2	13	150	265.46458	1592.7875		
	8	S2 (150 mm x 300 mm) l = 4,5 m								
		ln	4000							
		Tump. Kanan	1000	7.67	2	8	150	100.5	770.7	
Lapangan		2000	14.3	2	8	150	100.5	1440.9		
Tump. Kiri		1000	7.67	2	8	150	100.5	770.7		

Tabel 9. 11 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Balok

Nama Balok	Bentang (m)	Jumlah Elemen		Luas		Total Luas	
		Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB	Eksisting	HDRB
B1	8	300	330	14648	16503	4394303	5446006
	4	150	165	6794	7654	1019054	1262948
B2	5	100	110	6100	8406	609993	924702
	4,5	480	528	5445	7521	2613805	3971350
	3,75	50	55	4856	6725	242819	369881
	3,5	20	22	4529	6283	90583	138219
B3	5	80	88	6493	11084	519410	975351
	4,5	600	660	5838	9953	3502876	6568693
B4	2,5	80	88	1743	3848	139403	338664
BK1	3	234	260	10996	3982	2572964	1035312

BK2	2,1	72	80	4830	3026	347774	242104
S1	8	30	30	8325	14070	249757	422089
	4	15	15	4136	6991	62046	104859
	5	10	10	5184	8760	51836	87603
	4,5	48	48	4660	7875	223681	378022
	3,75	5	5	3875	6548	19373	32741
	3,5	2	2	3613	6106	7226	12211
S2	4,5	2	2	2982	2982	5965	5965
Total Tulangan Geser Balok						16672868	2.2E+07

Tabel 9. 12 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok

Jenis Tulangan	Kebutuhan Tulangan	
	Eksisting (mm²)	HDRB (mm²)
Tulangan Lentur	35737799.84	16795957.36
Tulangan Torsi	994251.243	1267141.857
Tulangan Geser	16672867.85	22316717.32
Jumlah	53404918.93	40379816.53

Perhitungan reduksi tulangan balok :

$$r = \frac{(\text{Tul. Eksisting} - \text{Tul. HDRB})}{\text{Tul Eksisting}} \times 100\%$$

$$r = \frac{(53404918.93 - 40379816.53)}{53404918.93} \times 100\%$$

$$r = 24,39\%$$

Dari hasil rekapitulasi di atas, diketahui bahwa terdapat reduksi total luas tulangan balok struktur fixed based terhadap total luasan tulangan balok struktur HDRB sebesar **24,39%**. Reduksi tulangan balok termasuk dalam perhitungan penambahan lantai basement untuk pemasangan HDRB.

9.2.2 Elemen Kolom

Tabel 9. 13 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Utama Kolom Struktur Eksisting

PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA KOLOM EKSISTING								
Nama Kolom	Dimensi Kolom		Tulangan Lentur			Jumlah	Luas	
	b (mm)	h (mm)	n	Diameter (mm)			As (mm ²)	Total (mm ²)
K1	700	900	30	D	25	14726.216	650	9572040.12
Kebutuhan Tulangan Utama Kolom Struktur HDRB								9572040

Tabel 9. 14 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Utama Kolom Struktur HDRB

PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA KOLOM HDRB								
Nama Kolom	Dimensi Kolom		Tulangan Lentur			Jumlah	Luas	
	b (mm)	h (mm)	n	Diameter (mm)			As (mm ²)	Total (mm ²)
K1	700	900	16	D	25	650	7853.98	5105088.06
KP1	1250	1250	32	D	25	2	15708	31415.9265
KP2	1200	1200	30	D	25	58	14726.2	854120.503
KP3	1100	1100	26	D	25	5	12762.7	63813.6008
Kebutuhan Tulangan Utama Kolom Struktur HDRB								6054438

Tabel 9. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Kolom Struktur Eksisting

PERHITUNGAN TULANGAN GESER KOLOM EKSISTING									
Nama Kolom	Tulangan Geser			Tinggi (mm)	n	Jumlah	Luas		
	n kaki	Diameter (mm)	Spasi (mm)				As (mm ²)	Total (mm ²)	
K1	4	D	10	150	40000	267	65	314.159	5445427.3
Kebutuhan Tulangan Geser Kolom Eksisting									5445427

Tabel 9. 16 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Geser Kolom Struktur HDRB

PERHITUNGAN TULANGAN GESER KOLOM HDRB									
Nama Kolom	Tulangan Geser				Tinggi (mm)	n	Jumlah	Luas	
	n kaki	Diameter (mm)	Spasi (mm)	As (mm ²)				Total (mm ²)	
K1	2	D	10	150	40000	267	65	157.08	2722713.6
KP1	3	D	13	100	3000	30	2	398.197	23891.812
KP2	3	D	13	100	3000	30	58	398.197	692862.55
KP3	3	D	13	100	3000	30	5	398.197	59729.53
Kebutuhan Tulangan Geser Kolom HDRB									3499198

Tabel 9. 17 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom

Jenis Tulangan	Kebutuhan Tulangan	
	Eksisting (mm ²)	HDRB (mm ²)
Tulangan Utama	9572040.1	6054438.1
Tulangan Geser	5445427.3	3499197.5
Jumlah	15017467.4	9553635.6

Perhitungan reduksi tulangan balok :

$$r = \frac{(\text{Tul. Eksisting} - \text{Tul. HDRB})}{\text{Tul Eksisting}} \times 100\%$$

$$r = \frac{(15017467.4 - 9553635.6)}{15017467.4} \times 100\%$$

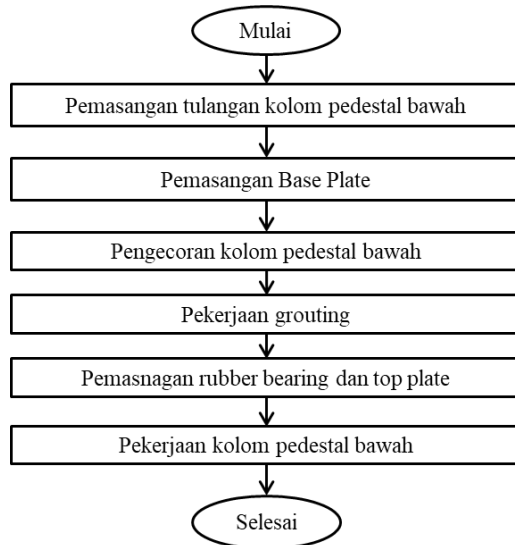
$$r = 36,38 \%$$

Dari hasil rekapitulasi di atas, diketahui bahwa terdapat reduksi total luas tulangan kolom struktur fixed based terhadap total luasan tulangan kolom struktur HDRB sebesar **36,38%**. Reduksi tulangan kolom termasuk dalam perhitungan penambahan kolom pedestal untuk pemasangan HDRB.

BAB 10

METODE PELAKSANAAN PEMASANGAN DAN PEMELIHARAAN HDRB

10.1 Metode Pelaksanaan Pemasangan HDRB



Gambar 10. 1 Diagram Alir Metode Pelaksanaan Pemasangan HDRB

10.1.1 Pemasangan Tulangan Kolom Pedestal Bawah

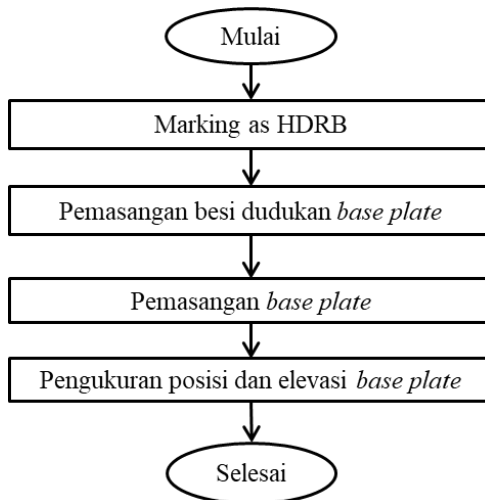
Setelah pekerjaan pemancangan dan pile cap selesai, langkah selanjutnya adalah penulangan kolom pedestal bawah sesuai dengan *shop drawing*. Kolom ini sebagai dudukan base plate HDRB bagian bawah. Tulangan kolom pedestal diangkut menggunakan tower crane ke titik yang dituju, kemudian dipasang tulangan stek pada pile cap dengan menggunakan las atau bendrat.



Gambar 10. 2 Tulangan Kolom Pedestal Bawah

10.1.2 Pemasangan Base Plate

Base plate merupakan penumpu rubber bearing pada HDRB yang akan dipasang. Berikut merupakan tahapan pemasangan base plate :



Gambar 10. 3 Diagram Alir Pemasangan Base Plate

10.1.2.1 Marking as base plate

Garis As dimarking di atas permukaan slab. Garis As berada pada tengah - tengah besi tulangan pedestal menggunakan benangan untuk garis petunjuk , dikarenakan garis marking as tidak bisa dilihat dengan jelas akibat tertutup kotoran dan terhapus air hujan

10.1.2.2 Pemasangan besi dudukan base plate

Pertama dilakukan pembersihan area yang akan di pasang base plate dari material penghalang yang akan menghalangi masuknya baut. Apabila terdapat tulangan stek harus dilakukan pembengkokan agar elevasi base plate sesuai perencanaan. Setelah itu dilakukan pemasangan dudukan base plate yang terbuat dari besi dengan diameter 12 mm.

Dudukan dipasang pada semua sudut dan dilas ke besi tambahan yang diikat ke besi kolom pedestal bawah. Tinggi dudukan harus melebihi elevasi base plate untuk memberikan ruang penyetingan elevasi dan tebal selimut kolom pedestal. Kemudian dilakukan penandaan elevasi besi dudukan dan pemotongan sesuai rencana.



Gambar 10. 4 Pemotongan besi dudukan base plate

10.1.2.3 Pemasangan base plate

Pemasangan base plate berada pada garis as yang telah ditentukan pada sumbu X dan sumbu Y.



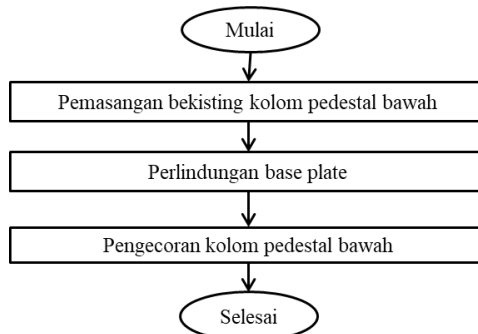
Gambar 10. 5 Pemasangan Base Plate

10.1.2.4 Pengukuran posisi dan elevasi *base plate*

Setelah dilakukan pemasangan *base plate*, posisi *base plate* di cek ulang dengan menggunakan alat *total station* agar posisi *base plate* terletak sesuai dengan yang diinginkan. Apabila posisi *base plate* tidak seperti yang diharapkan, maka dapat dilakukan *levelling* pada *base plate* kembali.

10.1.3 Pengecoran Kolom Pedestal Bawah

Setelah dipastikan base plate terpasang sesuai elevasi rencana, maka tahap selanjutnya adalah pengecoran kolom pedestal bawah. Berikut merupakan diagram alir pekerjaan pengecoran kolom pedestal bawah :



Gambar 10. 6 Diagram Alir Pengecoran Kolom Pedestal

10.1.3.1 Pemasangan bekisting kolom pedestal bawah



Gambar 10. 7 Pemasangan bekisting kolom pedestal bawah

Sebelum pengecoran perlu dipasang bekisting kolom pedestal bawah. Adapun langkah-langkah pemasangan bekisting :

- Melakukan marking area kolom pedestal bawah
- Pasang bekisting sesuai marking tersebut
- Melakukan pengukuran posisi bekisting menggunakan alat total station atau waterpass

10.1.3.2 Perlindungan base plate

Base plate dilindungi dengan lembaran plastik dan lubang dengan isolatip sebelum dilakukan pengecoran.

10.1.3.3 Pengecoran kolom pedestal bawah

Setelah dipastikan base plate terlindungi, maka tahap selanjutnya adalah pekerjaan pengecoran kolom pedestal bawah.



Gambar 10. 8 Pengecoran kolom pedestal bawah

10.1.4 Grouting



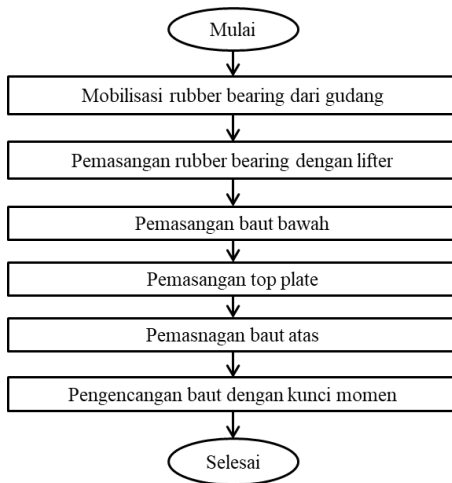
Gambar 10. 9 Grouting base plate

Tahapan selanjutnya adalah pekerjaan *grouting base plate*. Berikut merupakan langkah-langkah *grouting base plate* :

- Memasang busa di bawah base plate untuk menutup celah antara kayu dengan lantai
- Memasang bekisting di sekeliling base plate
- Grouting dapat dilakukan

10.1.5 Pemasangan Rubber Bearing dan Top Plate

Langkah selanjutnya adalah pemasangan rubber dan top plate. Berikut merupakan diagram alir pemasangan rubber bearing dan top plate.



Gambar 10. 10 Diagram alir pemasangan rubber bearing dan top plate

10.1.5.1 Mobilisasi rubber bearing dari gudang

Pertama rubber bearing digulingkan ke benda lunak seperti ban mobil sebelum diangkat. Kemudian rubber bearing diangkat menggunakan lifter.



Gambar 10. 11 Mobilisasi HDRB

10.1.5.2 Pemasangan rubber bearing dengan lifter

Lifter memindahkan rubber bearing tepat di atas base plate di posisi center perpotongan garis as base plate.



Gambar 10. 12 Pemasangan Rubber Bearing

10.1.5.3 Pemasangan baut bawah

Setelah posisi rubber bearing tepat di tengah, selanjutnya pemasangan baut pada bagian bawah HDRB untuk menghubungkan rubber dengan base plate. Lalu, kencangkan baut menggunakan kunci momen dan pastikan posisi rubber bearing datar.



Gambar 10. 13 Pemasangan baut bawah

10.1.5.4 Pemasangan top plate

Langkah selanjutnya adalah pemasangan top plate. Top plate dipasang di atas rubber bearing menyesuaikan posisi marking base plate sebelumnya.



Gambar 10. 14 Pemasangan top plate

10.1.5.5 Pemasangan baut atas

Setelah itu dilakukan pemasangan baut atas untuk menghubungkan rubber dengan top plate HDRB.

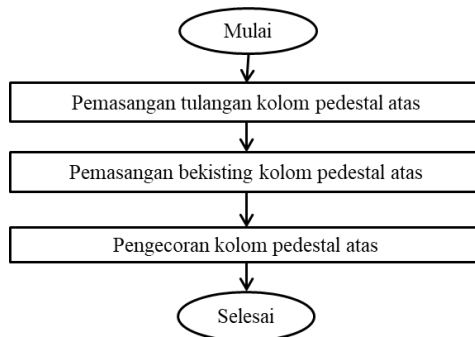
10.1.5.6 Pengencangan baut dengan kunci momen

Tahap selanjutnya adalah mengencangkan baut atas menggunakan kunci momen.



Gambar 10. 15 Pengencangan baut dengan kunci momen

10.1.6 Pekerjaan Kolom Pedestal Atas



Gambar 10. 16 Diagram alir pekerjaan kolom pedestal atas

10.1.6.1 Pemasangan tulangan kolom pedestal atas

Pemasangan tulangan kolom pedestal atas dilakukan sesuai shop drawing. Tulangan diangkat menggunakan tower crane ke titik as yang dituju.

10.1.6.2 Pemasangan bekisting kolom pedestal atas

Sebelum pengecoran perlu dipasang bekisting kolom pedestal atas. Adapun langkah-langkah pemasangan bekisting :

- Melakukan marking area kolom pedestal atas
- Pasang bekisting sesuai marking tersebut
- Melakukan pengukuran posisi bekisting menggunakan alat total station atau waterpass

10.1.6.3 Pengecoran kolom pedestal atas

Setelah bekisting terpasang sesuai rencana, maka selanjutnya dilakukan pengecoran kolom pedestal atas menggunakan concrete bucket pada tower crane.

10.2 Metode Pelaksanaan Pemeliharaan HDRB



Gambar 10. 17 Inspeksi Pemeliharaan HDRB
(Bridgestone, 2013)

Pada bangunan sistem isolasi dasar, perlu dilakukan pemeliharaan terhadap *device* yang digunakan yaitu HDRB untuk memastikan apakah fungsi HDRB sesuai dengan standar perencanaan. Pemeliharaan dilakukan selama masa operasional bangunan dengan interval waktu tertentu. Kegiatan ini dibagi menjadi 2 kategori, yaitu *regular inspection* dan *temporary inspection*. *Regular inspection* dilakukan setelah 5 tahun pemasangan device dan setiap 10 taun sekali. Sedangkan *temporary inspection* dilakukan ketika kondisi cuaca

memungkinkan terjadinya bencana alam seperti gempa bumi, angin tornado, banjir dan lainnya. Berikut merupakan tahapan inspeksi pemeliharaan HDRB :

- Pengecekan terhadap karat dan kelonggaran baut



Gambar 10. 18 Pengecekan Karat dan Baut
(Bridgestone, 2013)

- Pengecekan perpindahan horisontal HDRB



Gambar 10. 19 Pengecekan perpindahan horisontal
(Bridgestone, 2013)

- Pengecekan perpindahan vertikal HDRB



Gambar 10. 20 Pengecekan perpindahan vertikal
(Bridgestone, 2013)

- Pengecekan terhadap ketahanan cover HDRB



Gambar 10. 21 Cover HDRB

BAB 11

PENUTUP

11.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perencanaan struktur gedung Pasca Sarjana IV Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) yang dibangun menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) fixed based yang kemudian dirancang kembali menggunakan Sistem Isolasi Dasar yaitu *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Maka dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk menentukan jenis *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) yang optimal adalah menyesuaikan dengan kebutuhan struktur bangunan. Apabila terjadi over kapasitas pada elemen struktur, maka harus dilakukan redesain hingga menemukan dimensi penampang yang optimal.
2. Struktur bangunan dengan dimensi eksisting yang menggunakan HDRB, dapat mereduksi gaya geser dasar bangunan arah X mencapai 68,14% dan arah Y mencapai 69,94%. Berdasarkan hasil analisa rasio gaya dalam, terdapat reduksi gaya aksial sebesar 55,5%, gaya geser sebesar 34,6%, gaya torsi sebesar 27,9%, dan momen sebesar 40% pada elemen struktur utama.
3. Hasil perhitungan kebutuhan tulangan struktur eksisting maupun struktur isolasi dasar HDRB Gedung Pasca Sarjana IV UMM dengan dimensi eksisting, menunjukkan bahwa terdapat reduksi tulangan balok sebesar 24,39% dan tulangan kolom sebesar 36,38%.

11.2 Saran

Penulisan Proyek Akhir Terapan ini masih belum dikatakan sempurna karena masih banyak kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis untuk peningkatan penulisan Proyek Akhir Terapan berikutnya adalah :

1. Diperlukan studi literatur yang lebih lanjut untuk sistem isolasi dasar dengan High Damping Rubber Bearing (HDRB) terutama mengenai standar perencanaan.
2. Proses *running* statik *nonlinear* membutuhkan waktu yang lama, maka diperlukan perangkat yang lebih canggih.
3. Proyek Akhir ini hanya membandingkan struktur dengan satu jenis *seismic isolation*, sehingga diharapkan selanjutnya dapat menggunakan beberapa jenis *seismic isolation* agar dapat mengetahui kekurangan serta kelebihan setiap jenisnya.

DAFTAR PUSTAKA

SNI 1726:2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

SNI 1727:2013. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

SNI 2847:2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

F. Naeim and J. M. Kelly. 1999. *Design of Seismic Isolated Structures. United States of America*: John Wiley & Sons Inc

Suardi, Edison. 2013. Rubber Bearing Isolator sebagai Sistem Penahan Gempa pada Bangunan Hotel Ibis Padang. Jakarta: Karya Konstruksi.

Hayati, Bismi. 2017. Perencanaan Dimensi Base Isolator Tipe Elastomeric Rubber Bearing untuk Rumah Sakit Umum Daerah di Kota Padang. Padang: Universitas Bung Hatta.

AASHTO Chapter-11. Design Guide Specifications for Seismically Isolated Bridges.

Wildan Aziz. (2019). MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG PERKULIAHAN DI MALANG DENGAN MENGGUNAKAN *HIGH DAMPING RUBBER BEARINGS (HDRB) BASE ISOLATION*

Bridgestone. (2017). *Catalog Seismic Isolation*.

Setiawan, B. dan. (2014). Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(3), 179–196.

Dea Fauziah (2019). PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG FAKULTAS ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK) UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM) DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BASE ISOLATION HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)*

Wiki Andrian dkk (2015). Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Thaliah Luthfitawati Noerhamidy lahir di Probolinggo pada tanggal 17 April 1998. Penulis merupakan anak kedua dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Masyitoh Probolinggo, SDN Tisnonegaran 2 Probolinggo, SMPN 5 Probolinggo dan SMAN 1 Probolinggo. Setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan di Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa

perkuliahan, penulis aktif di kegiatan kemahasiswaan. Sempat menduduki posisi atau jabatan sebagai staff pada beberapa kepanitian maupun organisasi yang ada di lingkup jurusan maupun institut seperti Staff Kementrian Perekonomian BEM ITS, tim ahli Dana D'village, tim ahli Dana KJI KGBI, maupun Mentor GERIGI ITS 2017. Selain itu, penulis pernah mengikuti pelatihan PP LKMW karena memiliki minat di bidang kewirausahaan. Penulis beberapa kali sempat menjadi pemateri di LKMW TD dengan membawakan materi Wawasan Kewirausahaan. Penulis sempat aktif berwirausaha dalam bidang *fashion* wanita melalui media sosial maupun secara langsung. Penulis dapat dihubungi melalui email : thaliahlnh@yahoo.com.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

LAMPIRAN

➤ Data Tanah dari Laboratorium Mekanika Tanah ITS

DRILLING LOG													
Project No. : 1		Project :				Type of Drilling : Rotary							
Bore Hole No. : 1		Lokasi : Malang				Date : 22-Nov-18							
Water Table : 7.0 m		Elevation : ± 0.0 (muka tanah setempat)				Driller : Dwi Santoso							
Scale in m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Description & Colour	Relative Density or Consistency	UD / SPT		Standard Penetration Test				
							Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30	Blows per each 15 cm			N - Value
									15 cm	15 cm	15 cm		
0	0.00				Lempung Berlanau								
1		-1.00	1.00		Lempung Berlanau Berpasir Berkerkil								
2													
3							2.5						
4							3.0	SPT-1	18	6	8	10	18
5							4.5	UD - 1	9	3	4	5	9
6							5.5	SPT-2					
7					Lempung Berpasir Berlanau								
8							7.5						
9							8.5	SPT-3	13	4	5	8	13
10													
11							8.5	UD - 2	31	9	13	18	31
12							10.0	SPT-4					
13							10.5						
14							12.5						
15							13.0	SPT-5	26	6	9	17	26
16													
17							14.5						
18							15.0	UD - 3	51	17	27	24	51
19							15.5	SPT-6					
20													
21							17.5	SPT-7	29	29	11	16	29
22													
23							19.5						
24							20.0	UD - 4	44	15	21	23	44
25							20.5	SPT-8					
26													
27							22.5	SPT-9	50	16	23	27	50
28													
29							24.5						
30							25.0	UD - 5	>60	18	23	38	60
31							25.5	SPT-10					
32													
33							27.5	SPT-11	59	20	33	26	59
34													
35							29.5						
36							30.0	UD - 6	>60	19	27	34	60
37							30.5	SPT-12					

Legenda :

- = Lempung
- = Lanau
- = Pasir
- = Kerkil
- = Batu
- = Muka air Tanah

MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.
Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

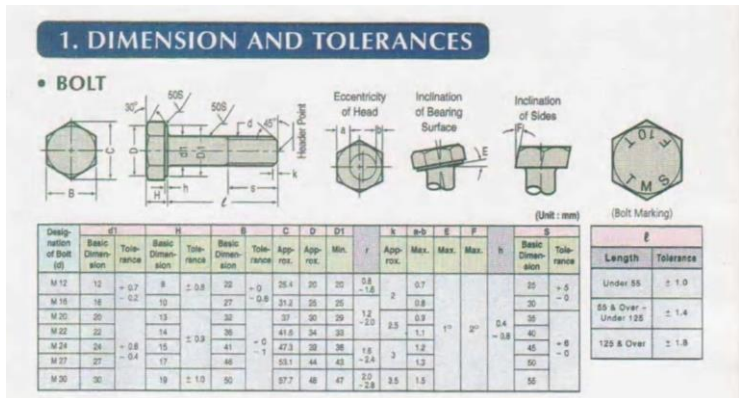
Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm ²)	Equivalent damping ratio
XBR	X0.6R	0.620	0.240

●HH Series (Total Rubber Thickness 20cm)

Characteristics		H0306R	H0356R	H0406R	H0456R	H0506R	H0556R	H0606R	H0656R	H0706R	H0756R	H0806R	H0856R	H0906R	H0956R	H1006R	H1056R	H1106R	H1156R	H1206R	H1256R	H1306R	H1356R	H1406R	H1456R	H1506R			
Physical Dimensions	Outer diameter [mm]	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600													
	Inner diameter [mm]	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	65	65	80													
	Effective plane area [$\times 10^2$ mm ²]	2626	3317	3947	4416	5023	5671	6359	7085	7848	8480	11298	13248	15381	17838	20056													
	Thickness of one rubber layer [mm]	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4													
	Number of rubber layers [-]	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	20	19													
	Total rubber thickness [mm]	200	198	202	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200	198													
	First shape factor [-]	38.6	36.1	36.4	36.6	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.9	35.8	35.1	35.9	36.5													
	Second shape factor [-]	3.00	3.28	3.46	3.75	4.00	4.26	4.55	4.78	4.98	5.51	6.00	6.50	7.02	7.50	8.10													
	Diameter of flange [mm]	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000													
	Thickness of flange*1 (edge / center) [mm]	22/28	22/28	22/28	23/28	24/32	24/32	26/36	26/36	28/36	30/39	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110													
	Connecting bolt PCD [mm]	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800													
	Diameter of connecting bolt hole \times qty [mm]	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 32 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	$\varnothing 42 \times 4$	
	Bolt size (assumption) [-]	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42													
	Thickness of each reinforced steel plate [mm]	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8													
	Total height [mm]	407.9	390.4	388.3	376.9	422.2	413.1	410.8	402.4	400.6	390.2	385.6	376.9	405.5	410.2	522.0													
Compression Properties	Total weight [tonf]	0.66	0.72	0.80	0.90	1.21	1.31	1.49	1.59	1.77	2.05	2.38	2.65	3.46	4.05	6.64													
	Total weight [kN]	6.5	7.0	7.9	8.9	11.9	12.9	14.6	15.6	17.3	20.1	23.3	26.0	33.9	39.7	65.1													
	Critical stress (N/mm ²)	σ_c when $\gamma = 0$	43	52	58	69	78	89	102	113	122	136	148	160	173	200													
		(γ_v, σ_c)	(0.22)	(0.30)	(0.35)	(0.42)	(0.48)	(0.52)	(0.56)	(0.59)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)												
		Ultimate compressive stress (N/mm ²)	(15.22)	(14.30)	(14.35)	(15.42)	(16.48)	(18.52)	(21.56)	(23.59)	(25.60)	(31.60)	(36.60)	(38.60)	(38.60)	(38.60)	(38.60)												
	Compressive stiffness [$\times 10^3$ kN/m]	(γ_v, σ_c)	(2.74)	(3.05)	(3.16)	(3.47)	(3.411)	(3.517)	(3.523)	(3.629)	(3.634)	(3.746)	(3.756)	-	-	-	-												
		Nominal long term compressive stress [N/mm ²]	6.6	8.1	9.1	10.7	12.0	13.4	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0												
	Nominal long term column load [kN]	1860	2690	3500	4710	6050	7620	9540	10600	11800	14200	16900	19900	23000	26500	30100													
	Allowable tensile stress ($\gamma = 100\%$) [N/mm ²]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													
	Shear Properties ($\gamma = 100\%$)	Initial stiffness [$\times 10^3$ kN/m]	5.19	6.15	6.98	8.10	9.23	10.4	11.8	13.1	14.3	17.4	20.7	24.3	28.3	32.4	37.3												
Post yield stiffness [$\times 10^3$ kN/m]		0.519	0.615	0.698	0.810	0.923	1.04	1.18	1.31	1.43	1.74	2.07	2.43	2.83	3.24	3.73													
Characteristic Strength [kN]		71.5	83.8	97.3	112	127	143	161	179	199	240	285	335	389	446	507													
Equivalent shear stiffness [$\times 10^3$ kN/m]		0.876	1.04	1.18	1.37	1.56	1.76	1.99	2.21	2.42	2.94	3.50	4.11	4.77	5.47	6.29													
Equivalent damping ratio [-]		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240													

*1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

➤ Spesifikasi Baut M30



➤ Brosur Bata Ringan CITICON



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm) : 600
 Tinggi, H (mm) : 200 ; 400
 Tebal, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, [ρ] : 530 kg/m³
 Berat jenis normal, [ρ] : 600 kg/m³
 Kuat tekan, [σ] : ≥ 4,0 N/m²
 Konduktivitas termis, [λ] : 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ³	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

➤ **Beban Plester dan Acian Dinding Drymix**



DINDING



◆ Plester D200

- Dipeigunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata. ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebar/zak ± 2-2.5 m²/10mm



40kg

Acian dinding dan plester



◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk expose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak ± 10-12 m²/2mm

30kg



◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak ± 10-12 m²/2mm
- 5-7 hari bisa langsung di cat

30kg

Acian dinding plester dan beton



◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/zak 9-12 m²/30 kg

30kg



◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk expose dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa plamir dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/zak 9-11 m²/20 kg

20kg



◆ Thinbed 101 TB101

- Perikat bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar/zak ± 10-11m²/3mm (40 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Cepat dalam pengerjaannya



40kg



◆ Plester Ringan 1.6 S150

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (fine coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebar/zak ± 4.5-6.5 m²/5-8mm (50 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



50kg

Khusus Bata Ringan

Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perekat bonding atding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm



25kg
40kg

◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg


◆ Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar



1L

➤ Beban Keramik Katalog Arwana (tipe AR 8822 CM)



Technical Data


Description	Unit	Floor Tile 40 x 40	Floor Tile 30 x 30	ISO 13006:2010	Floor Tile 20 x 20	Wall Tile 20 x 25	ISO 13006:2010
Size Tolerance	%	- 0.4 + 0.3	- 0.13 + 0.07	max ± 0.5	- 0.4 + 0.3	- 0.4 + 0.1	max ± 0.5
Thickness Tolerance	%	- 2.0 + 0.6	- 3.0 + 1.5	max ± 5.0	- 4.5 + 5	- + 2.4	max ± 10
Rectangularity	%	- 0.1 + 0.2	- 0.3 + 0.3	max ± 0.6	- 0.3 + 0.2	- 0.3 + 0.3	max ± 0.5
Straightness of Sizes	%	- 0.3 + 0.1	- 0.2 + 0.1	max ± 0.5	- 0.2 + 0.1	- 0.2	max ± 0.3
Surface Flatness							
a. Center Curvature	%	+ 0.2	+ 0.2	max ± 0.5	+ 0.5	- 0.3 + 0.5	max - 0.3 max + 0.5
b. Edge Curvature	%	+ 0.3	+ 0.2	max ± 0.5	+ 0.5	- 0.3 + 0.5	max - 0.3 max + 0.5
c. Warpage	%	- 0.2 + 0.3	- 0.2 + 0.3	max ± 0.5	+ 0.5	- 0.5 + 0.5	max - 0.5 max + 0.5
Modulus of Rupture	n/mm ²	28.80	28.06	min 8	25	21	min 15
Breaking Strength							
a. Thickness < 7.5 mm	N	-	803	min 500	>200	500	min 200
b. Thickness ≥ 7.5 mm	N	980	-	-	-	-	-
Water Absorption	%	6 < E ≤ 10	6 < E ≤ 10	6 < E ≤ 10	6 < E ≤ 10	16.45	E > 10
Abrasion Resistance							
		class 3 1200 cycles passed	class 3 1200 cycles passed	class 3 1500 cycle passed	class 3 1500 cycles passed		
Crazing Resistance							
		required (5 bar)	required (5 bar)	there must be no crazing	required (5 bar)		
Chemical Properties							
a. Resistance to Staining		class 4	class 4	min class 3	class 1	class 4	min class 3
b. Resistance to Chemical		GLA	GLA	GLA	class A	GLA	
		GHA	GHA	GHA		GHA	
		GA	GA	GA		GA	
Coefficient of Friction							
a. FDL		0.70	0.50				
b. FWL		0.40	0.40				
c. FDR		0.60	0.60				
d. FWR		0.40	0.40				
ARWANA Ceramic Tiles Packing Information							
SIZE (cm)	QTY. PER/BOX	M ² /BOX	wt.KG/BOX				
20 X 20	25	1	13 - 14				
20 X 25	20	1	12				
30 X 30	11	1	14 - 15				
40 X 40	6	1	15.5 - 16.5				

➤ **Beban Spesi Drymix**

DATA TEKNIS

SPESIFIKASI TEKNIS (EN 998-1)

Bentuk	Bubuk
Compressive Strength @ 28 days (BS EN 1015-11)	8 - 12 Mpa
Pull Off Strength (BS EN 1015-12)	min. 0,3 N/mm ² @ 28 days
Ketebalan aplikasi	2-3 mm
Daya Sebar	10 m ² / 30 kg untuk ketebalan 2-3 mm
Dry Density	+ 1,2 gr/cm ³
Wet Density	+ 1,9 gr/cm ³
Pot life	min. 90 menit

AREA APLIKASI	PENYIMPANAN	PENGEPAKAN
<ol style="list-style-type: none"> Dinding Eksterior dan dinding interior Permukaan plester 	Simpan selalu di tempat yang kering dan jauh dari genangan air serta udara yang lembab. 	Dikemas dengan berat 30kg.

DRYMIX® **DIPRODUKSI OLEH: PT. DRYMIX INDONESIA - JAKARTA**
 Ph : (021) 8379 3738 | Made in Indonesia

Catatan : Coverage adalah hasil percobaan di bawah kondisi laboratorium , hanya sebagai pedoman dan tergantung pada kondisi di lapangan seperti substrate, porositas, dll. Produk ini terbuat dari bahan semen yang dapat menyebabkan iritasi. Hindari kontak langsung dengan kulit dan mata. Apabila terkena, segera basuh dengan air yang bersih.

MORTAR BERKUALITAS! www.drymix.co.id

➤ **Beban Plafond KalsiBoard Ling 6**

KalsiBoard Ling 6



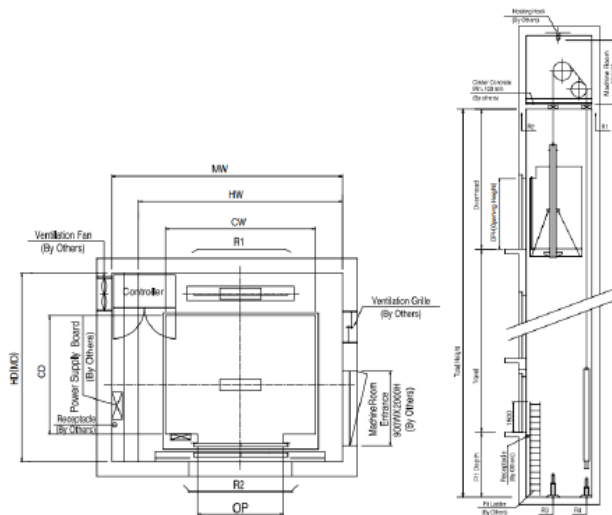
Ukuran Standar

Tebal	Lebar	Panjang	Berat
6	1200	2440	25.36
6	1200	2400	24.54
6	1200	3000	30.67
6	1200	2700	27.60

➤ Brosur Lift (IRIS)

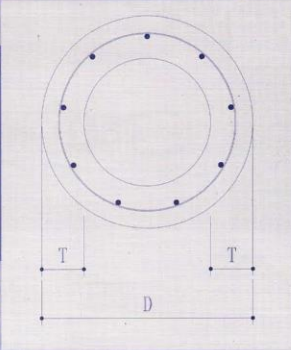
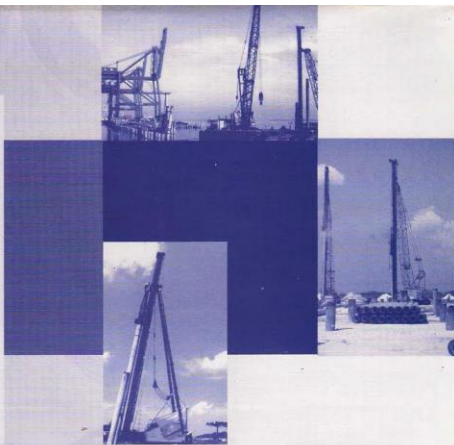
Speed (m/sec)	Capacity (person/kg)		Reaction Static Load				Door Opening
	Person	Load	R1	R2	R3	R4	
1	24	1600	10200	7000	109500	8700	1100

Dimension					
Car		Hoistway		Machine Room	
A	B	AH	BH	AH	BH
2150	1600	2700	2300	2700	2300



➤ Brosur Tiang Pancang PT. Wika Beton

Shape and Dimension

Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment Crack (Ton.m)	Bending Moment Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50