

PROYEK AKHIR TERAPAN - VC191845

ALTERNATIF DESAIN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK) UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM) MENGGUNAKAN *FLUID VISCOUS DAMPER*

DENNY ERIC FRIANTO
NRP. 10111610013068

Dosen Pembimbing I
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
NIP. 19600105 198603 1 002

Dosen Pembimbing II
Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



PROYEK AKHIR TERAPAN - VC191845

**ALTERNATIF DESAIN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS
ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK) UNIVERSITAS NEGERI
MALANG (UM) MENGGUNAKAN *FLUID VISCOUS
DAMPER***

DENNY ERIC FRIANTO
NRP. 10111610013068

Dosen Pembimbing I
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
NIP. 19600105 198603 1 002

Dosen Pembimbing II
Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

“halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - VC191845

***ALTERNATIVE STRUCTURE DESIGN OF FAKULTAS
ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK) UNIVERSITAS NEGERI
MALANG (UM) USING FLUID VISCOUS DAMPER***

DENNY ERIC FRIANTO
NRP. 10111610013068

Supervisor I
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
NIP. 19600105 198603 1 002

Supervisor II
Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP. 19720115 199802 1 001

***CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019***

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

“ALTERNATIF DESAIN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK) UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM) MENGUNAKAN *FLUID VISCOUS DAMPER*”

PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik
Pada
Program Sarjana Terapan
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh:
Mahasiswa



Denny Eric Frianto

NRP. 10111610013068

30 JAN 2020

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Ibnu Pudji Rahandjo, M.S.

Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.

NIP. 19600105 198603 1 002

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 : 15/01/2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous Damper		
Nama Mahasiswa 1	Denny Eric Frianto	NRP	10111610013068
Dosen Pembimbing 1	Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS. NIP. 19600105 198603 1 003	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	Nur Ahmad Husin, ST., MT. NIP. 19720115 199802 1 001	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
- Memeriksa energi gempa (velocity) - Notasi gambar tulangan untuk pemutusan - Tebal selimut decking - Gambar & penulangan dirapikan - Sambungan tul. kolom untuk SRPMB tidak harus di tengah kolom.	 DR. Ir. Dicky Imam Wahjudi, MS. NIP. 19590209 198603 1 002
1. Abstract & kesimpulan seperti yang sudah dijelaskan di draft TAT. Abstract → tujuan, pengertian tdk perlu. 2. Cek kata & kalimat semua laporan TAT. urahkan kalimat aktif. S+V jelas. 3. Gambar diperbaiki.	 DR. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT NIP. 19780201 200604 2 002
	-
	NIP -
	-
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
DR. Ir. Dicky Imam Wahjudi, MS. NIP. 19590209 198603 1 002	DR. Eng. Yuyun Tajunnisa, ST., MT NIP. 19780201 200604 2 002	-	-

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS. NIP. 19600105 198603 1 003	 Nur Ahmad Husin, ST., MT. NIP. 19720115 199802 1 001



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 Denny Eric Frianto 2
NRP : 1 10111610013068 2
Judul Tugas Akhir : Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous Damper
Dosen Pembimbing : Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
 NIP. 19600105 198603 1 003

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	23/10 2019	• Lakukan kontrol simpangan : per lantai dan antar lantai				
		- Cek kapasitas penampang : sesuaikan rencana tumpuan balok kolom dan smpm		B	C	K
		- Kontrol bandingkan gaya dakamnya		☒	☐	☐
2	23/10 2019	- Cari jurnal hub antara pasang damper dan open frame mengenai base shear		B	C	K
		- Damper FVD dipasang arah Y maka aktifkan U ₂ dan U ₃ pada link supportingnya		☒	☐	☐
		- Balok pada area sekitar void kemungkinan torsiya besar		B	C	K
		- Dengan dimensi sama dan sedikit pengerutan troyka setelah dipasang FVD dapat menahan gaya lebih besar < rencana >		☒	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
3	5/11 2019	- Cek apakah tumpuan balok pada damper terpasang 28 dengan 20				
		- Apakah penampang awal karena geser atau torsi mata lebarnya (b) ditambah		B	C	K
		- Balok yang gagal dirobek penampangnya		☒	☐	☐

Ket. :

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama
NRP

Judul Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

: 1 Denny Eric Frianto 2
 : 1 10111610013068 2
 : Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan
 (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous
 Damper
 : Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
 NIP. 19600105 198603 1 003

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
4	12/11 2019	- Coba apakah arah link support bisa dibalik arah 1, 2, 3 - U_1, U_2, U_3 perpindahan kearah R rotasi pada sambung terd. - Input damper pada linear $\approx U_1$ diisikan baru perpindahan mananya - Pasang damper hingga mendapat hasil perilaku struktur yang maksimal. - Effective Stiffness $\langle K = F/d \rangle$ mod = perpindahan dari FUD didapat dari browser Tenr		☐	☐	☐
				B	C	K
				☒	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
5	26/11 2019	- Coba cari sumber datanya untuk dimensi gambar strukturanya supaya bisa dilakukan perhitungan - Pada balok yang angka coba dilakukan perhitungan berupa plat yang dipotong pada sisi - Diperiksa / dicek momen sebelum ada perataan dan sebelum apakah konsep meminimalkan momen		☒	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐

Ket.

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



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Denny Eric Frianto 2

NRP

: 1 1011610013068 2

Judul Tugas Akhir

: Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous Damper

Dosen Pembimbing

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

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	31/10 2019	- Diperiksa kembali bangunan dibangun tatan berapda dan pakehan danda yang akan digunakan - Parameter respon se quaviasi - Parameter di dalam pemadatan kalat bisa dijelaskan asalnya dan pengertiannya - Periksa kembali beban hidup sesuai fungsi ruang		☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
2	6/11 2019	- Sesuai sni apabila base shear tidak memenuhi maka dikalikan skala pakehan. - Apabila sni kurang jelas seperti amon diul sistem bisa dilihat pakehan yang diul sni - Apabila Etab bisa memunculkan gaya per jalin maka bisa dijelaskan alasan pake tipe FFD - Apabila penamaan jalin amon FFD dan struktur di jalin maka akan muncul gaya baru nomon		☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐

Ket.

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



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Denny Eric Frianto 2
NRP : 1 1011610013068 2
Judul Tugas Akhir : Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous Damper
Dosen Pembimbing : Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
 NIP. 19720115 199802 1 001

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
3	14/11 2019	- V_1, V_2, V_3 merupakan local axis dan karena FVD hanya mampu menahan gaya tekan sehingga hanya diberikan V_1 saja. - Damper bisa diperkecil tetapi tetap diberikan beberapa pemertarikan agar tetap proporsional. - Untuk hitung tulangan kolom bisa diambil asumsi gaya dari P terbesar namun tetap dicek akibat M terbesar. - Cari kenapa pakai $\alpha = 1$ linear		☐	☐	☐
4	21/11 2019	- Untuk rumah tinggal reduksinya 0.75 dan untuk gedung di atas 2 lantai 0.80 - Gedung sama harusnya V_{statik} dan $V_{dinamik}$ sama - Ditanya kembali kenapa $V_{dinamik} \geq 0.85 V_{statik}$ dan apabila lebih kecil kenapa dikalikan faktor 0.85 $V_{statik} / V_{dinamik}$		☐	☐	☐
				☐	☐	☐
				☐	☐	☐

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. Denny Eric Frianto

2

NRP

: 1 1011610013068

2

Judul Tugas Akhir

: Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous Damper

Dosen Pembimbing

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

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5	3/12 2019	- Axial terbesar akibat gravity load dominan terjadi pada kolom ditengah				
		- Dalam mengambil output gaya permodelan diusahakan terbebas dari pengaruh relawan		B	C	K
		- Mass source dipastikan lagi apakah sesuai atau tidak		☐	☐	☐
		- Coba lakukan pembagian persentase gempa antara 100% dan 30% pada load comb		B	C	K
		- Diperiksa kembali gaya-gaya pada joint penentuan FVD		☐	☐	☐
6	13/12 2019	- Penempatan damper disesuaikan dengan bentuk bangunan				
		- Dalam membuat load pattern untuk beban superdead dibuat spesifik contoh beban dinding, platond, span dll		B	C	K
		- Disarankan dalam penentuan dimensi elemen seperti balok dibuat tipikal		☐	☐	☐
		- Beruang 5m penempatan Mump 15-20 tm untuk memonitor output hasil permodelan struktur.		B	C	K
				☐	☐	☐

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



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

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama
NRP

Judul Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

: 1 Denny Eric Frianto 2
 : 1 10111610013068 2
 : Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan
 (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous
 Damper
 : Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
 NIP. 19720115 199802 1 001

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7	31/12 2019	- As jangan ditampikan				
		- Kalau sama tipe platnya maka cuma satu saja		B	C	K
		- Apabila dengan kineri sama ditulis tipikal		☐	☐	☐
		kanopi 1 - sama / Tipikal dalam pembabakan				
		- Kalau keterangan ukuran elemen sudah ditulis di denah tidak perlu ditulis ket lagi		B	C	K
		- Denah kolom dan balok bisa diadatkan satu		☐	☐	☐
		- Sloof tidak perlu dibuat tambahan apabila tidak menyang apa-apa				
		- Tidak perlu detail tulangan plat apabila di denah plat sudah		B	C	K
				☐	☐	☐
		- Apabila ada elemen berbeda harus ditampikan				
		- Apabila satu gambar dg gambar lain ada perbedaan diberi keterangan		B	C	K
				☐	☐	☐
		- Diperiksa dua gaya dalam (v) akibat beban gravitasi sendiri apakah hampir sama				
		- Dari pada 2013 coba 3010 karena (a) lebih kecil		B	C	K
				☐	☐	☐

Ket.

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

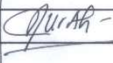


KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Denny Eric Frianto 2
NRP : 1 10111610013068 2
Judul Tugas Akhir : Alternatif Desain Struktur Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) Menggunakan Fluid Viscous Damper
Dosen Pembimbing : Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
 NIP. 19720115 199302 1 001

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
8	10/01 2020	▶ Laporan diberikan keterangan tahapan ▶ Dijelaskan parameter apa saja yang dipakai pada tiap tahap (ex: dimensi, gempa, tsi lain) ▶ Penentuan tipe FVD bisa dicari dengan coba pasang bearing di frame ▶ Bisa dijelaskan beberapa tipe FVD dan kenapa pakai yang dipilih ▶ Perancangan pack metodologi artinya jalan sesuai perencanaan ▶ PPT dibuat runtut prosesnya sesuai metodologi yang sebelumnya ▶ Jelaskan detail lokasi yang gagal dimana bila perlu ditampikan lokasi yang gagal ▶ Tampilkan gambar detail dari daerah kemudian ditambah peristilahan ▶ Kesimpulan harus sinkron dengan tujuan apabila ada 5 tujuan maka simpulan = 5 poin ▶ Dulas alasan di latar belakang apakah alasan dirubah dari semula ke spones ▶ Cek simpangan per kontrol sesuai standart untuk simpangan maksimal di tiap level		B C K ☐ ☐ ☐ B C K ☐ ☐ ☐ B C K ☐ ☐ ☐ B C K ☐ ☐ ☐ B C K ☐ ☐ ☐

Ket.

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

**“ALTERNATIF DESAIN STRUKTUR GEDUNG
FAKULTAS ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK)
UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)
MENGUNAKAN *FLUID VISCOUS DAMPER*”**

Mahasiswa : Denny Eric Frianto
NRP : 10111610013068
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS

Dosen Pembimbing I : Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
NIP : 19600105 198603 1 002

Dosen Pembimbing II : Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP : 19720115 199802 1 001

ABSTRAK

Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) merupakan bangunan yang terletak di Kota Malang Provinsi Jawa Timur yang terdiri dari 8 lantai dengan ketinggian 38,25 m. Gedung ini dirancang menggunakan beton bertulang konvensional dengan sistem *open frame* dan dilakukan alternatif desain dengan memasang peredam getaran eksternal yang disebut *damper*. *Damper* merupakan salah satu metode baru yang berfungsi untuk meredam energi getaran pada gedung akibat beban lateral.

Perencanaan diawali dengan mengumpulkan data eksisting bangunan seperti gambar, data bangunan dan data tanah. Kemudian dari data tersebut digunakan untuk membuat permodelan dengan program bantu Etabs sesuai kondisi eksisting bangunan *Fixed Based SRPMK* yang dianalisa menggunakan pembebanan gempa *response spectrum*. Setelah itu, permodelan dimodifikasi dengan kondisi eksisting *Fixed Based SRPMB* ditambah dengan *Fluid Viscous Damper (FVD)* dimana terlebih dahulu menentukan letak penempatan dan jumlah yang paling

efektif. Selanjutnya, dari *output* gaya yang dihasilkan dari kedua permodelan tersebut bisa dibandingkan hasilnya. Terakhir dilakukan perhitungan kontrol struktur serta penulangan elemen bangunan yang hasilnya akan digambarkan melalui penggambaran teknik.

Proyek akhir ini menggunakan FVD untuk gedung dari *ITT Infrastructure Product* dengan tipe FVD-H-500-150. *Fluid viscous damper* dipasang secara diagonal sebanyak 20 buah pada sumbu lemah bangunan dengan sambungan breising HSS. Berdasarkan hasil analisa dari alternatif desain ini, bangunan mengalami reduksi terhadap gaya geser dasar gempa, simpangan bangunan, gaya dalam dan mengatasi kegagalan penampang yang terjadi. Maka dengan adanya damper ini membuat gedung menjadi lebih tahan terhadap gempa yang lebih besar meskipun tetap menggunakan dimensi eksisting.

Kata kunci: *fluid viscous damper*, FVD, Damper, Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

**“ALTERNATIVE STRUCTURE DESIGN BUILDING OF
FAKULTAS ILMU KEOLAHRAGAAN (FIK)
UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)
USING FLUID VISCOUS DAMPER”**

Student : Denny Eric Frianto
NRP : 10111610013068
Departement : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS

Supervisor I : Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S.
NIP : 19600105 198603 1 002

Supervisor II : Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP : 19720115 199802 1 001

ABSTRACT

Ilmu Keolahragaan Faculty (FIK), Universitas Negeri Malang (UM) building where located in Malang City of East Java Province which consists of 8 floors with a height of 38.25 m. This building was designed using conventional reinforced concrete with an open frame system and an alternative design was carried out by installing an external vibration damper called a damper. Damper is one of the new methods that serves to reduce the vibration energy in lateral buildings.

Planning starts with collecting existing building data such as pictures, building data and land data. Then from the data it is used to make modeling with Etab aids program according to the SRPMK existing condition of the building which is analyzed using earthquake response spectrum. After that, the modeling was modified with the existing conditions of Fixed Based SRPMB coupled with Fluid Viscous Damper (FVD) which first determine the location of placement and the most effective amount. Furthermore, the results of the force generated from the two models can be compared. Finally the calculation of structural

control and reinforcement of building elements is carried out, the results of which will be illustrated through technical drawings.

This final project uses FVD for buildings of ITT Infrastructure Product with type FVD-H-500-150. Viscous damper fluids are installed diagonally by 20 units on the weak axis of the building with HSS breising joints. Based on the results of the analysis of these alternative designs, the building experiences a reduction in the basic shear force of the earthquake, the deviation of the building, the force inside and overcoming the cross section failure that occurs. So the presence of this damper makes the building more resistant to larger earthquakes while still using the existing dimensions.

Keywords : *fluid viscous damper, FVD, Damper, Ordinary Moment Resisting Frame System*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat serta hidayah-Nya. Sholawat dan salat yang selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir terapan ini.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, dukungan dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT atas segala hidayah dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik doa dan materil sekaligus menjadi motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, M.S. dan Bapak Nur Ahmad Husin S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan, bimbingan dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Vaneza Octaviany dan Thaliah Luthfitawati selaku teman seperjuangan yang banyak membantu serta selalu memberi motivasi selama proses pengerjaan.
5. Teman-teman Teknik Infrastruktur Sipil yang selalu membantu dan memberi semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis agar menjadi lebih baik. Penulis memohon maaf jika ada kesalahan dalam penulisan dan pengolahan data pada Tugas Akhir ini. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terimakasih.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
3.1 Umum.....	5
3.2 Derajat Kebebasan (<i>Degrees Of Freedom</i>)	7
3.2.1 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal Tak Tere dam	8
3.2.2 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal Tere dam	9
3.3 <i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD)	10
3.3.2 Kelebihan Penggunaan <i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD)	11
3.3.1 <i>Gaya Damping Fluid Viscous Damper</i> (FVD)....	12
3.3.2 Kekakuan <i>Fluid Viscous Damper</i>	14
3.3.3 Pemasangan <i>Fluid Viscous Damper</i>	14
3.4 Sistem Struktur Gedung	15
3.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)	16
3.5 Perhitungan Struktur.....	17

3.5.1	Pelat Lantai.....	17
3.5.2	Tangga.....	19
3.5.3	Balok	19
3.5.4	Kolom.....	21
3.5.5	Pondasi	23
3.5.6	Breising	25
3.5.6	Sambungan Baja.....	27
3.5.7	Sambungan End Plate.....	31
3.6	Perencanaan Pembebanan	32
3.6.1	Beban Mati	32
3.6.2	Beban Hidup.....	32
3.6.3	Beban Angin.....	33
3.6.4	Beban Gempa	33
3.7	Kombinasi Pembebanan	43
3.7.1	Pengaruh Beban Gempa	44
2.7.2	Faktor Kuat Lebih	44
3.7.2	Kombinasi Layan Dengan Faktor Kuat Ijin	45
BAB III.....		47
METODOLOGI		47
3.1	Diagram Alir Penyelesaian Proyek Akhir	47
3.1.1	Analisis Tahap 1	50
3.1.2	Analisis Tahap 2.....	51
3.1.3	Analisis Tahap 3.....	52
3.2	Pengumpulan Data dan Literatur.....	54
3.3	Permodelan Struktur.....	56
3.4	Analisis Pembebanan	57
3.5	Tipe <i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD).....	60
3.6	Input Parameter FVD Dalam Permodelan Struktur.....	61
3.7	Penempatan <i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD).....	65
3.8	Analisa Struktur.....	66
3.8.1	Kontrol Rasio Partisipasi Massa.....	66
3.8.2	Kontrol Periode Fundamental.....	67
3.8.3	Kontrol Simpangan Antar Lantai	67

3.8.4	Kontrol Base Shear.....	68
3.8.5	Kontrol Kapasitas Penampang	68
3.9	Perhitungan Struktur.....	69
3.10	Penggambaran Teknik.....	74
BAB IV		75
ANALISA PERMODELAN STRUKTUR		75
4.1	Pembebanan.....	75
4.1.1	Beban Mati	75
4.1.2	Beban Hidup.....	78
4.1.3	Beban Air Hujan.....	78
4.1.4	Beban Angin.....	78
4.1.5	Beban Gempa	80
4.2	Tahap 1 (Permodelan Struktur Eksisting <i>Open Frame</i> SRPMK)	84
4.2.1	Kontrol Periode Fundamental.....	84
4.2.2	Kontrol Rasio Partisipasi Massa	86
4.2.3	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	86
4.2.4	Kontrol Simpangan Lantai	89
4.2.5	Kontrol Kapasitas Penampang	91
4.3	Tahap 2 (Permodelan Struktur Eksisting <i>Open Frame</i> SRPMB)	92
4.3.1	Kontrol Periode Fundamental.....	92
4.3.2	Kontrol Rasio Partisipasi Massa	93
4.3.3	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	93
4.3.4	Kontrol Simpangan Lantai	96
4.3.5	Kontrol Kapasitas Penampang	97
4.4	Perencanaan <i>Fluid Viscous Damper</i>	98
4.4.1	Pemilihan Tipe FVD	98
4.4.2	Menentukan Jumlah FVD.....	106
4.5	Tahap 3 (Permodelan Struktur Alternatif Desain).....	107
4.5.1	Kontrol Periode Fundamental.....	107
4.5.2	Kontrol Rasio Partisipasi Massa	108
4.5.3	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	109

4.5.4	Kontrol Simpangan Lantai	111
4.5.5	Kontrol Kapasitas Penampang	113
4.6	Perbandingan Hasil Permodelan Struktur	113
BAB V		117
PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS		117
5.1	Perencanaan Pelat Lantai.....	117
5.2	Perencanaan Pelat Tangga dan Bordes.....	131
5.3	Perencanaan Penulangan Balok.....	139
5.4	Perencanaan Penulangan Kolom	157
BAB VI		179
PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH		179
6.1	Perencanaan Pondasi	179
6.1.1	Analisa Struktur Gaya Dalam.....	179
6.1.2	Spesifikasi Tiang Pancang.....	179
6.1.3	Daya Dukung Tanah.....	181
6.1.4	Perhitungan Pondasi Tipe 1.....	189
6.2	Perencanaan Penulangan Sloof.....	204
BAB VII		209
SAMBUNGAN DAN ANGKUR <i>FLUID VISCOUS DAMPER</i>		209
7.1	Perhitungan Breising HSS.....	209
7.2.1	Perhitungan Kapasitas Tarik Penampang	209
7.2	Perhitungan Sambungan <i>Gusset Plate</i>	212
7.2.1	Data Perencanaan Sambungan	213
7.2.2	Analisa Gaya Dalam Pada Sambungan	213
7.2.3	Kuat Las yang Tersedia Kepala Pelat ke HSS...	214
7.2.4	Kuat Las yang Tersedia Menghubungkan Pelat Sambung ke Kepala Pelat.....	215
7.2.5	Kuat Geser Leleh Kepala Pelat.....	216
7.2.6	Kuat Geser Fraktur Kepala Pelat.....	216
7.2.7	Kuat Geser Baut	216
7.2.8	Kuat Tumpu Baut	217
7.2.9	Kuat Tarik Leleh Pelat Sambung	218

7.2.10	Kuat Tarik Fraktur Pelat Sambung.....	218
7.2.11	Perhitungan Keruntuhan Geser Blok Pelat Penyambung.....	219
7.2.12	Perhitungan Kuat Tarik Leleh Pelat Buhul	220
7.2.13	Perhitungan Kuat Tarik Fraktur Pelat Buhul.....	220
7.2.14	Kuat Las yang Tersedia Menghubungkan Pelat Buhul ke Pelat Landas.....	221
7.2.15	Keadaan Batas Leleh Lokal dari Beban Aksial CHS.....	221
7.2.16	Sambungan Breising dengan Pelat Landasan....	222
7.3	Perhitungan Baut Angkur.....	223
7.3.1	Kuat Baut Angkur Terhadap Tarik.....	224
7.3.2	Kuat Jebol (Breakdown) Beton Akibat Tarik....	225
7.3.3	Kuat Cabut Baut Angkur Dari Beton	226
7.3.4	Kuat Ambrol (Blowout) Muka Tepi Beton Akibat Tarik	226
7.3.5	Kuat Baut Angkur Akibat Geser	227
7.3.6	Kuat Jebol Beton Terhadap Geser.....	227
7.3.7	Kuat Rempal (<i>Pryout</i>) Beton Terhadap Geser ..	228
7.3.8	Rekapitulasi Kuat Batas Angkur	228
7.4	Perhitungan Baut Angkur.....	229
7.4.1	Tebal Minimum <i>End Plate</i> (tp)	230
7.4.2	Jumlah Baut (n)	230
7.4.3	Tebal las minimum (w)	230
BAB VIII.....		231
PENUTUP.....		231
8.1	Kesimpulan.....	231
8.2	Saran.....	233
DAFTAR PUSTAKA.....		235
BIODATA PENULIS.....		237
LAMPIRAN.....		239

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Fluid Viscous Damper Pada Bangunan	6
Gambar 2 Contoh struktur dengan model SDOF.....	7
Gambar 3 Skematis SDOF & MDOF (Rajepandhare, Palash. 2017).....	7
Gambar 4 Model matematis untuk SDOF (Mario Paz, 2004)	8
Gambar 5 Model untuk Undamped Single Degree Of Freedom System.....	8
Gambar 6 Model untuk Undamped Single Degree Of Freedom System.....	9
Gambar 7 Sketsa Fluid Viscous Damper (Taylor D.P, 2017)	11
Gambar 8 Hubungan antara gaya F_D dan V menurut nilai eksponen.....	13
Gambar 9 Skema pemasangan Fluid Viscous Damper (Jen-Shin Hwang, 2008).....	14
Gambar 10 Gaya geser pada kolom (SNI 2847:2013).....	22
Gambar 11 Intensitas daya dukung tiang pada ujung tiang	24
Gambar 12 Grafik untuk menentukan panjang ekivalen	24
Gambar 13 Tipe Sambungan Las (Salmon dkk, 1991).....	28
Gambar 14 Gaya Beban Angin.....	33
Gambar 15 Parameter percepatan respons spectral MCE periode pendek, S_s . (SNI 1726:2012 Gambar 9).....	38
Gambar 16 Parameter percepatan respons spectral MCE periode 1 detik, S_1 . (SNI 1726:2012 Gambar 10)	38
Gambar 17 Spektrum Respon Desain. (SNI 1726:2012).....	43
Gambar 18 Diagram penyelesaian proyek akhir.....	49
Gambar 19 Diagram analisis tahap 1	50
Gambar 20 Diagram analisis tahap 2.....	51
Gambar 21 Diagram analisis tahap 3.....	53
Gambar 22 Percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) (SNI 1726:2012)	55

Gambar 23 Percepatan batuan dasar periode 1 detik (S1). (SNI 1726:2012)	56
Gambar 24 Permodelan eksisting bangunan.....	57
Gambar 25 Faktor kepentingan berdasarkan kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban salju, es, dan gempa (SNI 1727, 2013).....	59
Gambar 26 Brosur Fluid Viscous Damper.....	61
Gambar 27 Grafik hubungan gaya dan perpindahan (Tensa Product Catalogue Vol.6).....	62
Gambar 28 Grafik hubungan gaya dan velositas (Tensa Product Catalogue Vol.6)	62
Gambar 29 Kotak dialog define link properties.....	64
Gambar 30 Input parameter umum FVD ke Etabs	64
Gambar 31 Input parameter K & C FVD ke Etabs.....	65
Gambar 32 Sketsa penempatan fluid viscous damper	66
Gambar 33 Prosedur perhitungan tulangan plat.....	70
Gambar 34 Prosedur perhitungan tulangan balok.....	71
Gambar 35 Prosedur perhitungan tulangan kolom	72
Gambar 36 Prosedur perhitungan pondasi.....	73
Gambar 37 Denah potongan Hoistway Elevators (IRIS, 2012)	76
Gambar 38 Pembebanan balok penggantung lift.....	77
Gambar 39 Pengaruh angin pada dinding (SNI 1727:2013)...	80
Gambar 40 Grafik respons spektrum desain.....	83
Gambar 41 Denah Kolom	100
Gambar 42 Gaya Pada Fluid Viscous Damper	105
Gambar 43 Skema FVD Pada Sumbu Lemah.....	106
Gambar 44 Lokasi kolom yang dibandingkan.....	114
Gambar 45 Lokasi balok yang dibandingkan	114
Gambar 46 Gambar denah pelat Lt. 1-8.....	117
Gambar 47 Tinggi efektif pelat.....	120
Gambar 48 Sketsa potongan perencanaan tangga area 1	131
Gambar 49 Diagram momen tangga area 1	132
Gambar 50 Momen M11 & M22 Pelat Tangga Terbesar	132

Gambar 51	Momen M11 & M22 Pelat Tangga Terbesar	133
Gambar 52	Output gaya dalam balok induk B1.....	140
Gambar 53	Letak kolom K1 yang ditinjau	157
Gambar 54	Nomogram Faktor Kekakuan Kolom.....	163
Gambar 55	Grafik gaya geser tingkat horizontal.....	165
Gambar 56	Diagram interaksi kolom.....	168
Gambar 57	Hasil input parameter desain spColumn	170
Gambar 58	Diagram interaksi aksial momen.....	170
Gambar 59	Kapasitas aksial momen kolom K1 output spColumn	171
Gambar 60	Denah rencana pondasi dan sloof.....	179
Gambar 61	Spesifikasi Tiang Pancang	180
Gambar 62	Mekanisme Daya Dukung Tanah.....	181
Gambar 63	Intensitas Daya Dukung Pada Ujung Tiang	182
Gambar 64	Penentuan Panjang Ekivalen.....	182
Gambar 65	Contoh Penentuan Panjang Ekivalen Penetrasi....	184
Gambar 66	Tabel Perhitungan Daya Dukung Tiang per meter	187
Gambar 67	Pondasi Tipe 1.....	191
Gambar 68	Bidang kritis geser satu arah akibat kolom	194
Gambar 69	Bidang kritis geser dua arah akibat kolom.....	196
Gambar 70	Bidang kritis geser dua arah akibat tiang pancang	197
Gambar 71	Mekanika Gaya Pada Poer Arah X	200
Gambar 72	Mekanika Gaya Pada Poer Arah Y	202
Gambar 73	Input parameter desain spColumn sloof.....	206
Gambar 74	Output spColumn kapasitas sloof S1	206
Gambar 75	Skema pemasangan FVD.....	209
Gambar 76	Sambungan tipe end tee bolted connection (AISC Design Guide 24)	212
Gambar 77	Gaya dalam pada sambungan.....	213
Gambar 78	Skema baut pada plat sambung.....	217
Gambar 79	Penyebaran Gaya Melalui Kepala Pelat.....	221
Gambar 80	Skema Pemasangan Baut Angkur.....	224

Gambar 81	Visualisasi Jebol (Breakout) Baut Sisi Tepi.....	225
Gambar 82	Skema Pengambilan Nilai A_{NC}	225
Gambar 83	Skema end plate connector HSS-FVD.....	229

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Luas minimum tulangan	18
Tabel 2 Kategori Risiko Bangunan.....	34
Tabel 3 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2012).....	37
Tabel 4 Klasifikasi Situs Tanah.....	39
Tabel 5 Koefisien Fa (SNI 1726:2012)	40
Tabel 6 Koefisien Fv	41
Tabel 7 Kategori Desain Seismik (SNI 1726:2012).....	42
Tabel 8 Tipe Fluid Viscous Damper (ITT Infrastructure Product)	60
Tabel 9 Spesifikasi Lift merk Iris	76
Tabel 10 Perhitungan N-SPT.....	81
Tabel 11 Perhitungan respon spektrum desain	83
Tabel 12 Nilai parameter pendekatan Ct dan x (SNI 1726:2012)	84
Tabel 13 Koefisien untuk batas atas periode (SNI 1726:2012) ..	85
Tabel 14 Periode struktur dan frekuensi.....	85
Tabel 15 Modal partisipasi massa.....	86
Tabel 16 Mass Summary by Story.....	87
Tabel 17 Base Reaction Gaya Geser Dinamik.....	88
Tabel 18 Simpangan ijin.....	89
Tabel 19 Evaluasi Simpangan Arah X.....	90
Tabel 20 Evaluasi Simpangan Arah Y.....	90
Tabel 21 Periode struktur dan frekuensi.....	92
Tabel 22 Modal partisipasi massa.....	93
Tabel 23 Mass Summary by Story.....	94
Tabel 24 Base Reaction Gaya Geser Dinamik.....	95
Tabel 25 Evaluasi Simpangan Arah X.....	97
Tabel 26 Evaluasi Simpangan Arah Y.....	97
Tabel 27 Berat Bangunan Tiap Lantai.....	98
Tabel 28 Distribusi Gaya Per Lantai	99
Tabel 29 Koordinat Pusat Massa Tiap Lantai.....	99

Tabel 30	Rekapitulasi Koordinat Pusat Kekakuan Kolom	100
Tabel 31	Eksentrisitas Tiap Lantai	101
Tabel 32	Perhitungan Gaya Gempa Per Kolom.....	102
Tabel 33	Periode struktur dan frekuensi	108
Tabel 34	Modal partisipasi massa.....	108
Tabel 35	Mass Summary by Story.....	110
Tabel 36	Base Reaction Gaya Geser Dinamik.....	111
Tabel 37	Evaluasi Simpangan Arah X.....	112
Tabel 38	Evaluasi Simpangan Arah Y.....	112
Tabel 39	Perbandingan Perilaku Deformasi Bangunan.....	113
Tabel 40	Perbandingan Hasil Perilaku Struktur	114
Tabel 41	Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. 1	128
Tabel 42	Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. 1	128
Tabel 43	Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. 2-6	129
Tabel 44	Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. 2-6.....	129
Tabel 45	Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. 7-8	129
Tabel 46	Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. 2-6.....	130
Tabel 47	Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. Atap....	130
Tabel 48	Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. Atap ...	130
Tabel 49	Momen terbesar pelat tangga	132
Tabel 50	Momen terbesar pelat tangga	133
Tabel 51	Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga & Bordes	138
Tabel 52	Rekapitulasi output gaya dalam balok induk B1	141
Tabel 53	Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang.....	183
Tabel 54	Perhitungan Jarak Tiang Pancang Dari Titik Pusat ...	192
Tabel 55	Rekapitulasi Penulangan Sloof.....	208
Tabel 56	Kuat Baut Angkur Berdasarkan Pola Keruntuhan.....	223
Tabel 57	Rekapitulasi kuat batas desain sambungan.....	228
Tabel 58	Rekapitulasi Penulangan Balok	231
Tabel 59	Rekapitulasi Penulangan Kolom.....	232
Tabel 60	Rekapitulasi Penulangan Pile Cap.....	232
Tabel 61	Rekapitulasi Penulangan Sloof.....	232

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara Geografis, Indonesia merupakan Negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik yang aktif yaitu lempeng benua Asia, lempeng benua Australia, lempeng samudra Hindia, dan lempeng samudra Pasifik. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki resiko gempa yang cukup tinggi. Tak hanya itu, Indonesia juga merupakan bagian dari jalur *Ring of Fire* atau cincin dimana *Ring Of Fire* adalah daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik.

BMKG menghimbau kepada seluruh masyarakat agar berhati-hati terhadap potensi gempa dan mempelajari tentang terjadinya gempa bumi sehingga dapat mengantisipasi dan menekan kerugian dimana sebagian besar ditimbulkan oleh kerusakan bangunan yang tidak tahan gempa. Oleh karena itu pada saat ini kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan suatu hal yang harus terpenuhi. Seperti baru-baru ini menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mencatat pada hari Rabu tanggal 8 Agustus 2018 pukul 13.09 WIB telah terjadi gempa yang mengguncang Kota Malang, Jawa Timur dengan kekuatan 5,2 Skala Richter. Ditambah lagi berdasarkan hasil Standart Penetration Test (SPT) bahwa gedung perkuliahan Malang termasuk dalam kategori desain seismik (KDS) D. Padahal banyak bidang di Kota Malang saat ini yang sedang berkembang pesat, seperti contoh di bidang pendidikan. Banyak institusi pendidikan di Kota Malang seperti kampus berlomba-lomba untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas pendidikannya dengan membangun gedung-gedung baru. Oleh karena itu, gedung perkuliahan yang akan dibangun harus direncanakan tahan akan gempa yang bertujuan untuk mengantisipasi dan menekan kerugian

yang ditimbulkan sehingga harapan meningkatnya sektor pendidikan di Kota Malang bisa tercapai.

Kerusakan bangunan akibat gempa secara konvensional dapat dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya seperti dengan meningkatkan kekuatan, dan kapasitas deformasi in-elastik terhadap persyaratan keamanan beban yang mengkombinasikan komponen struktur seperti dinding geser (shear walls), braced frames, kerangka penahan momen, diafragma dan rangka batang horisontal, (Bleiman 1994, Building Seismic Safety Council 2005). Namun hasil tersebut seringkali kurang memuaskan, karena kerusakan elemen baik struktural maupun non-struktural umumnya disebabkan oleh kualitas pelaksanaan di lapangan yang kurang sempurna.

Seiring dengan perkembangan teknologi perencanaan bangunan tahan gempa, saat ini telah dikembangkan metode baru untuk mengatasi energi getaran gempa yang besar pada struktur gedung, yaitu dengan memasang peredam getaran eksternal yang biasa disebut dengan damper. Terdapat beberapa tipe damper, namun salah satu damper yang banyak diaplikasikan pada struktur bangunan, adalah fluid viscous damper (FVD). Fungsi utama dari peralatan ini, adalah menyerap energi gempa dan mengurangi gaya gempa rencana yang dipikul elemen-elemen struktur. Sehingga, struktur bangunan menjadi lebih elastis dan mampu meredam guncangan gempa. Dengan mengaplikasikan peralatan FVD, gempa rencana yang dipikul elemen struktur menjadi lebih kecil. Sehingga, dengan kondisi tersebut diharapkan tidak terjadi kerusakan struktur bangunan ketika gempa terjadi. Melihat kompleksitas kebutuhan keamanan gedung saat ini, maka metode pemasangan Peredam Getaran Eksternal *Fluid Viscous Damper* merupakan metode yang paling sesuai dengan kebutuhan struktur gedung saat ini. Oleh karena itu pada proyek akhir ini diambil kajian alternatif desain Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) menggunakan *Fluid Viscous Damper*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa rumusan masalah yang muncul. Adapun beberapa rumusan masalah yang perlu dibahas yaitu :

1. Bagaimana memilih jenis *fluid viscous damper* (FVD) yang cocok digunakan pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM)?
2. Bagaimana menentukan letak penempatan *fluid viscous damper* yang paling efektif pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM)?
3. Bagaimana hasil reduksi yang diberikan oleh *fluid viscous damper* (FVD) terhadap kondisi eksisting?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penyusunan proyek akhir ini yaitu:

1. Dapat memilih jenis *fluid viscous damper* (FVD) yang cocok sesuai kebutuhan pada gedung Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM)
2. Mengetahui penempatan serta jumlah *fluid viscous damper* yang dipasang pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM)
3. Mengetahui seberapa besar redaman yang dihasilkan oleh *fluid viscous damper* (FVD) terhadap kondisi eksisting mengenai gaya dalamnya.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah untuk menghindari terlalu luasnya cakupan yang dibahas yaitu:

1. Analisa struktur gedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
2. Proyek akhir ini hanya membahas struktur atas sehingga tidak merencanakan metode pelaksanaan, manajemen konstruksi, Analisa biaya dan pekerjaan arsitektural
3. Beban gempa yang digunakan menggunakan perhitungan *response spectrum*
4. Struktur utama yang direncanakan meliputi kolom, balok dan *fluid viscous damper*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan proyek akhir ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi dan memberikan informasi tambahan dalam merencanakan bangunan tahan gempa menggunakan damper dengan tipe *fluid viscous damper* (FVD).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Umum

Menurut BMKG, Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan gempa bumi. Sebab, Indonesia dilintasi sejumlah lempeng dan gunung api. Salah satunya Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia yang melintas di wilayah selatan Jawa. Sehingga tidak dapat dipungkiri bahwa gempa bumi merupakan salah satu peristiwa bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Setiap peristiwa bencana alam seperti gempa bumi pasti akan memberikan dampak berupa kerugian salah satunya yaitu banyak bangunan baik gedung serta infrastruktur yang mengalami kerusakan hingga roboh sehingga dapat mengancam jiwa manusia yang berada di dalamnya. Banyak sumber menjelaskan penyebab kerusakan bangunan akibat gempa dikarenakan perencanaan struktur bangunan tidak sesuai standart yang ada pada saat proses konstruksi serta kesalahan teknis dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan.

Bangunan dengan fungsi penting seperti untuk kepentingan umum harus dirancang untuk menahan gempa dengan tujuan pada saat terjadi gempa, gedung tersebut bisa tetap berdiri dan tidak seketika ambruk meskipun telah terjadi kerusakan akibat guncangan keras. Harapannya, potensi keselamatan orang yang berada di dalam bangunan itu lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode dalam merencanakan struktur bangunan gedung untuk meminimalisir kerusakan struktur adalah dengan memperkecil gaya gempa yang bekerja pada bangunan sampai pada tingkat yang aman seperti menambahkan alat peredam getaran eksternal seperti damper, yaitu alat yang dipasang pada bangunan untuk membatasi energi gempa yang bekerja pada struktur bangunan. Adapun beberapa contoh alat peredam gempa atau damper yaitu :

- Bantalan Karet Tahan Gempa (Seismic Bearing)
- *Lock Up Device* (LUD)
- *Fluid Viscous Damper* (FVD)
- *Tuned Mass Damper* (TMD)

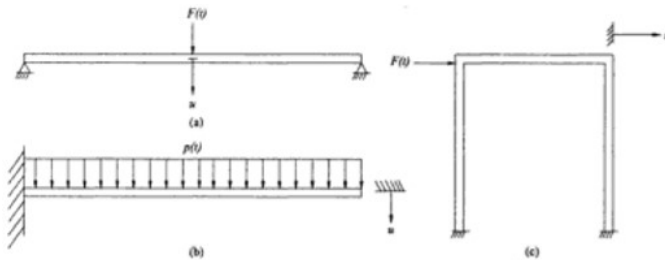
Dalam proyek akhir ini, damper yang digunakan sebagai alternatif peredam gempa pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) adalah *Fluid Viscous Damper* (FVD). Pada peredam ini energi gempa yang masuk ke dalam struktur akan didisipasi melalui pergerakan piston di dalam cairan Viscous. Metode ini akan menghasilkan gaya redaman yang sebanding dengan kecepatan gerak translasi lantai tingkat gedung. Dan jika dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya metode ini relatif dapat mereduksi energi getaran gempa yang cukup besar pada struktur gedung. Energi yang didisipasi ini selanjutnya akan mempengaruhi respon dan kinerja struktur gedung.



Gambar 1 *Fluid Viscous Damper* Pada Bangunan
(Mundo Del, 2017)

3.2 Derajat Kebebasan (*Degrees Of Freedom*)

Derajat kebebasan (*degrees of freedom*, DOF), adalah jumlah koordinat bebas (*independent coordinates*) untuk menyatakan susunan atau posisi sistem pada setiap saat. Umumnya struktur berkesinambungan memiliki jumlah derajat kebebasan (*number of degrees of freedom*) tak berhingga. Dengan proses seleksi dan idealisasi, sebuah model matematis dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan untuk beberapa keadaan menjadi berderajat kebebasan tunggal (*single degrees of freedom*, SDOF).



Gambar 2 Contoh struktur dengan model SDOF
(Mario Paz, 2004)

Pada gambar 2.1 merupakan beberapa contoh struktur yang dapat dianggap sebagai struktur berderajat kebebasan satu atau tunggal (*one degree of freedom*) dalam analisa dinamis, yaitu struktur yang dimodelkan sebagai sistem dengan koordinat perpindahan tunggal (*single displacement coordinate*). Sedangkan untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak disebut *multi degrees of freedom* (MDOF).

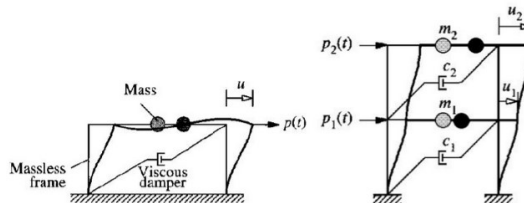
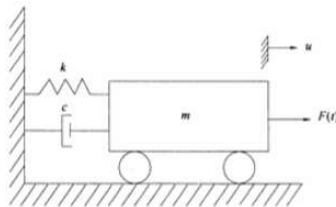


Figure 1 (a) Idealized SDOF

Figure 1 (b) MDOF systems

Gambar 3 Skematis SDOF & MDOF (Rajepandhare, Palash. 2017)

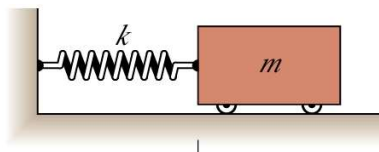
Sistem berderajat kebebasan satu ini dapat dijelaskan secara tepat dengan model matematis dimana sistem tipe ini memiliki beberapa elemen seperti skema pada gambar 2.3 yaitu: massa (m) yang menyatakan massa dan sifat inersia dari struktur; elemen pegas (k) yang menyatakan gaya baik elastis (*elastic restoring force*) dan kapasitas energi potensial dari struktur; elemen redaman (c) yang menyatakan sifat geseran dan kehilangan energi dari struktur; dan gaya pengaruh $F(t)$ yang menyatakan gaya luar yang bekerja pada sistem struktur.



Gambar 4 Model matematis untuk SDOF (Mario Paz, 2004)

3.2.1 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal Tak Teredam

Sistem SDOF tipe ini, gaya geseran atau redaman diabaikan dan sebagai tambahan akan dilakukan peninjauan terhadap sistem yang bebas dari aksi gaya luar selama bergerak atau bergetar. Pada kondisi ini, sistem tersebut hanya dikendalikan oleh pengaruh atau kondisi yang dinamakan kondisi awal (*initial conditions*) yaitu perpindahan yang diberikan dalam kecepatan pada saat $t = 0$ seperti yang dimodelkan sebagai osilator sederhana dengan kondisi ideal tak teredam sehingga akan tetap bergetar dengan amplitudo konstan pada frekwensi naturalnya.



Gambar 5 Model untuk Undamped Single Degree Of Freedom System (Wesley Aptekar-Cassels, 2017)

Pada struktur yang menggunakan sistem derajat kebebasan tunggal tak teredam (*Undamped Single Degree Of Freedom System*), massa m dihambat oleh pegas k dan bergerak menurut garis lurus sepanjang satu sumber koordinat. Adapun persamaan differensial Gerakan massa struktur SDOF tak teredam yaitu

$$m\ddot{y} + ky = 0 \quad (2.1)$$

Dimana y merupakan perpindahan (*displacement*) dan $\dot{y}$ merupakan kecepatan. Solusi umumnya adalah

$$y = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (2.2)$$

A dan B merupakan konstanta integrase yang ditentukan dari kondisi awal,

$$A = y_0,$$

$$B = v_0,$$

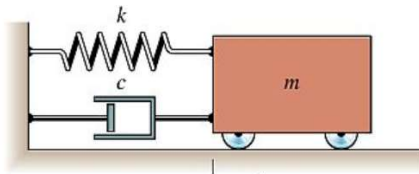
$$\omega = \sqrt{k/m} \rightarrow \text{adalah frekwensi natural dalam rad/detik}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \rightarrow \text{adalah frkwensi natural dalam siklus perdetik}$$

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow \text{adalah periode natural dalam detik.}$$

3.2.2 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal Teredam

Gaya – gaya yang dinyatakan sebagai gesekan (*friction*) atau gaya redam (*damping force*) ada pada setiap sistem yang bergerak, dan gaya – gaya ini melepaskan (*dissipate*) energi.



Gambar 6 Model untuk Undamped Single Degree Of Freedom System (Wesley Aptekar-Cassels, 2017)

Dengan memperhitungkan gaya redam dalam Analisa dinamis struktur, dianggap bahwa gaya ini selalu selaras dengan besar kecepatannya dan mempunyai arah gerak yang berlawanan. Bentuk redaman ini dikenal sebagai redaman liat (*viscous damping*), yaitu bentuk bentuk dari gaya redam yang dapat terjadi pada benda yang tertahan geraknya dalam cairan pekat (*viscous fluid*).

Persamaan differensial dari gerak untuk sistem berderajat kebebasan tunggal teredam adalah

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = 0 \quad (2.3)$$

di mana $\dot{y}$ merupakan kecepatan. Solusi analitis dari persamaan di atas tergantung pada besar dari rasio redaman. Sistem redaman kritis (*critically damped system*) memiliki rasio redaman $\xi=1$, sistem redaman subkritis (*underdamped system*) memiliki rasio redaman $\xi<1$, dan sistem redaman super kritis (*overdamped system*) memiliki rasio redaman $\xi>1$.

Dengan adanya peredam (*damper*), persamaan gerak untuk sistem berderajat kebebasan tunggal teredam menjadi

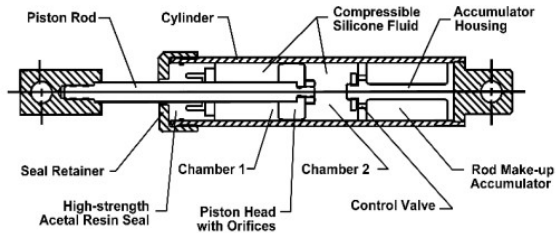
$$m\ddot{y} + ky = -c\dot{y} \quad (2.4)$$

gaya redam dari alat peredam akan membantu mengurangi gaya luar yang terjadi pada struktur. Hal ini memberikan keuntungan pada struktur. Pada struktur dengan alat peredam, u akan mengecil sehingga resiko terjadinya kerusakan menjadi semakin kecil.

3.3 ***Fluid Viscous Damper (FVD)***

Fluid viscous damper (FVD) adalah suatu alat yang digunakan untuk meredam sebuah gaya dinamis yang bekerja pada sebuah struktur seperti beban gempa, beban angin, dan beban getaran mesin. FVD berfungsi sebagai peredam tambahan pada struktur dengan mereduksi tegangan dan defleksi saat pembebanan terjadi. Jika piston FVD tertekan, fluida mengalir dari Chamber 2

(Ruang 2) ke Chamber 1 (Ruang 1), sebaliknya jika piston FVD tertarik, maka fluida mengalir dari Chamber 1 ke Chamber 2. Perbedaan tekanan yang besar yang melewati orifice menciptakan sebuah gaya redaman.



Gambar 7 *Sketsa Fluid Viscous Damper* (Taylor D.P, 2017)

Fluid Viscous Damper mendisipasi energi berdasarkan kecepatan gerak piston dan kekentalan cairan yang mengalir melalui lubang di piston. Cairan pekat yang biasa digunakan yaitu minyak silikon (silicone oil). Pada struktur FVD, gaya redaman = 0 pada saat defleksi maksimum, karena kecepatan stroke = 0 dan kemudian berbalik arah. Saat kolom berbalik arah ke posisi semula, akan menyebabkan kecepatan stroke menjadi maksimum atau gaya redamannya maksimum. Pada posisi normal, tegangan kolom adalah minimum. Dengan demikian, penggunaan FVD tidak akan meningkatkan beban pada kolom akibat gaya yang dikeluarkan FVD, karena saat terjadi gempa, gaya damper maksimum dan tegangan kolom minimum. FVD dipasang pada skeleton frame bangunan, biasanya sejajar dengan bracing diagonal atau antara menara/dermaga dan dek jembatan.

3.3.2 Kelebihan Penggunaan *Fluid Viscous Damper* (FVD)

Adapun beberapa kelebihan sekaligus alasan penggunaan FVD sebagai alternatif peredam gempa pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) antara lain :

- Mampu bekerja secara pasif (Artinya alat ini tidak membutuhkan energi khusus seperti listrik dalam penggunaannya)
- Dapat diaplikasikan pada bangunan di segala kondisi tanah
- Jumlah pemasangan FVD dapat disesuaikan dengan kebutuhan (Berbeda dengan HDRB yang harus ditempatkan pada setiap kolom yang ada)
- Perawatan FVD yang mudah dijangkau
- Dapat digunakan sebagai alternatif perkuatan bangunan lama

3.3.1 *Gaya Damping Fluid Viscous Damper (FVD)*

Viscous damper mendisipasi energi berdasarkan kecepatan gerak dari bagian damper. Bentuk umum dari gaya redaman atau damping dapat ditulis :

$$F_D = CV^a \quad (2.5)$$

Dimana :

F_D = Gaya damping (Kg)

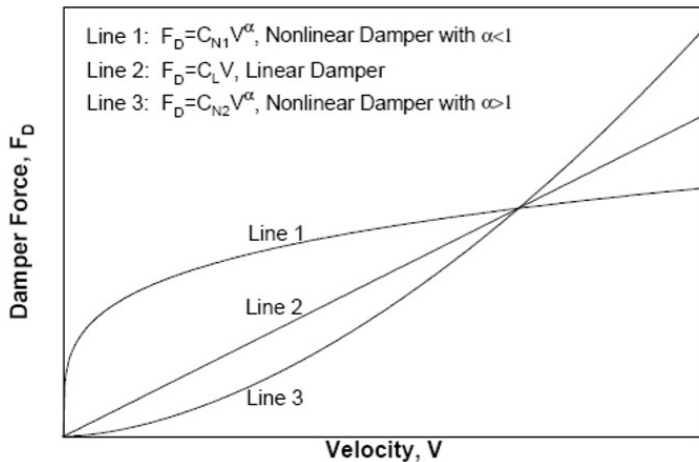
C = Konstanta damping (Kg^m/s)

V = Kecepatan dari ujung ke ujung elemen (m/s)

a = Koefisien kecepatan peredam antara 0,3 dan 1,0
(umumnya dipakai 1,0)

Koefisien α mempengaruhi kelinieran dari damping, bila $\alpha = 1$ gaya damping disebut linear viscous damper, sedangkan $\alpha < 1$ maka gaya damping disebut nonlinear viscous damper. Nonlinear viscous damper lebih efektif dalam memperkecil guncangan dengan kecepatan tinggi. Namun, peredam nonlinear menghasilkan lebih sedikit disipasi energi tambahan. Keuntungan utama menggunakan damper nonlinear dengan α kurang dari 1.0 adalah shear dasar terbatas, dan keuntungan utama menggunakan damper linier adalah pemodelan yang disederhanakan.

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara gaya dan kecepatan dengan tiga tipe viscous damper. Gambar ini menunjukkan efisiensi dari nonlinear viscous damper dalam memperkecil goncangan dengan kecepatan tinggi. Damper dengan $\alpha < 1$ dapat memberikan gaya damping lebih besar daripada dua tipe damper lainnya.



Gambar 8 Hubungan antara gaya F_D dan V menurut nilai eksponen (Chopra, *Dynamic of structure*)

Besar gaya damper bergantung kecepatan gerakan piston, besar lubang yang dilalui cairan, dan kekentalan cairan. Damping bekerja untuk semua simpangan, baik sewaktu simpangan getaran kecil maupun besar. Gaya damping paling besar terjadi pada saat simpangan sama dengan nol.

Analisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa perlu dilakukan dalam perencanaan penggunaan FVD. Dari hasil analisis, dapat ditentukan jenis serta besar gaya FVD yang akan digunakan pada bangunan.

3.3.2 Kekakuan *Fluid Viscous Damper*

Menurut Mario Paz, kekakuan dari Fluid Viscous Damper (FVD) bisa diuraikan dalam persamaan yaitu :

$$K = \frac{F}{\Delta} \quad (2.6)$$

Dimana :

K = Kekakuan FVD (kg/m)

F = Gaya Maksimal FVD (m^2)

Δ = Perpindahan atau *displacement* (m)

3.3.3 Pemasangan *Fluid Viscous Damper*

Pemasangan FVD pada bangunan berstruktur beton bertulang umumnya dipasang menggunakan *bracing connector* kemudian dihubungkan lagi menggunakan baja *circular hollow section* karena ukuran dari FVD sendiri yang terbatas. Menurut teratec yang merupakan salah satu perusahaan penyedia damper, alat ini dapat ditempatkan antara dua titik atau *join* dimana Gerakan relative ada selama peristiwa gempa. Adapun contoh skema pemasangan FVD ditunjukkan pada gambar berikut.

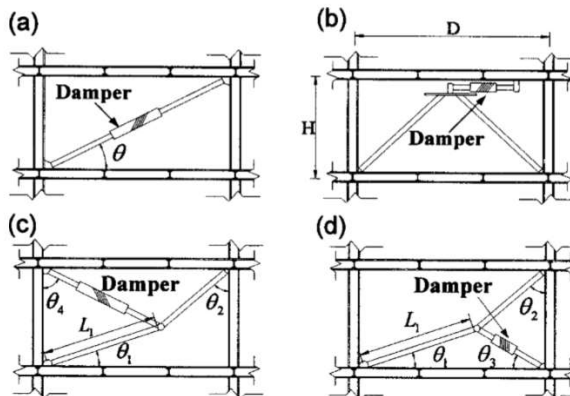


Fig. 1. Installation scheme of viscous dampers: (a) diagonal brace; (b) K brace; (c) upper toggle brace; and (d) lower toggle brace

Gambar 9 Skema pemasangan Fluid Viscous Damper (Jen-Shin Hwang, 2008)

Pada proyek akhir ini, pemasangan Fluid Viscous Damper (FVD) pada gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) direncanakan menggunakan skema model (a) dengan pemasangan secara diagonal seperti pada gambar 9.

3.4 Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur gedung dirancang supaya dapat meminimalisir kegagalan konstruksi gedung akibat beban gempa. Ada beberapa sistem struktur gedung yang digunakan sebagai penahan gaya, salah satunya yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dibagi menjadi 3 jenis. Penentuan jenis SRPM yang akan digunakan dipengaruhi oleh Kategori Desain Seismik (KDS) dari gedung yang akan dibangun. Jenis - jenis SRPM yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) untuk KDS A dan B
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) untuk KDS C
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk KDS D, E atau F.

Berdasarkan nilai SPT pada lokasi bangunan dan SNI 1726 - 2012, gedung perkuliahan yang termasuk ke dalam kategori resiko IV dibangun diatas tanah keras (SC). Dengan melihat Gambar 9 dan Gambar 10 pada SNI 1726:2012 didapatkan $SS = 0,7$ dan $S1 = 0,3$. Dari perhitungan percepatan spektral desain, didapatkan KDS D, sehingga sistem yang cocok digunakan untuk perencanaan Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Namun pada proyek akhir ini, gedung direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) karena adanya penambahan alat eksternal FVD dan merubah perilaku bangunan agar lebih elastis. SRPMB merupakan sistem rangka yang memiliki sifat elastis serta kekuatan yang besar dalam menahan gaya gempa sehingga pada saat pasca gempa terjadi,

kondisi struktur termasuk FVD yang menjadi bagian dari struktur akan tetap aman dan kerusakan akan terjadi hanya pada bagian luar strukturnya saja seperti dinding, plafon, struktur sekunder dan semacamnya sehingga bangunan masih dapat digunakan kembali.

3.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

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_1 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 .

3.5 Perhitungan Struktur

3.5.1 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.

a. Penentuan momen pada pelat lantai

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

b. Menghitung momen nominal pelat lantai

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.7)$$

c. Perhitungan penulangan pelat

Perhitungan penulangan pelat menggunakan rumus rasio perbandingan tulangan dan beton

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (2.8)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f} \right) \quad (2.9)$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b \quad (2.10)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} \quad (2.11)$$

$$Rn = \frac{Mu}{b \times d^2} \quad (2.12)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \quad (2.13)$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d \quad (2.14)$$

d. 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.

e. 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 1 Luas minimum tulangan
(SNI 1726:2012)

		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%	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

f. 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

g. Jarak antar tulangan terhadap control 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

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5C \quad (2.15)$$

Tetapi tidak boleh melebihi

$$S = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right) \quad (2.16)$$

Dimana C_c adalah jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik. Tegangan tulangan f_s boleh diambil $2/3 f_y$

3.5.2 Tangga

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

3.5.3 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:

a. Perhitungan kebutuhan tulangan longitudinal

Momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari hasil program permodelan

$$\bullet \quad Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.17)$$

$$\bullet \quad R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} \quad (2.18)$$

$$\bullet \quad \rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f} \right) \quad (2.19)$$

$$\bullet \quad \rho_{maks} = 0,5 \rho_b \quad (2.20)$$

$$\bullet \quad \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.21)$$

$$\bullet \quad \rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (2.22)$$

$$\bullet \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad (2.23)$$

Kontrol tulangan,

$$\bullet \quad \rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks} \rightarrow \text{Menggunakan } \rho_{perlu}$$

$$\bullet \quad \rho_{min} > \rho_{perlu} \rightarrow \text{Menggunakan } \rho_{min}$$

$$\bullet \quad As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d \quad (2.24)$$

$$\bullet \quad n = \frac{As}{As_{pakai}} \quad (2.25)$$

Cek kondisi,

$$\bullet \quad \text{Bila } \rho_{perlu} > \rho_{maks} \text{ maka dimensi penampang perlu diperbesar}$$

$$\bullet \quad \text{Bila } \rho_{min} > \rho_{perlu} \text{ maka dimensi penampang terlalu besar}$$

b. Perhitungan tulangan geser (transversal)

Langkah-langkah perencanaan tulangan geser balok adalah sebagai berikut:

- 1 Hitung kuat geser rencana

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \rightarrow (V_c = 0, \text{ menurut SNI 2847 - 2013 21.5.4.2})$$

$$(2.26)$$
- 2 Pasang kebutuhan tulangan geser

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} < S_{maks}$$

$$(2.27)$$

$$(S_{maks} \leq 0,5d, \text{ menurut SNI 2847 - 2013 21.5.4.3})$$

c. 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:

$$T_u = \phi \times 0,083 \times \lambda \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.28)$$

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:

$$\phi \cdot T_n = T_u \quad (2.29)$$

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta \quad (2.30)$$

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

3.5.4 Kolom

a. Perhitungan tulangan lentur kolom

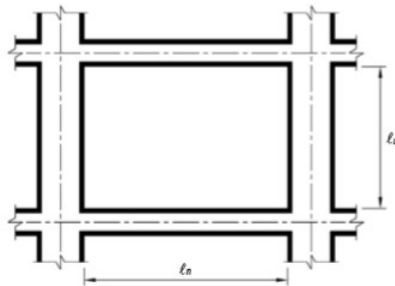
Untuk syarat tulangan lentur kolom, berdasarkan SNI 28472013 pasal 21.2.3 Kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c1 harus didesain untuk geser sesuai dengan geser SRPMM.

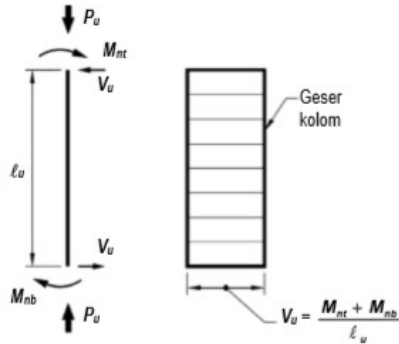
b. Perhitungan tulangan geser

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 10 Gaya geser pada kolom (SNI 2847:2013)

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{\ell_u} \quad (2.31)$$

Hitung kuat geser rencana dengan menggunakan perumusan berikut,

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.32)$$

Dimana $V_c = 0$ apabila V_e akibat beban gempa lebih besar $\frac{1}{2} V_u$ dan gaya aksial terfaktor pada kolom tidak melampaui $\frac{Ag \cdot f_c'}{20}$ (SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.2 dan ACI 318M-14 pasal 18.7.6.2) selanjutnya pasang kebutuhan tulangan geser

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} < S_{maks} \quad (2.33)$$

c. Ketentuan-ketentuan Perhitungan Kolom (SNI 2847:2013)

- Mengenai persyaratan tulangan lentur, rasio penulangan dibatasi minimum tidak boleh kurang 0.01 dan maksimum tidak boleh lebih dari 0.06
- Mengenai persyaratan tulangan geser, pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_o sepanjang panjang ℓ_o diukur dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari,
 - Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkup

- 24 kali diameter batang tulangan begel
- Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- 300 mm
- Panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari,
 - Seperenam bentang bersih kolom;
 - Dimensi penampang maksimum kolom;
 - 450 mm.

3.5.5 Pondasi

a. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (R_a) yang digunakan untuk melawan gaya aksial diperoleh dari persamaan berikut. (Kazuto Nakazawa, 2000:99 pers. 6.4)

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_p + R_f) \quad (2.34)$$

Dimana,

n = Faktor keamanan (lihat table 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)

$$R_u = \frac{1}{n} R_u \rightarrow R_u = q_d \cdot A + U \cdot \Sigma l_i \cdot f_i \quad (2.35)$$

Dimana,

q_d = Daya dukung terpusat tiang (ton)

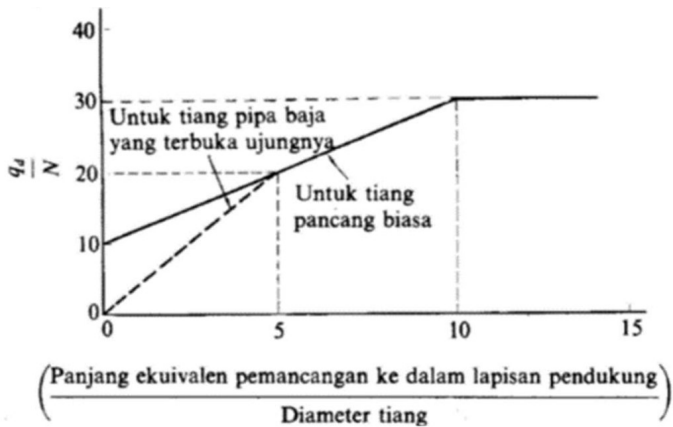
A = Luas ujung tiang (m^2)

U = Panjang keliling tiang

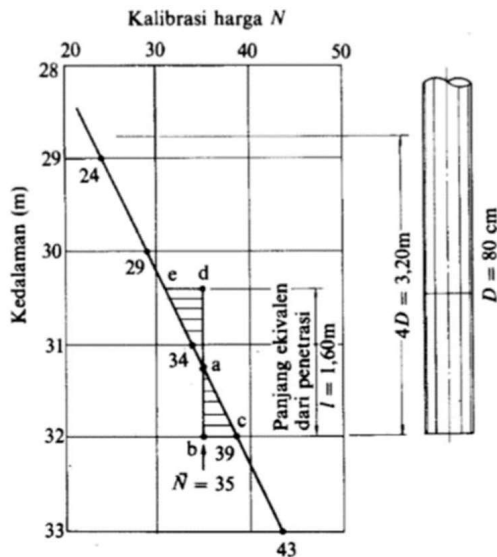
l_i = Tebal lapisan tanah

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 berikut,



Gambar 11 Intensitas daya dukung tiang pada ujung tiang (Kazuto Nakazawa, Mekanika Tanah & Teknik Pondasi)



Gambar 12 Grafik untuk menentukan panjang ekuivalen (Kazuto Nakazawa, Mekanika Tanah & Teknik Pondasi)

L adalah panjang ekivalen penetrasi pada lapisan pendukung dan diperoleh dari Gambar 2.12, D adalah diameter tiang, $\bar{N}$ adalah harga rata-rata N pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan berikut ini :

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} (\bar{N} \leq 40) \quad (2.36)$$

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

3.5.6 Breising

Elemen breising adalah baja dengan profil WF, HSS, atau BRB (*buckling restrained brace*) yang merupakan elemen yang mengalami gaya aksial saja akibat gaya lateral yang dialami oleh struktur.

Pemilihan elemen breising menggunakan profil baja PSB (Profil Struktur Berongga) atau HSS (*Hollow Steel Structure*) karena profil PSB memiliki kelebihan sebagai berikut:

- Penampang lebih stabil karena bentuknya lebih simetris daripada profil WF
- Elemen lebih ringan daripada profil WF
- Lebih kuat terhadap tekan
- Momen inersia lebih kecil daripada profil WF walau menahan gaya aksial yang sama besarnya

Perhitungan HSS (*Hollow Steel Structure*) sebagai berikut:

1. Penampang breising menerima tarik

a. Cek kelangsingan penampang

Tidak ada batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik, tetapi untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300. Saran ini tidak berlaku pada rebar atau ikatan angina penggantung dalam gaya tarik.

b. Kuat Tarik Nominal

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang netto.

- Penampang utuh

$$P_n = A_g x f_y \quad (2.37)$$

- Penampang bersih

$$P_n = A_e x f_u \quad (2.38)$$

dimana:

A_g = luas penampang utuh (mm^2)

A_e = luas penampang bersih (mm^2)

f_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

f_u = tegangan tarik minimum yang disyaratkan (MPa)

2. Penampang breising menerima tekan

a. Cek kelangsingan penampang

Penampang baja jika menerima tekan aksial akan mengalami tekuk. Tekuk pada baja ada 2 jenis yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Agar perencanaan batang tekan baja optimal, maka resiko terhadap tekuk lokal harus dihindari. Untuk itu dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing. Dilakukan dengan mengevaluasi rasio lebar dan tebal tiap-tiap elemen suatu penampang.

b. Kuat tekan nominal

Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan kuat tekan nominal penampang breising adalah tiga perilaku tekuk pada kolom yang terjadi, yaitu tekuk torsi, tekuk lentur, dan tekuk lentur-torsi. Tekuk lokal akan terjadi apabila klasifikasi penampang yang disyaratkan AISC 360-16 tidak memenuhi batasan rasio lebar-tebal atau langsing. Apabila penampang tidak langsing, maka tidak terjadi tekuk lokal.

$$P_n = A_g \times F_{cr} \quad (2.39)$$

dimana:

A_g = luas penampang utuh

F_{cr} = tegangan kritis akibat beban kritis yang menyebabkan kolom tertekuk lentur

F_{cr} dibagi dalam dua kondisi yaitu kondisi tekuk inelastis dan kondisi tekuk elastis. Tekuk inelastis merupakan perilaku tekuk pada kolom pendek dan tekuk elastis adalah perilaku tekuk pada kolom panjang. Nilai F_{cr} dapat dihitung berdasarkan syarat sebagai berikut:

- Tekuk Inelastis

$$KL / r \leq 4.71 \frac{E}{f_y} \text{ atau } f_y / f_e \leq 2.25 \quad (2.40)$$

$$F_{cr} = (0.658 \frac{f_y}{f_e}) f_y$$

- Tekuk Elastis

$$KL / r > 4.71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ atau } f_y / f_e > 2.25 \quad (2.41)$$

$$F_{cr} = 0.877 f_e$$

dimana:

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (2.42)$$

E = Modulus elastisitas baja (200.000 MPa)

K = Faktor konversi panjang efektif batang tekan

L = Panjang as to as kolom

r = radius girasi penampang ($\sqrt{\frac{I}{A}}$)

f_y = kuat leleh minimum, tergantung mutu baja (MPa)

3.5.6 Sambungan Baja

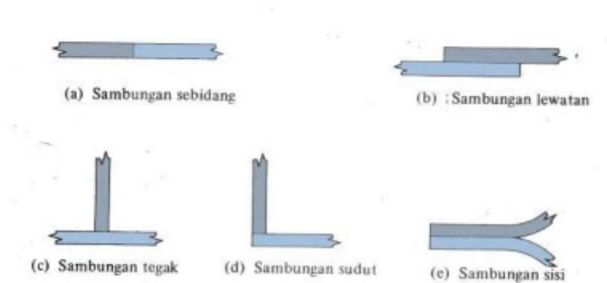
Perencanaan sambungan harus diperhitungkan saat penggabungan elemen. Pada desain breising, sering direncanakan menggunakan PSB (Profil Struktur Berongga) agar mampu

menahan gaya aksial tarik maupun tekan. Maka elemen PSB harus disambungkan ke elemen struktur beton dan desain sambungan PSB sedikit berbeda dan sambungan profil baja WF ke elemen struktur beton.

Desain sambungan aksial tarik tekan menurut AISC Design Guide 24: *HSS Connection* terdiri dari *end tee bolted connection* dan *slotted HSS/gusset bolted connection*

A. Sambungan Las

Sambungan las ada 3 tipe, yaitu tipe las sudut (*fillet weld*), tipe las tumpul (*groove weld*) dan tipe las baji dan pasak (*slot and plug weld*)



Gambar 13 Tipe Sambungan Las (Salmon dkk, 1991)

Kuat Nominal untuk sambungan las menurut AISC 360-16 Pasal J2 dapat dihitung dengan rumus :

- Logam Dasar

$$R_n = F_{nBM} \times A_{BM} \quad (2.43)$$

- Logam Las

$$R_n = F_{nw} \times A_{we} \quad (2.44)$$

dimana:

F_{nBM} = Tegangan nominal dari logam las $0.6 F_{EXX}$
(MPa)

F_{nw} = Tegangan nominal dari logam dasar (MPa)

A_{BM} = Luas penampang logam dasar (mm^2)

$$A_{we} = t_e \times L \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$F_{EXX} = \text{Kuat tarik kawat las (MPa)}$$

$$L = \text{Panjang pengelasan (mm)}$$

B. Sambungan Baut

1. Persyaratkan Spasi Baut

Persyaratkan jarak baut diatur dalam AISC 360-16 Pasal J3. AISC mensyaratkan bahwa spasi (s) yang direkomendasikan untuk semua tipe baut adalah $s = 3d$, d adalah diameter baut nominal. Penempatan lubang baut sebaiknya dibuat simetris, letak maupun diameternya agar mudah dalam fabrikasi dan pengerjaan.

2. Persyaratan Lubang Baut

Standarisasi lubang baut dimuat dalam AISC (2016) untuk menghindari banyaknya lubang. Ukuran dan lubang dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu standar, kebesaran(oversized), slot-pendek, slot-panjang, bentuk dan ukuran lubang baut sangat penting dalam menentukan kinerja sambungan tipe geser.

3. Kuat Tumpu Baut

Kuat tumpu baut digunakan untuk memperhitungkan deformasi yang terjadi. Jika besar deformasi yang terjadi mempengaruhi struktur, maka untuk kekuatan dihitung sebagai berikut:

$$Rn = 1.2l_c t f_u \leq 2.4dt f_u \quad (2.45)$$

Apabila deformasi yang terjadi tidak mempengaruhi struktur, maka kekuatannya dihitung dengan rumus:

$$Rn = 1.5l_c t f_u \leq 3dt f_u \quad (2.46)$$

dimana:

l_c = jarak bersih (mm) searah gaya, dihitung dari tepi lubang ke tepi pelat terluar (untuk baut pinggir) atau jarak bersih antar tepi lubang (untuk baut dalam)

t = tebal pelat tumpu (mm)

f_u = kuat tarik minimum pelat baja yang ditinjau (MPa)

d = diameter baut (mm)

4. Kuat Geser Baut

Apabila baut mengalami kerusakan geser satu baut saja, maka seluruh sambungan juga akan rusak. Perilaku kerusakan ini sifatnya mendadak dan non-daktail. Oleh karena itu, harus dilakukan evaluasi bahwa kuat geser baut lebih besar dari mekanisme yang lain.

Rumus kuat geser baut per satu bidang geser sebagai berikut:

$$Rn = F_{nv} \times A_b \quad (2.47)$$

dimana:

F_{nv} = tegangan geser nominal baut berdasarkan AISC 360-16 (MPa)

A_b = luas penampang baut (mm^2)

5. Kuat Geser Blok

Mekanisme keruntuhan pada baut ada geser blok. Geser blok terjadi karena kumpulan-kumpulan baut yang menyumbangkan kekuatan menyebabkan terjadi keruntuhan blok dalam satu eksatuan. Pada potongan blok terlihat ada bagian potongan yang tertarik (tegangan tarik) dan ada bagian potongan yang tergeser (tegangan geser)

$$Rn = 0.6f_u A_{nv} + U_{bs}f_u A_{nt} \leq 0.6f_y A_{gv} + U_{bs}f_u A_{nt} \quad (2.48)$$

dimana:

f_u = kuat tarik minimum pelat baja yang ditinjau (MPa)

f_y = kuat leleh minimum berdasarkan mutu baja (MPa)

A_{nv} = luas netto penampang yang mengalami gaya geser (mm^2)

A_{gv} = luas utuh penampang yang mengalami gaya geser (mm^2)

A_{nt} = luas netto penampang yang mengalami gaya Tarik (mm^2)

U_{bs} = Untuk tegangan tarik merata, nilai $U_{bs} = 1$, untuk

tegangan tarik tidak merata, nilai $U_{bs} = 0.5$

6. Pelat Landasan

Pada umumnya struktur baja mempunyai sambungan ke elemen beton. Menghubungkan kedua elemen tersebut diperlukan sambungan yaitu pelat landasan. Pada prinsipnya pelat landasan dirancang untuk mentransfer gaya aksial (P), geser (V), dan momen (M) ke elemen beton yang lebih lemah tanpa menimbulkan kerusakan yang terjadi. Karena mencakup 2 bahan, maka perencanaannya mengacu pada AISC untuk baja dan ACI untuk beton.

7. Kuat Tumpu Beton

Gaya aksial tekan diteruskan pelat landasan ke beton sesuai kriteria AISC 360-16 JI.8 atau ACI (2011). Kuat tumpu rencana yaitu ϕP_p dengan $\phi_c = 0.65$. kuat tumpu nominal P_p tergantung dari luasan beton tumpuan yang tersedia, berikut perumusannya.

Luasan beton tumpuan $\cong$ luas pelat landasan, maka,

$$P_p = 0.85 f_c' A_1 \quad (2.49)$$

atau dalam format tegangan tumpuan nominal, maka,

$$f_{p(\max)} = \phi_c \cdot 0.85 \cdot f_c' \quad (2.50)$$

3.5.7 Sambungan End Plate

Sambungan mengacu pada AISC Design Guide 24 pasal 5.4, desain sambungan untuk breising Hollow Structural Section (HSS) Circle yang disambungkan pada end plate. Dalam penentuan ketebalan pelat(tp), jumlah baut(n), dan tebal las(w) mengacu persamaan dari (Packer dan Henderson, 1997) sebagai berikut:

- Tebal minimum (tp)

$$tp \geq \sqrt{\frac{2P_t}{c F_{yp} \pi f_3}} \quad (2.51)$$

$$n \geq \frac{P_t}{R_c} \left\{ 1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \right\} \quad (2.52)$$

$$w \geq \frac{P_t \sqrt{2}}{F_{wt} \pi D} \quad (2.53)$$

3.6 Perencanaan Pembebanan

Beban-beban yang direncanakan dimasukkan sesuai dengan peraturan pada SNI 1727-2013 dan ASCE 7-2002. Untuk pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

3.6.1 Beban Mati

Beban mati mencakup berat semua bagian dari struktur yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan seperti utilitas, finishing, serta peralatan tetap yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari struktur tersebut.

Besaran beban mati menggunakan ASCE 7-2002, dimana beban mati sebagai berikut:

1. Beban waterprofing = 0,07 kN/m²
2. Beban mechanical electrical = 0,19 kN/ m²

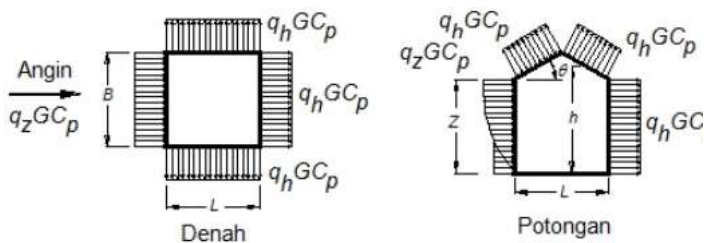
Berat beban mati yang lain dapat disesuaikan berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 3.1.2. Beban mati yang digunakan harus sesuai dengan berat sesungguhnya maka digunakan brosur sebagai panduan.

3.6.2 Beban Hidup

Beban hidup mencakup semua beban yang terjadi akibat dari pemakaian dan penghunian suatu bangunan, termasuk dalam barang yang ada didalamnya walau tidak permanen (PPIUG,1983. Bab I Pasal 1 ayat 2). Beban hidup diperhitungkan sesuai dengan fungsi bangunan Beban hidup dapat didefinisikan sesuai SNI 03-1727-2013 Tabel 4.1 sebagai berikut:

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1. Beban Rumah sakit | = 2,87 kN/ m ² |
| 2. Beban gedung perkantoran | = 2,40 kN/ m ² |
| 3. Beban pabrik berat | = 11,97 kN/ m ² |
| 4. Beban tempat rekreasi | = 4,79 kN/ m ² |
| 5. Beban rumah tinggal | = 1,92 kN/ m ² |
| 6. Beban fasilitas pendidikan | = 1,92 kN/ m ² |

3.6.3 Beban Angin



Gambar 14 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, Bab I Pasal 1 ayat 3).

3.6.4 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.

3.6.4.1 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 Kategori Risiko Bangunan
(SNI 1726:2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: • Bioskop • Gedung pertemuan	III

• Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo 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: • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi 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 dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran	
---	--

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • 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 • 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	IV
--	-----------

atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

3.6.4.2 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*).

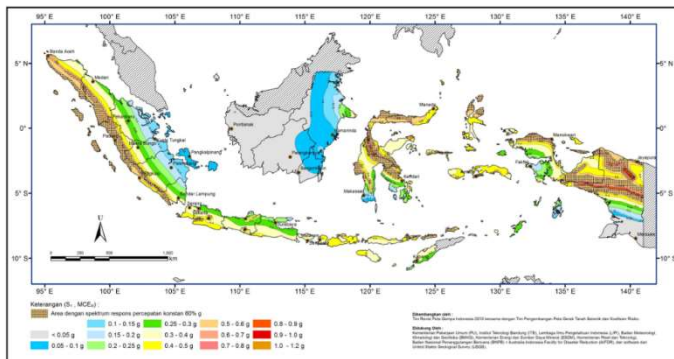
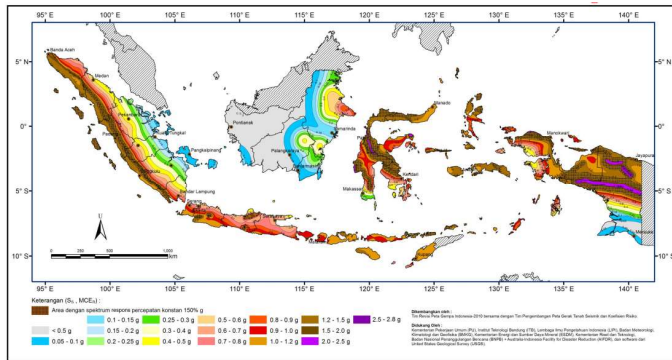
Tabel 3 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2012)

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, <i>I_e</i>
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

3.6.4.3 Wilayah Gempa dan Struktur Respons

1. Parameter percepatan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_I (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.



2. 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 3.

Tabel 4 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: • 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: • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) • 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

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_i} \quad (2.54)$$

3. 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 pers. 11.4-1 dan pers. 11.4-2, sebagai berikut:

$$S_{MS} = Fa \times Ss \quad (2.55)$$

$$S_{M1} = Fv \times S_1 \quad (2.56)$$

Koefisien situs Fa dan Fv mengikuti SNI 1726:2012 Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 5 Koefisien Fa (SNI 1726:2012)

Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, Ss					
Kelas Situs	$Ss \leq 0.25$	$Ss = 0.5$	$Ss = 0.75$	$Ss = 1.0$	$Ss = 1.25$
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 (SNI 1726:2012 pasal 6.10.1)

Tabel 6 Koefisien F_v
(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 (SNI 1726:2012 pasal 6.10.1)

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode singkat (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dihitung sesuai SNI 1726:2012 Pasal 6.5 persamaan 7 & 8.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.57)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.58)$$

5. 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 7 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

6. 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 Gambar 1 dan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

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

$$S_a = S_{DS}(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}) \quad (2.59)$$

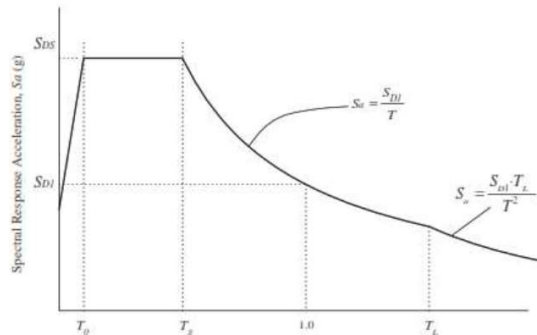
2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan:

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

dimana :

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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



Gambar 17 Spektrum Respon Desain. (SNI 1726:2012)

3.7 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 Pasal 4.2.2, 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

Sedangkan kombinasi beban layan untuk menghitung struktur bawah sesuai SNI 1726:2012 Pasal 4.2.3, sebagai berikut:

1. D
2. D + L
3. D + R
4. D + 0,75R + 0,75L
5. D + 0,7E
6. D + 0,75 (0,7E) + 0,75L + 0,75R

$$7. \quad 0,6D + 0,6W$$

$$8. \quad 0,6D + 0,6E$$

Struktur bawah harus memenuhi persyaratan dan didesain dengan mempertimbangkan pengaruh gempa horisontal maupun vertical

3.7.1 Pengaruh Beban Gempa

Dari kombinasi diatas, dapat diperhitungkan beban gempa yang didefinisikan sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.4.2

$$E = Eh + Ev \quad (2.60)$$

E = Pengaruh beban gempa

Eh = Beban gempa horizontal

Ev = Beban gempa vertical

3.7.1.1 Pengaruh Gempa Horisontal

Pengaruh gempa horizontal ditentukan sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.4.2.1, yaitu:

$$E_v = 0,2 \times S_{DS} \times D \quad (2.61)$$

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

D = beban mati

3.7.1.2 Pengaruh Gempa Vertikal

Pengaruh gempa vertikal ditentukan sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.4.2.1, yaitu:

$$E_h = \rho \times Q_E \quad (2.62)$$

Q_E = Gaya gempa

ρ = faktor redundansi berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.3.4

2.7.2 Faktor Kuat Lebih

Pada struktur pondasi perhitungan akan dihitung dengan memperhitungkan pengaruh faktor kuat lebih (Ω_0) yang diambil sesuai pada SNI 1726:2012 Tabel 9. Gedung yang ditinjau

menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa, maka nilai faktor kuat lebih (Ω_0) = 3

3.7.2 Kombinasi Layan Dengan Faktor Kuat Ijin

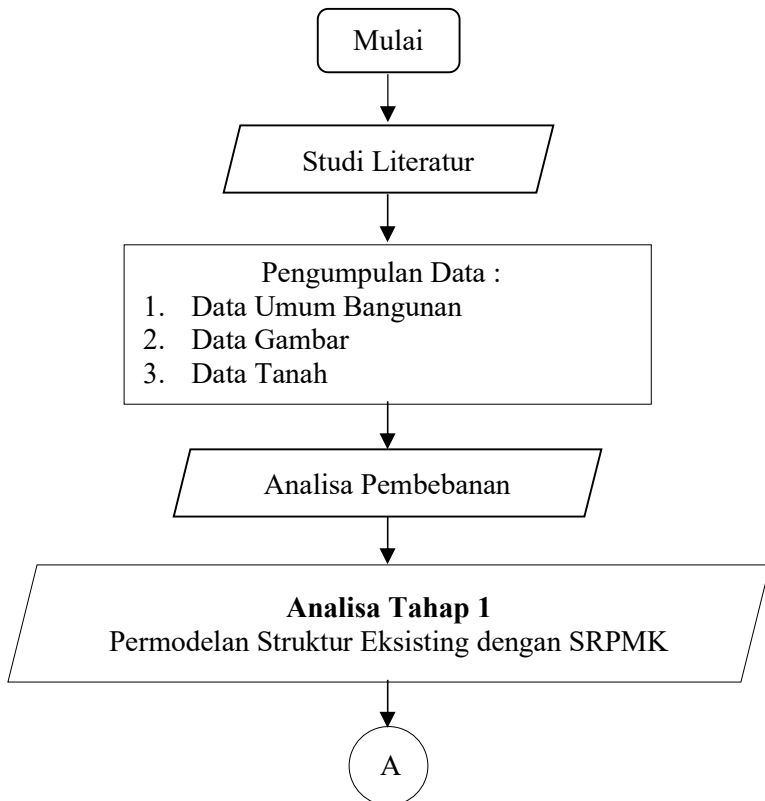
Kombinasi tegangan ijin yang terdapat gaya gempa didalamnya akan dikalikan dengan nilai faktor kuat lebih (Ω_0). Berikut kombinasi layan dengan faktor kuat lebih sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.4.3.2

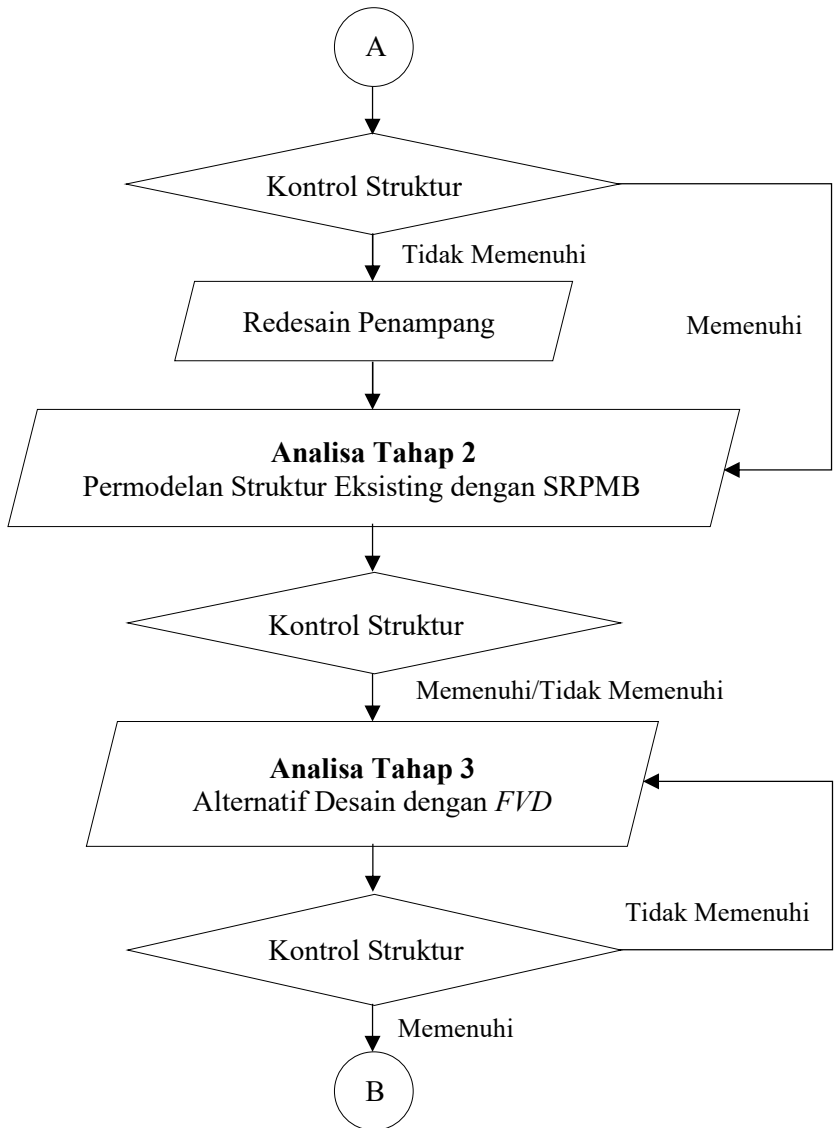
1. $(1,0 + 0,14S_{DS})D + H + F + 0,7\Omega_0 Q_E$
2. $(1,0 + 0,105S_{DS})D + H + F + 0,525\Omega_0 Q_E + 0,75L + 0,75R$
3. $(0,6 - 0,14S_{DS})D + 0,7\Omega_0 Q_E + H$

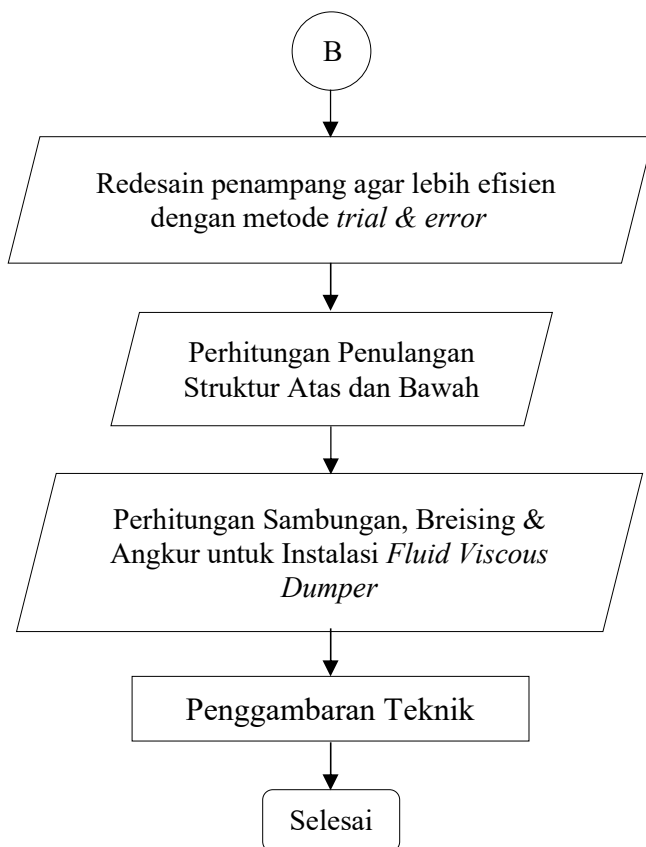
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penyelesaian Proyek Akhir

Adapun langkah-langkah proses penyelesaian proyek akhir ini yang digambarkan dengan menggunakan diagram alir berikut ini

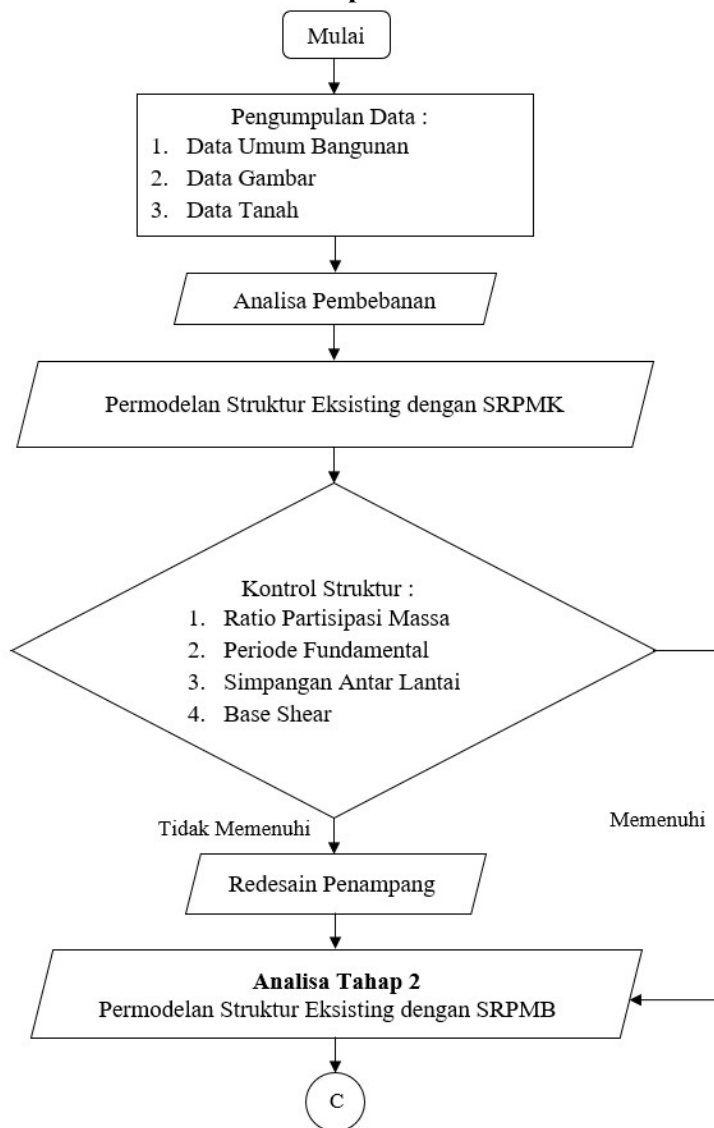






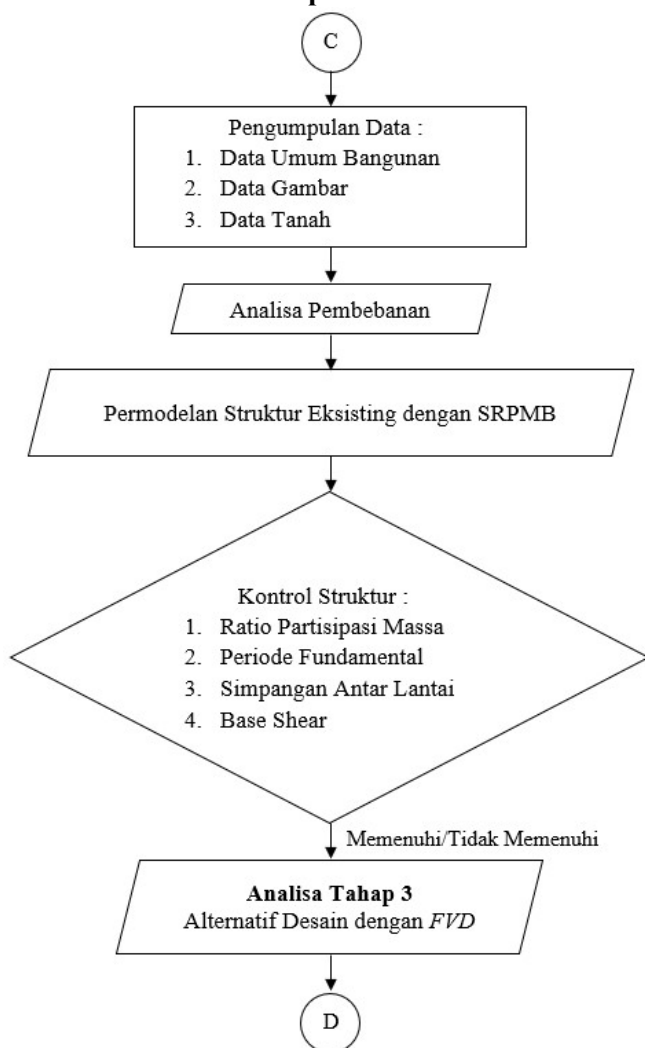
Gambar 18 Diagram penyelesaian proyek akhir

3.1.1 Analisis Tahap 1



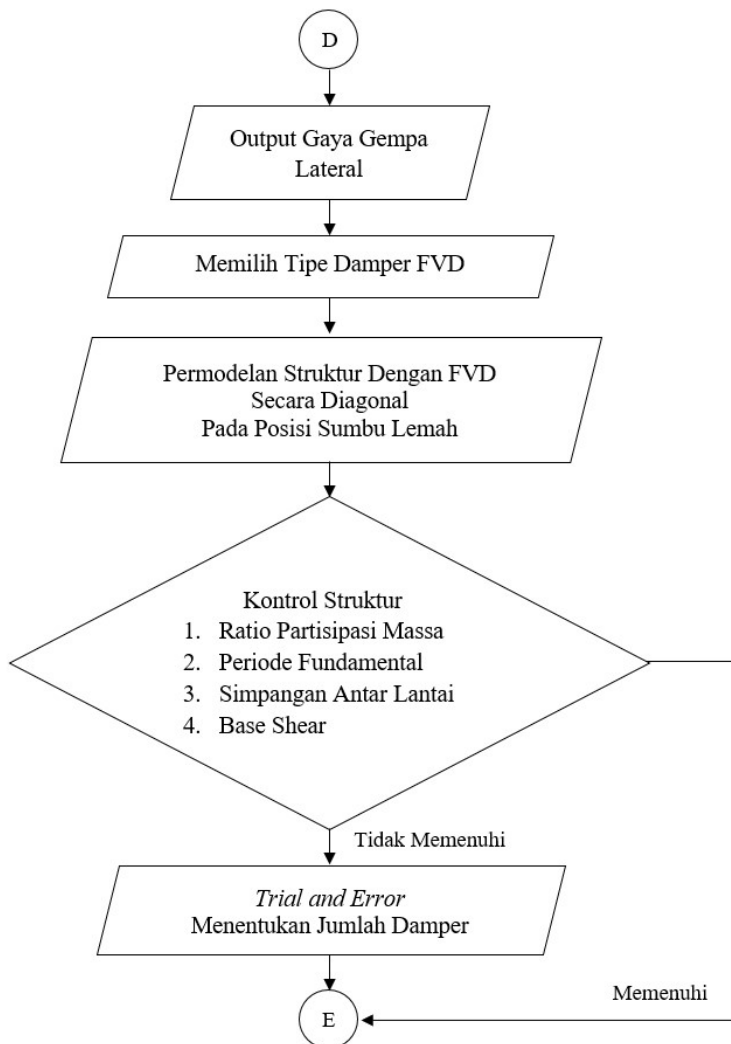
Gambar 19 Diagram analisis tahap 1

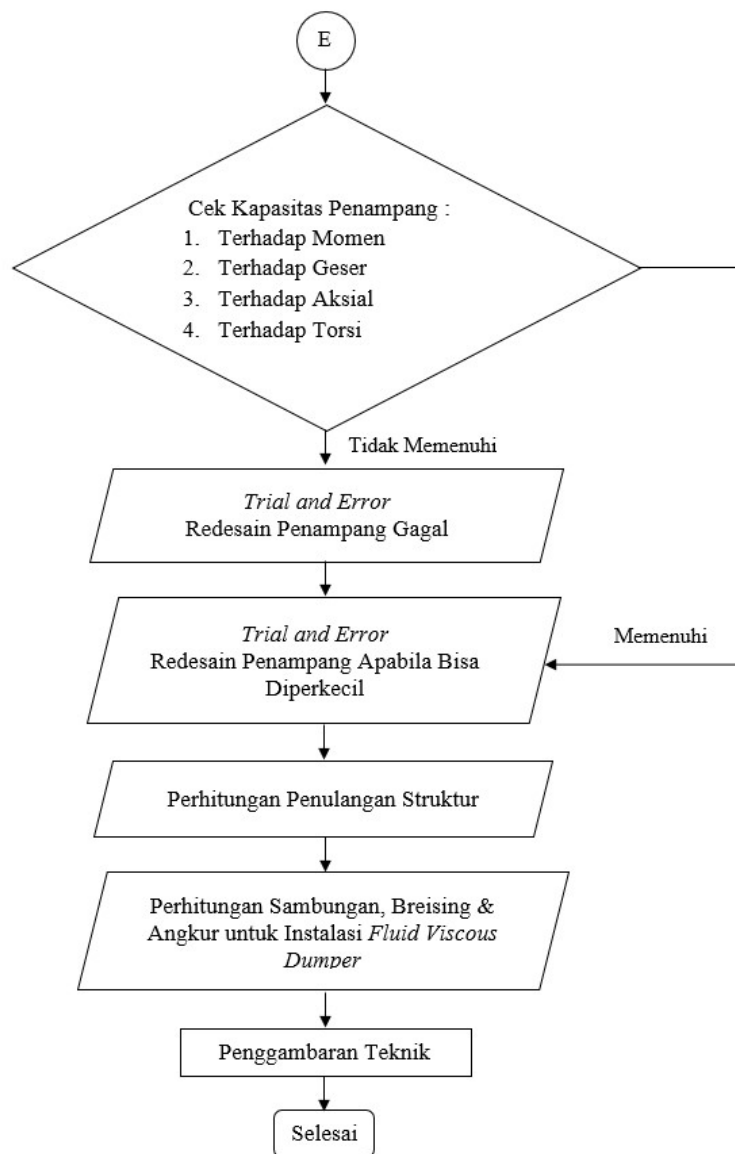
3.1.2 Analisis Tahap 2



Gambar 20 Diagram analisis tahap 2

3.1.3 Analisis Tahap 3





Gambar 21 Diagram analisis tahap 3

3.2 Pengumpulan Data dan Literatur

1. Pengumpulan Data

Berikut merupakan data yang telah dikumpulkan untuk menunjang penyusunan proyek akhir.

a. Data Umum Bangunan

- Nama Gedung = Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM)
- Lokasi = Kota Malang Jawa Timur
- Fungsi = Gedung Perkuliahan
- Tinggi Bangunan = 38,25 meter (8 lantai)
- Panjang Bangunan = 70 meter
- Lebar Bangunan = 28 meter
- Area Gempa = Malang
- Struktur Utama = Beton Bertulang

b. Data Material

- Kolom = Beton $f_c' = 30$ MPa
(Tul Lentur & Tul Geser $f_y = 390$ MPa)
- Balok = Beton $f_c' = 30$ MPa
(Tul Lentur & Tul Geser $f_y = 390$ MPa)
- Plat = Beton $f_c' = 30$ MPa
(Tul Lentur & Tul Geser $f_y = 390$ MPa)

c. Data Gambar

Data gambar yang digunakan adalah gambar arsitektur (terlampir)

d. Data Tanah

Data tanah SPT (*Standart Penetration Test*) di Malang berasal dari data Testana *Engineering*

e. Menentukan Kategori Desain Seismik Struktur

Kategori Desain Seismik (KDS) sistem struktur ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012

- I. Kategori Resiko Bangunan Gedung
Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2 Tabel 1, bangunan dengan fungsi sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan masuk dalam kategori resiko IV.
- II. Faktor Keutamaan Gempa
Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2 Tabel 2, bangunan dengan kategori resiko IV memiliki factor keutamaan gempa (I_e) 1,5.
- III. Klasifikasi Situs
Didapatkan nilai N-SPT rata-rata dari tanah sebesar = 24,08 dimana menurut SNI 1726:2012 tabel 3, untuk $15 \leq N \leq 50$ termasuk SD (Tanah Sedang)
- IV. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Menurut SNI 1726: 2012 Gambar 9 percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) pada kota Surabaya bernilai 0,7 seperti pada Gambar 3.6



Gambar 22 Percepatan batuan dasar periode pendek (S_s)
(SNI 1726:2012)

Menurut SNI 1726:2012 Gambar 10 percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) pada kota Malang bernilai 0,3 seperti pada Gambar 22.



Gambar 23 Percepatan batuan dasar periode 1 detik (S1).
(SNI 1726:2012)

- V. Menentukan koefisien situs F_a dengan interpolasi dan koefisien situs F_v melalui tabel 4 dan 5 SNI 1726:2012 didapatkan nilai $F_a = 1,24$ dan nilai $F_v = 1,8$.
- VI. Parameter Percepatan Spektral Desain Berdasarkan SNI 1726:2012 Pers. 5 dan Pers. 6 didapatkan

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,24 \cdot 0,7 = 0,868$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 1,8 \cdot 0,3 = 0,54$$
 Berdasarkan SNI 1726:2012 Pers. 7 dan Pers. 8 didapatkan:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0,58$$

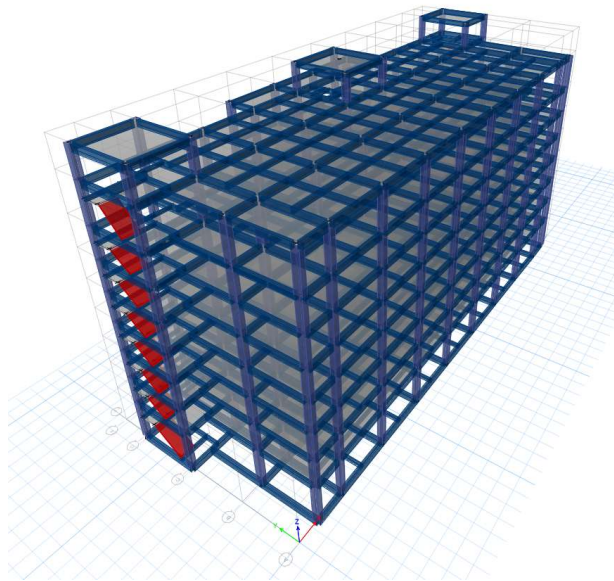
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0,36$$
- VII. Menentukan Kategori Desain Seismik Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 6 dan Tabel 7, untuk $0,50 \leq SDS$; $0,20 \leq SD1$ dengan kategori resiko IV didapatkan Kategori Desain Seismik (KDS) D.

3.3 Permodelan Struktur

Bangunan dimodelkan menggunakan program bantu Etabs secara 3D dengan memasukkan dimensi elemen struktur dan beban-beban sesuai perencanaan sebelumnya. Permodelan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pertama pada kondisi eksisting dimana permodelan dibuat sesuai dengan kondisi bangunan

sebenarnya dan yang kedua pada kondisi eksisting dengan penambahan damper *fluid viscous damper* (FVD) dimana sebelumnya dilakukan perencanaan terlebih dahulu mengenai jenis, penempatan serta banyaknya FVD yang akan dimodelkan.

Lalu dari dua permodelan ini akan dibandingkan hasilnya melalui Analisa struktur untuk mendapatkan seberapa besar kemampuan redaman yang diberikan oleh damper tersebut. Selanjutnya hasil *output* dari permodelan didapatkan gaya dalam sebagai dasar perencanaan elemen struktur nanti.



Gambar 24 Permodelan eksisting bangunan

3.4 Analisis Pembebanan

Dalam analisa dan perencanaan suatu struktur, pembebanan merupakan salah satu aspek penting agar struktur tersebut sesuai dengan fungsi yang diharapkan nantinya. Adapun

beban-beban yang diinputkan meliputi beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin.

1. Beban Mati

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

1. Berat sendiri elemen struktur (self weight, DL)
 - Berat beton : $23,6 \text{ kN/m}^2 = 2360 \text{ kg/m}^2$ (ASCE 07-2002 Tabel C3-1)
2. Berat sendiri tambahan (superimposed dead load, SDL)
 - Berat dinding bata ringan = 600 kg/m^2 (Brosur CITICON®)
 - Beban keramik = $16,5 \text{ kg/m}^2$ (Brosur Arwana Ceramics tipe AR 3867 BK)
 - Beban spesi = 21 kg/m^2 (SNI 1727-2013 Pasal 3.1)
 - Beban ducting mechanical atau pemipaan air bersih dan air kotor (SNI 1727-2013 Pasal 3.1) = 25 kg/m^2
 - Beban Plafon Kalsiboard = $9,2 \text{ per } m^2$ (Brosur GRC Board)
 - Beban Partisi Plafon tipe 8 = $16,8 \text{ kg per } m^2$ (Brosur Kalsipart 8)
 - Beban Plester = $20 \text{ kg/m}^2/10 \text{ mm}$ (Brosur DRYMIX®)
 - Beban Acian dinding = $3 \text{ kg/m}^2/2 \text{ mm}$ (Brosur Acian NPS450 DRYMIX®)
 - Beban Lift = untuk lift yang dipakai adalah sesuai brosur.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban tidak tetap artinya dapat berubah-ubah yang dapat mempengaruhi berat bangunan.

1. Beban Hidup (L)
 - Beban ruang kelas : $1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$

- Beban ruang pertemuan : $4,79 \text{ kN/m}^2 = 479 \text{ kg/m}^2$
- Beban bordes dan anak tangga : $1,33 \text{ kN/m}^2 = 133 \text{ kg/m}^2$ (SNI 03017272013 Pasal 4.5.4)

2. Beban hidup atap (Lr)

- Beban atap datar : $0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

3. Beban Angin

Beban angin menagcu pada SNI 1727-2013 untuk nilai faktor kepentingan Angin yang selanjutnya di input pada kombinasi pembebanan permodelan struktur. Berikut di bawah ini merupakan tabel faktor kepentingan berdasarkan kategori risiko bangunan.

Kategori Risiko dari Tabel 1.5-1	Faktor Kepentingan Salju, I_s	Faktor Kepentingan Es-Ketebalan, I_t	Faktor Kepentingan Es-Angin, I_w	Faktor Kepentingan Seismik, I_e
I	0,80	0,80	1,00	1,00
II	1,00	1,00	1,00	1,00
III	1,10	1,25	1,00	1,25
IV	1,20	1,25	1,00	1,50

*Faktor kepentingan komponen, I_s , berlaku untuk beban gempa, tidak termasuk dalam tabel ini karena tergantung pada kepentingan dari komponen individual daripada bangunan secara keseluruhan, atau huniannya. Lihat ke Pasal 1.3.1.3.

Gambar 25 Faktor kepentingan berdasarkan kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban salju, es, dan gempa (SNI 1727, 2013)

4. Beban Gempa

Untuk peraturan gempa mengacu pada SNI 1726-2012.

5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727: 2013 yaitu sebagai berikut:

- $1,4 D$
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,0 E + L$
- $0,9 D + 1,0 W$
- $0,9 D + 1,0 E$

Dimana :

- D : beban mati
- E : beban gempa
- L : beban hidup
- Lr : beban hidup atap
- R : beban hujan
- W : beban angin

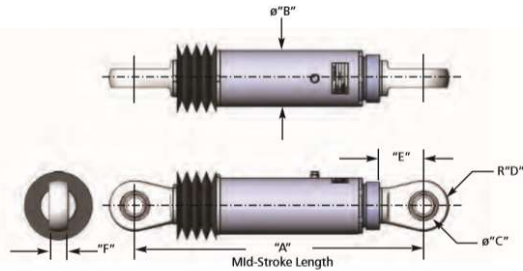
3.5 Tipe *Fluid Viscous Damper (FVD)*

Pemilihan atau penentuan tipe FVD yang digunakan berdasarkan output dari gaya gempa yang telah di-input dalam permodelan struktur. Output yang dimaksud adalah gaya F_x dan F_y kemudian diambil nilai terbesar yang bekerja pada tiap join komponen strukturnya. Adapun beberapa tipe fluid viscous damper dari Brosur ITT *Infrastructure Product* yang dibedakan menurut besar kekuatan redamannya yaitu :

Tabel 8 Tipe *Fluid Viscous Damper (ITT Infrastructure Product)*

Tipe	Model	Kekuatan Redaman Maksimal (kN)	Panjang Alat (mm)	Berat (Kg)
1	FVD-H-500-150	500	969	80
2	FVD-H-750-150	750	1020	125
3	FVD-H-1000-150	1000	1070	173
4	FVD-H-1500-150	1500	1140	274
5	FVD-H-2000-150	2000	1210	385

The FVD-H Series dampers are typically utilized on building applications, mounted indoors, where the damper is not under constant vibration or movement.



Catalog No./Model	Max. Damping Force (kN)	Stroke ±5 (mm)	Pin-Pin at Mid-Stroke "A" (mm)	Max. O.D. "B" (mm)	Mounting Pin Diameter "C" (mm)	Clevis Radius "D" (mm)	Clevis Depth "E" (mm)	Clevis/Bearing Width "F" (mm)	Unit Weight (kg)
FVD-H-500-150	500	75	969	147	51	70	89	48	80
FVD-H-750-150	750	75	1020	178	64	86	112	58	125
FVD-H-1000-150	1000	75	1070	201	77	104	134	67	173
FVD-H-1500-150	1500	75	1140	248	89	120	156	77	274
FVD-H-2000-150	2000	75	1210	286	102	135	178	86	385

Note 1: Various stroke lengths available. Pin-Pin length at mid-stroke position can be determined by adding 2.5x the stroke length change.

2: Velocity exponent α is available from 0.2 - 1.0

3: Weight and dimensions are for reference only. Consult ITT Endline Inc. for detailed information before placing order.

4: Additional designs and modifications are available based on project specifications.

Damping Characteristics $F = CV^{\alpha}$

F: Damping Force, kN

V: Relative Velocity, m/sec

C: Damping Coefficient, kN/(m/sec) α

α : Velocity Exponent

Gambar 26 Brosur Fluid Viscous Damper (ITT Infrastructure Product)

3.6 Input Parameter FVD Dalam Permodelan Struktur

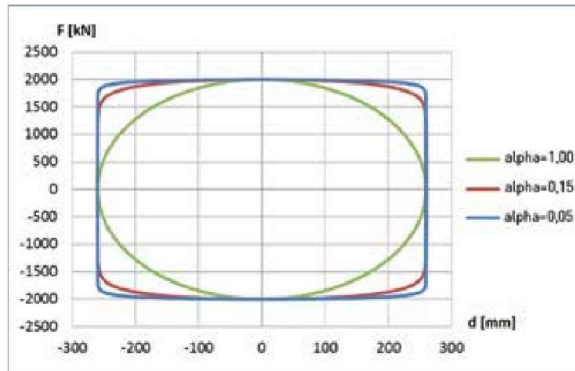
Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana cara memasukkan parameter *fluid viscous damper* ke dalam permodelan struktur menggunakan program bantu Etabs. Sebagai contoh data yang akan dimasukkan menggunakan FVD tipe 1 yaitu FVD-H-500-150 dengan data-data sebagai berikut sesuai dengan brosur :

Model : FVD-H-500-150
 Gaya Damping : 500 kN
 Panjang FVD : 969 mm
 Diameter FVD : 147 mm
 Berat : 80 Kg
 Eksponen Velositas (α) : 1.0

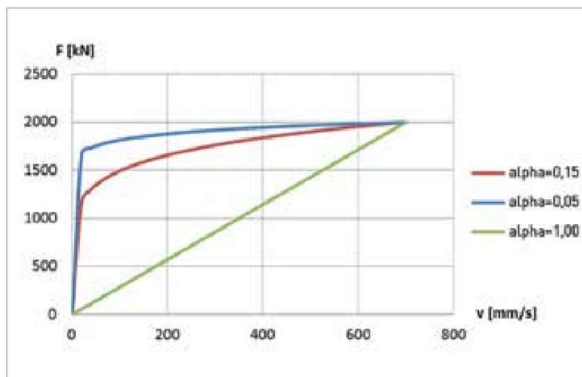
Kecepatan (V) : 150 m/s

Perpindahan (Δ) : 0.25 m

Kecepatan (V) didapatkan dari grafik hubungan antara gaya dan velositas seperti grafik berikut :



Gambar 27 Grafik hubungan gaya dan perpindahan (*Tensa Product Catalogue Vol.6*)



Gambar 28 Grafik hubungan gaya dan velositas (*Tensa Product Catalogue Vol.6*)

Digunakan eksponen velositas (α) sebesar 1.0 (linear viscous damper) atau bentuk permodelan yang disederhanakan. Dari grafik hubungan gaya dan velositas, dengan α sebesar 1.0 dan dengan

gaya (F) damping sebesar 500 kN, didapatkan perpindahan sebesar 0.25 m dan kecepatan (v) sebesar 150 mm/s. Kemudian menghitung kekakuan damper (stiffness) dengan menggunakan persamaan berikut.

$$K = \frac{F}{\Delta} = \frac{500 \text{ kN}}{0,25 \text{ m}} \rightarrow K = 2000 \text{ kN/m}$$

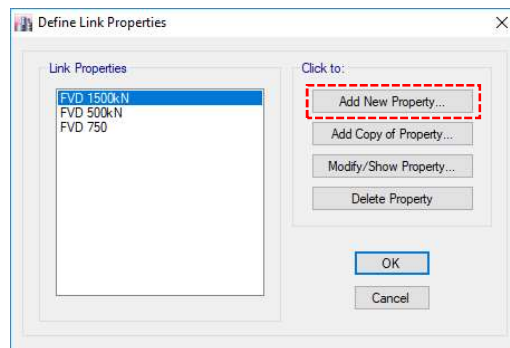
Koefisien damping (damping coefficient) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$F = C.V^{\alpha} \rightarrow C = \frac{F}{V^{\alpha}} = \frac{500 \text{ kN}}{150^1 \text{ mm/s}} = 3,333 \text{ kN} - \text{s/mm}$$

Setelah data yang dibutuhkan telah lengkap, selanjutnya bisa dilakukan input parameter melalui *link/support properties*.

Menu	Toolbar
<u>D</u> efine > <u>S</u> ection Properties > <u>L</u> ink/Support Properties	

Pada menu *define link properties* lalu klik *add new property* untuk membuat property atau data *link/support* baru.



Gambar 29 Kotak dialog *define link properties*

Setelah itu akan muncul kotak input *link property data* dimana ada beberapa parameter umum yang harus diisi sesuai data yaitu *name*, *mass & weight*. Selanjutnya bisa mengikuti tampilan pada gambar dibawah ini.

Link Property Data

General

Link Property Name: FVD 500 kN
Link Property Notes: Modify/Show Notes...

Link Type: Damper - Exponential
P-Delta Parameters: Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 80 kg
Weight: 0.8 kN

Rotational Inertia 1: 0 ton-m²
Rotational Inertia 2: 0 ton-m²
Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☒	Modify/Show for U1...
☐ U2	☐	☐	Modify/Show for U2...
☐ U3	☐	☐	Modify/Show for U3...

Direction: ☐ R1 ☐ R2 ☐ R3
Fixed: ☐ ☐ ☐
NonLinear: ☐ ☐ ☐
Properties: Modify/Show for R1... Modify/Show for R2... Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

OK Cancel

Gambar 30 Input parameter umum FVD ke Etabs

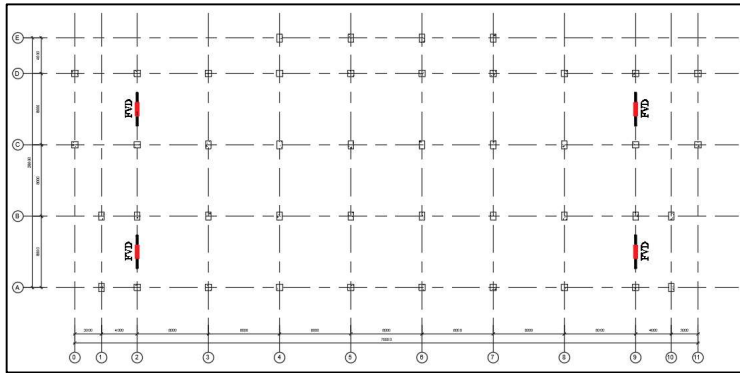
Kemudian bisa dilanjutkan untuk mengisi parameter atau data redaman yang telah dihitung sebelumnya yaitu *effective stiffness (K)* dan *Effective Damping (C)*.

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	FVD 500 kN
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	2000 kN/m
Effective Damping	3333.33 kN-s/m
Nonlinear Properties	
Stiffness	d kN/m
Damping	0 kN*(s/m) ^{Cexp}
Damping Exponent	1

Gambar 31 Input parameter K & C FVD ke Etabs

3.7 Penempatan *Fluid Viscous Damper (FVD)*

Lokasi penentuan tempat pemasangan damper FVD pada tugas akhir ini diletakkan pada daerah sumbu lemah bangunan yang memiliki gaya *output* terbesar pada joinya. Pada sumbu lemah bangunan memiliki gaya inersia yang lebih besar akibat gempa yang terjadi. Oleh karena itu, dengan pemasangan FVD pada daerah sumbu lemah bangunan diharapkan dapat mereduksi dengan mendisisipasi gaya gempa atau lateral yang terjadi. Namun perlu diperhatikan dalam penentuan lokasi FVD harus disesuaikan dengan fungsi ruang kembali sehingga dengan adanya penambahan damper ini tidak mengurangi akan fungsi ruang yang telah direncanakan sebelumnya. Seperti contoh diletakkan pada lokasi portal yang didesain menjadi dinding atau semacamnya.



Gambar 32 Sketsa penempatan *fluid viscous damper*

3.8 Analisa Struktur

Dari hasil analisis menggunakan program bantu Etabs dilakukan kontrol struktur untuk memperoleh struktur yang idela sesuai standart. Adapun kontrol struktur tersebut adalah sebagai berikut:

3.8.1 Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Partisipasi ragam terkombinasi minimum 100% dengan ragam berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1. Tujuan ini harus diizinkan untuk mewakili semua mode dengan periode kurang dari 0,05 s dalam mode tubuh kaku tunggal yang memiliki periode 0,05 s.

Alternatifnya, analisis harus diizinkan untuk dimasukkan sejumlah mode minimum untuk memperoleh partisipasi massa modal gabungan paling sedikit 90% dari massa actual dalam setiap arah horizontal orthogonal dari respon yang dipertimbangkan dalam model.

3.8.2 Kontrol Periode Fundamental

Pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental, berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2, diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan T_a .

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3.1)$$

dimana :

h_n = ketinggian struktur

C_t = koefisien dari SNI 1726:2012 Tabel 15

x = koefisien dari SNI 1726:2012 Tabel 15

3.8.3 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Tujuan kontrol simpangan antar lain suatu struktur untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.6 persamaan simpangan antar lantai sebagai berikut:

$$\Delta i \leq \Delta_a \quad (3.2)$$

dimana:

Δi = simpangan yang terjadi

$$\Delta i = \frac{C_d \times \delta_{ei}}{I}$$

Δ_a = batas simpangan

$$\Delta_a = 0,02 h_{sx}$$

h_{sx} = ketinggian antar lantai

3.8.4 Kontrol Base Shear

Nilai $V_{dinamik}$ (V_t) disyaratkan pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.4 minimal 85% dari V_{statik} (V). ($V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$). Bila syarat ini tidak terpenuhi maka gaya geser dasar ragam perlu dikalikan faktor skala gaya 0,85 V/V_t (SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1)

3.8.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Kontrol ini dilakukan untuk memeriksa apakah kondisi penampang struktur yang telah direncanakan sebelumnya telah memenuhi akibat gaya-gaya yang ditimbulkan oleh bangunan yaitu momen, geser, aksial dan torsi. Kontrol ini dilakukan melalui permodelan struktur menggunakan program bantu Etabs. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Pastikan permodelan struktur telah dilakukan *run analysis*
2. Pilih penampang struktur utama bangunan yang ada seperti balok, kolom atau dinding geser yang akan diperiksa

Menu	Toolbar
<u>S</u> elect > <u>S</u> elect > <u>P</u> roperties > <u>F</u> rame <u>S</u> ection	

3. Periksa rencana tulangan untuk balok dan kolom apakah telah sesuai dengan standart yang direncanakan

Menu	Toolbar
<u>D</u> esign > <u>C</u> oncrete Frame Design > <u>R</u> ebar Selection	

4. Sesuaikan framing type atau sistem rangka pemikul momen yang digunakan.

Menu	Toolbar
<i><u>D</u>esign > <u>C</u>oncrete Frame Design > <u>V</u>iew/Revise Overwites</i>	

5. Pilih kombinasi yang akan digunakan untuk melakukan analisis kapasitas penampang

Menu	Toolbar
<i><u>D</u>esign > <u>C</u>oncrete Frame Design > <u>S</u>elect Design Combinations</i>	

6. Cek kembali langkah-langkah sebelumnya dan pemeriksaan kapasitas penampang bisa dimulai

Menu	Toolbar
<i><u>D</u>esign > <u>C</u>oncrete Frame Design > <u>S</u>tart Design/Check</i>	

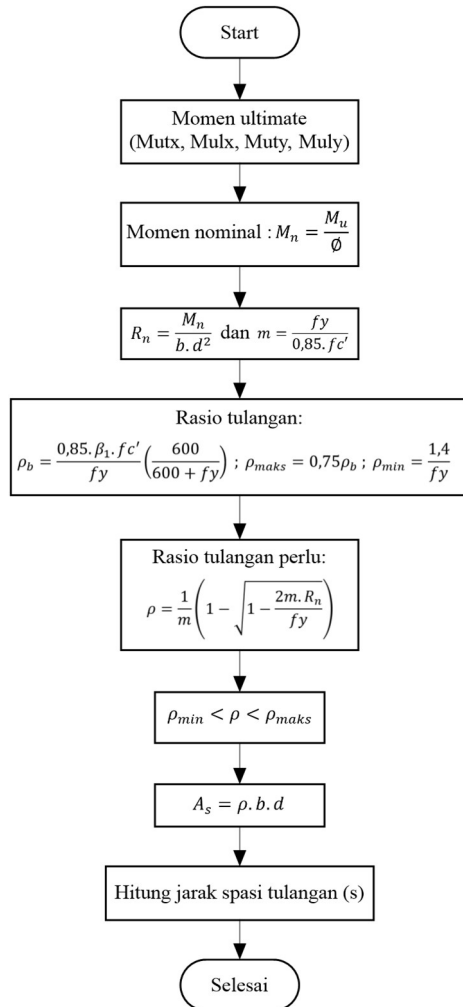
7. Selanjutnya periksa secara manual tiap elemen yang telah dipilih sebelumnya apakah ada yang berwarna merah atau tidak. Apabila ada salah satu elemen yang berwarna merah maka elemen tersebut telah gagal dalam menerima gaya yang ada. Untuk mengetahui gaya apakah yang menyebabkan elemen tersebut gagal dapat dilakukan dengan memilih elemen tersebut kemudian klik kanan pada mouse dan pilih menu *summary*.

3.9 Perhitungan Struktur

Perhitungan struktur berdasarkan SNI 2847:2013 dengan menggunakan data yang diperoleh dari permodelan struktur program bantu Etabs.

3.7.1 Pelat

Langkah-langkah perhitungan tulangan elemen plat adalah sebagai berikut :



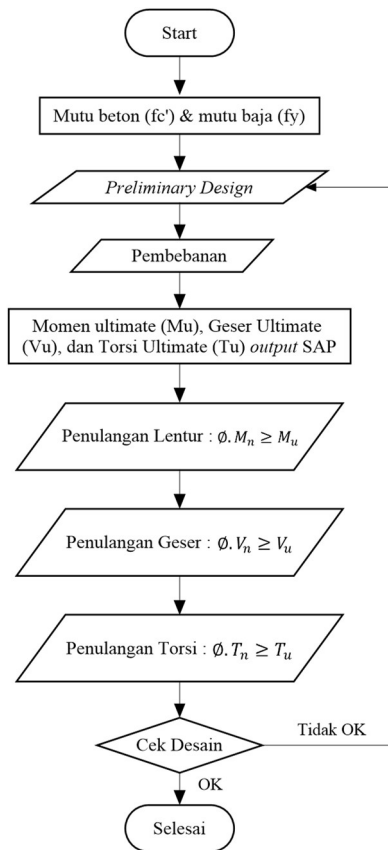
Gambar 33 Prosedur perhitungan tulangan plat

3.7.2 Balok

Peraturan yang digunakan untuk perhitungan penulangan balok yaitu :

- Penulangan lentur balok berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.2.2
- Penulangan geser balok berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11
- Kontrol tulangan torsi berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.

Langkah-langkah perhitungan tulangan pada balok adalah sebagai berikut:



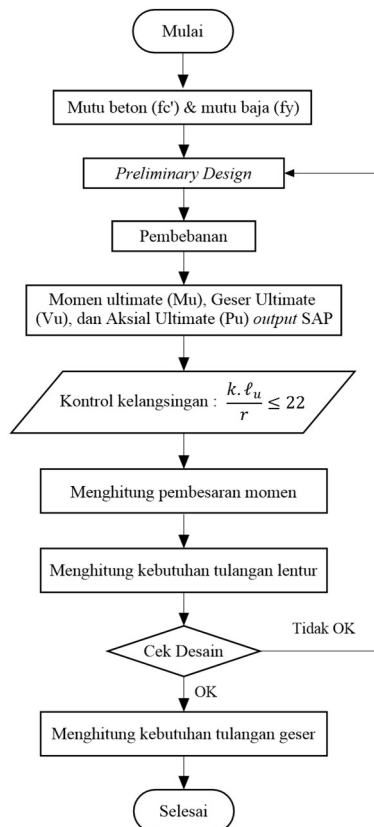
Gambar 34 Prosedur perhitungan tulangan balok

3.7.3 Kolom

Peraturan yang digunakan untuk perhitungan penulangan kolom adalah sebagai berikut:

- Penulangan kolom akibat beban aksial tekan (penulangan memanjang) direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10 dan 21.3.5.1.
- Penulangan geser direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.2.3.

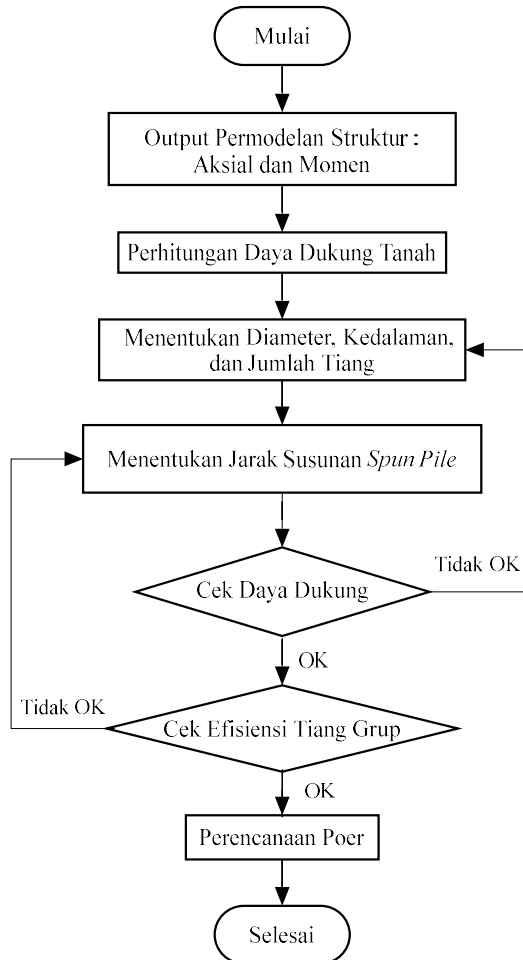
Langkah-langkah perhitungan tulangan pada kolom adalah sebagai berikut:



Gambar 35 Prosedur perhitungan tulangan kolom

3.7.4 Pondasi

Pada gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) direncanakan menggunakan pondasi tipe *spun pile* atau tiang pancang. Adapun langkah-langkah perhitungan perencanaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :



Gambar 36 Prosedur perhitungan pondasi

3.10 Penggambaran Teknik

Penggambaran teknik hasil perencanaan menggunakan *software* AutoCad meliputi :

1. Gambar arsitektural, meliputi :
 - a. Gambar denah
 - b. Gambar tampak
 - c. Gambar potongan (memanjang dan melintang)
2. Gambar structural, meliputi :
 - a. Gambar pondasi
 - b. Gambar denah balok
 - c. Gambar denah pelat
 - d. Gambar denah kolom
3. Gambar penulangan, meliputi :
 - a. Gambar penulangan pondasi
 - b. Gambar penulangan sloof
 - c. Gambar penulangan kolom
 - d. Gambar penulangan balok
 - e. Gambar penulangan pelat
4. Gambar detail, meliputi :
 - a. Gambar detail sambungan balok-kolom
 - b. Gambar detail sambungan *gusset plate*
 - c. Gambar detail angkur

BAB IV

ANALISA PERMODELAN STRUKTUR

4.1 Pembebanan

Sebelum melakukan analisa, diperlukan input beban bangunan pada pemodelan. Pembebanan pada bangunan ini disesuaikan dengan SNI 1727:2013 Persyaratan Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan brosur produk yang digunakan sebagai bahan/material bangunan. Untuk beban gempa pada bangunan disesuaikan dengan SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

4.1.1 Beban Mati

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

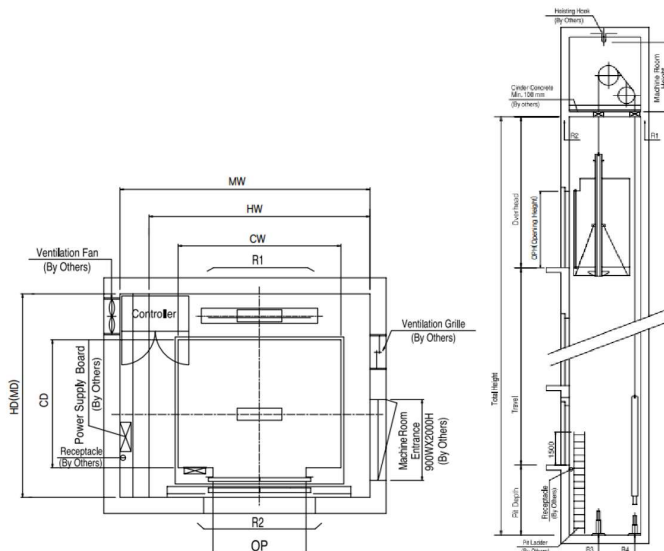
1. Berat sendiri elemen struktur (self weight, DL)
 - Berat beton : $23,6 \text{ kN/m}^2 = 2360 \text{ kg/m}^2$ (ASCE 07-2002 Tabel C3-1)
2. Berat sendiri tambahan (superimposed dead load, SDL)
 - Berat dinding bata ringan = 600 kg/m^2 (Brosur CITICON ®)
 - Beban keramik = $16,5 \text{ kg/m}^2$ (Brosur Arwana Ceramics tipe AR 3867 BK)
 - Beban spesi = 21 kg/m^2 (SNI 1727-2013 Pasal 3.1)
 - Beban ducting mechanical atau pemipaan air bersih dan air kotor (SNI 1727-2013 Pasal 3.1) = 25 kg/m^2
 - Beban Plafon Kalsiboard = $9,2 \text{ per } m^2$ (Brosur GRC Board)
 - Beban Partisi Plafon tipe 8 = $16,8 \text{ kg per } m^2$ (Brosur Kalsipart 8)
 - Beban Plester = $20 \text{ kg/m}^2/10 \text{ mm}$ (Brosur DRYMIX®)

- Beban Acian dinding = 3 kg/m²/2 mm (Brosur Acian NPS450 DRYMIX®)
- Beban Lift = untuk lift yang dipakai adalah merk Sigma tipe iris dengan reaksi adalah sebagai berikut :

Tabel 9 Spesifikasi Lift merk Iris

Speed (m/s)	Capacity (person/kg)		Reaction				Door Opening
			Static Load				
	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



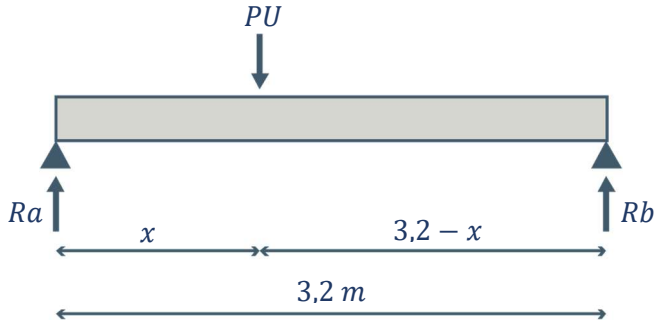
Gambar 37 Denah potongan *Hoistway Elevators* (IRIS, 2012)

Perhitungan pembebanan pada balok lift penggantung lift adalah sebagai berikut:

Panjang balok penggantung lift = 3,2 m Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.6.3 dimana beban impact akibat mesin timbal balik, maka beban harus dikalikan sebesar 50%.

$$Ra = R1 \times KLL = R1 \times 150\% = 15300 \text{ Kg}$$

$$Rb = R2 \times KLL = R2 \times 150\% = 10500 \text{ Kg}$$



Gambar 38 Pembebanan balok penggantung lift

$$\Sigma M_a = 0$$

$$0 = (3,2m \times 10500kg) - (P_u \times x) \rightarrow P_u = \frac{33600kg.m}{x}$$

$$\Sigma M_b = 0$$

$$0 = (3,2m \times 15300kg) - P_u(3,2m - x)$$

$$0 = 48960kg.m - \frac{33600kg.m}{x}(3,2m - x)$$

$$0 = 48960kg.m - \frac{107520kg.m^2}{x} + 33600kg.m$$

$$0 = 82560kg.m - \frac{107520kg.m^2}{x}$$

$$x = \frac{107520kg.m^2}{82560kg.m} = 1.30233 \text{ m}$$

$$P_u = \frac{33600kg.m}{x} = \frac{33600kg.m}{1.30233 \text{ m}} = 25800 \text{ kg} = 258 \text{ kN}$$

4.1.2 Beban Hidup

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:

1. Beban Hidup (L)
 - Beban ruang kelas : $1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$
 - Beban ruang pertemuan : $4,79 \text{ kN/m}^2 = 479 \text{ kg/m}^2$
 - Beban bordes dan anak tangga : $1,33 \text{ kN/m}^2 = 133 \text{ kg/m}^2$ (SNI 03017272013 Pasal 4.5.4)
2. Beban hidup atap (Lr)
 - Beban atap datar : $0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

4.1.3 Beban Air Hujan

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

$$R = 0.0098. (d_s + d_h)$$

- d_s = tinggi statis
- d_h = tinggi hidrolis

Direncanakan,

- d_s = tinggi statis $\rightarrow d_s = 20 \text{ mm}$
- d_h = tinggi hidrolis $\rightarrow d_h = 10 \text{ mm}$

Sehingga,

$$R = 0.0098. (d_s + d_h) = 0,294 \text{ kN/m}^2$$

4.1.4 Beban Angin

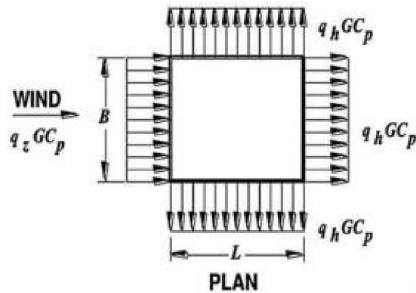
Bangunan Gedung dan struktur lain harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI 03-1727-2013. Beban angin dinding maksimum dan minimum yang terjadi akan didistribusikan pada kolom. Berikut tahapan perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur bangunan :

- Kecepatan angin dasar (V) = $28 \text{ km/jam} = 7,78 \text{ m/s}$ (Berdasarkan angin terbesar periode November - Desember tahun 2018, diambil dari bmkg perkiraan cuaca)

- Menentukan Faktor Arah Angin, K_d (SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1) Berdasarkan didapatkan nilai faktor arah angin $K_d = 0.85$
- Kategori eksposur = B (SNI 03-1727-2013 Pasal 26.7.3)
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1,0 (SNI 03-1727-2013 Pasal 26.8.2)
- Faktor efek angin (G) = 0,85 (SNI 03-1727-2013 Pasal 26.9.1)
- Klasifikasi ketertutupan = Bangunan tertutup (SNI 031727-2013 Pasal 26.10)
- 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, $z = 38.25$ meter, maka:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} = 2,01 \left(\frac{38.25m}{365.76m} \right)^{\frac{2}{7}} = 1,054$$

- Menentukan Tekanan Velositas (q_z) (SNI 1727:2013 pasal 27.3-1)
- $$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \quad (N/m^2)$$
- $$q_z = 0,613 \times 1,054 \times 1 \times 0,85 \times 7,8^2 \quad (N/m^2)$$
- $$q_z = q_h = 33,29 \text{ N/m}^2$$
- Koefisien tekanan eksternal (untuk dinding pada gedung
 - o Panjang Bangunan, $L = 70$ m
 - o Lebar Bangunan, $B = 28$ m
 - o $L/B = 70/28 = 2.5$
 - o $C_p = 0,8$ (untuk dinding pada angin datang berdasarkan SNI 03-1727-2013 Gambar 27.4-1)
 - o $C_p = -0,275$ (untuk dinding pada angin tepi berdasarkan SNI 03-1727-2013 Gambar 27.4-1)
 - o $C_p = -0,7$ (untuk dinding pada angin pergi berdasarkan SNI 03-1727-2013 Gambar 27.4-1)
 - Pengaruh angin pada dinding



Gambar 39 Pengaruh angin pada dinding (SNI 1727:2013)

$$\begin{aligned}\text{Pada arah angin datang} &= q_z \times G \times C_p \\ &= 33,29 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times 0,8 \\ &= 22,64 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pada arah angin tepi} &= q_h \times G \times C_p \\ &= 33,29 \times 0,85 \times -0,275 \\ &= -7,78 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pada arah angin pergi} &= q_h \times G \times C_p \\ &= 33,29 \times 0,85 \times -0,7 \\ &= -19,8 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-1727-2013 Pasal 27.1.5, beban angin desain minimum = 0,77 kN/m² untuk dinding bangunan.

4.1.5 Beban Gempa

Untuk peraturan gempa mengacu pada SNI 17262012. Berikut parameter-parameter yang perlu diperhatikan :

- a. Mengklasifikasi Kategori Resiko Struktur Bangunan

Sesuai dengan Tabel 3 Kategori Resiko Bangunan SNI 1726, 2012 bangunan yang didesain untuk fasilitas pendidikan masuk kedalam kategori risiko IV.

- b. Mengklasifikasi Kategori Resiko Struktur Bangunan

Pengklasifikasikan berdasarkan Kategori Resiko Bangunan (KRB) dapat dilihat pada tabel 2 SNI 1726 – 2012 maka dapat ditentukan faktor keutamaan gempa yakni $I_e = 1.5$

- c. Definisi Kelas Situs

Hasil tes tanah dengan kedalaman 30m dari Testana Engineering didapatkan hasil dibawah ini:

Tabel 10 Perhitungan N-SPT

Lapisan ke-i	Tebal lapisan (di) (m)	Deskripsi Tanah	Nilai N SPT (Ni)	di/Ni
1	5.5	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	12.125	0.45361
2	6.5	sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	28.28571429	0.2298
3	3	Silt, dark grey, some sand, stiff	28	0.1071
4	1.5	silt and sand, brown, little clay, dense	37	0.0405
5	2.5	silt and clay, brownish dark grey, inorganic, trace sand,	25	0.1000
6	3.25	silt and sand, brown, trace clay, medium	25	0.1300
7	1.75	sand and silt, grey, medium	27	0.0648
8	3.5	sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense	50	0.0700
9	2.5	sand and silt, brown, cemented at some depth,	50	0.0500
Σ	30			1.2459

$$(\bar{N}_{SPT}) = \frac{\sum di}{\sum di/Ni} = \frac{30}{1.2459} = 24.0789$$

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

d. Menentukan parameter percepatan gempa (Ss dan S1)

Nilai parameter percepatan gempa untuk kota Malang yang digunakan melihat dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017 seperti pada gambar 22 dan gambar 23 digunakan nilai SS = 0,7 dan S1 = 0,3.

e. Menentukan koefisien situs

Sesuai Tabel 5 dan 6 Koefisien situs Fa dan Fv. maka kelas situs D, Fa diambil nilai 1.24 untuk SS 0,7 dan Fv diambil nilai 1.8 untuk S1 0,3.

f. Menentukan parameter percepatan desain spectral

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

$$SM_S = Fa \times Ss = 1,24 \times 0,7 = 0,87$$

$$SM_1 = Fv \times S_1 = 1,8 \times 0,3 = 0,54$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 dengan persamaan 7 dan 8 maka didapatkan nilai sebagai berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,87 = 0,58$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,54 = 0,36$$

g. Analisa respons spektrum

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

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,36}{0,58} = 0,12$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,36}{0,58} = 0,62$$

Ketentuan untuk perhitungan respons spektrum

- Untuk $T < T_o$, nilai $S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \rightarrow$
maka untuk $T = 0$

$$S_a = 0,58 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,12} \right) = 0,231$$

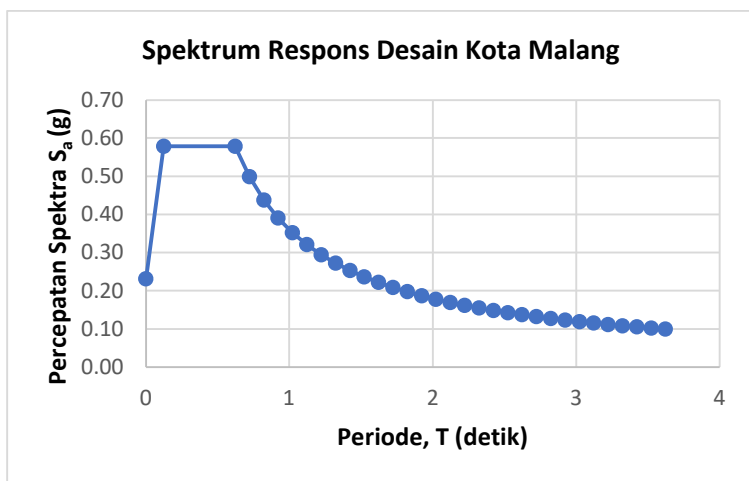
- Untuk $T \geq T_o$ dan $T \leq T_s$, nilai $S_a = D_{DS}$
maka untuk $T_o = 0,12$; $S_a = 0,58$;
 $T = T_s = 0,62$; $S_a = 0,58$

- Untuk $T > T_s$, nilai $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$
Maka untuk $T = T_s + 0,1 = 0,62 + 0,1 = 0,72$

$$\text{Maka } S_a = \frac{0,36}{0,72} = 0,5$$

Tabel 11 Perhitungan respon spektrum desain

T	T	Sa
detik	detik	g
0	0	0.231
T_0	0.124	0.579
T_s	0.622	0.579
$T_s+0.1$	0.722	0.499
$T_s+0.2$	0.822	0.438
$T_s+0.3$	0.922	0.390
$T_s+0.4$	1.022	0.352
$T_s+0.5$	1.122	0.321
$T_s+0.6$	1.222	0.295
$T_s+0.7$	1.322	0.272
$T_s+0.8$	1.422	0.253
$T_s+0.9$	1.522	0.237
$T_s+1.0$	1.622	0.222
$T_s+1.1$	1.722	0.209
$T_s+1.2$	1.822	0.198
$T_s+1.3$	1.922	0.187
$T_s+1.4$	2.022	0.178
$T_s+1.5$	2.122	0.170
$T_s+1.6$	2.222	0.162
$T_s+1.7$	2.322	0.155
$T_s+1.8$	2.422	0.149
$T_s+1.9$	2.522	0.143
$T_s+2.0$	2.622	0.137
$T_s+2.1$	2.722	0.132
$T_s+2.2$	2.822	0.128
$T_s+2.3$	2.922	0.123
$T_s+2.4$	3.022	0.119
$T_s+2.5$	3.122	0.115
$T_s+2.6$	3.222	0.112
$T_s+2.7$	3.322	0.108
$T_s+2.8$	3.422	0.105
$T_s+2.9$	3.522	0.102
$T_s+3.0$	3.622	0.099



Gambar 40 Grafik respons spektrum desain

4.2 Tahap 1 (Permodelan Struktur Eksisting *Open Frame* SRPMK)

Permodelan pertama dilakukan dengan kondisi eksisting struktur *open frame* SRPMK sesuai perencanaan sebelumnya untuk memeriksa apakah struktur tersebut telah memenuhi syarat terhadap kontrol struktur yaitu :

4.2.1 Kontrol 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. Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2012 menyebutkan bahwa periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dengan persamaan seperti berikut :

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

dimana h_n adalah ketinggian struktur, C_t dan x adalah koefisien yang didapat dari tabel 15 SNI 1726 2012. Gedung ini menggunakan tipe struktur Rangka beton pemikul momen.

Tabel 12 Nilai parameter pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2012)

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana 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

Sesuai table diatas maka nilai struktur didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$ serta ketinggian strukturnya sendiri adalah 38,25 m sehingga,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0466 \times 38,25^{0,9} = 1,2381 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda yang dihitung sesuai dengan tabel 14 SNI 1726:2012 sebesar:

Tabel 13 Koefisien untuk batas atas periode (SNI 1726:2012)

Parameter percepatan respons spectral 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
$\leq 0,1$	1,7

Karena nilai $S_{D1} = 0,3$ maka diambil untuk nilai $C_u = 1,4$

$$T_a \cdot C_u = 1,2381 \times 1,4 = 1,7332 \text{ detik}$$

Tabel 14 Periode struktur dan frekuensi

TABLE: Modal Periods and Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	1.481	0.675	4.2434	18.0063
Modal	2	1.358	0.736	4.6252	21.3925
Modal	3	1.333	0.75	4.7129	22.2114
Modal	4	0.472	2.117	13.3046	177.0135
Modal	5	0.444	2.252	14.1474	200.1479

$$T_a < T_{struktur} < T_a \cdot C_u \rightarrow 1,238 < 1,481 < 1,7332$$

Dari tabel di atas didapatkan hasil $T = 1,481$ dan berdasarkan kontrol yang sudah dihitung, batas atas yang didapat

sebesar 1,7332 sehingga menurut persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.2 mengenai kontrol waktu geser alami fundamental telah memenuhi.

4.2.2 Kontrol Rasio 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 dari masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau model (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1). Dari hasil analisis struktur diketahui partisipasi massa mencapai 90% pada mode ke-5 yaitu untuk partisipasi massa arah X yaitu sebesar 0.9446 dan partisipasi massa arah Y yaitu sebesar 0.9281.

Tabel 15 Modal partisipasi massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.00000106	0.8297	0.00000106	0.8297
Modal	2	0.7921	0.000002866	0.7921	0.8297
Modal	3	0.0655	0.000004836	0.8576	0.8297
Modal	4	0	0.0984	0.8576	0.9281
Modal	5	0.0869	0	0.9446	0.9281
Modal	6	0.0014	8.469E-07	0.946	0.9281

4.2.3 Kontrol 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 berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1. nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik.

$$V \leq V_t$$

Rumus gaya geser statik didapatkan pada pasal 12.8 yaitu:

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismik

W_t = Berat struktur bangunan

Diketahui pada bab sebelumnya untuk nilai $S_s = 0,7$ g dan nilai $S_1 = 0,3$ serta nilai $S_{DS} = 0.58$ dan nilai $S_{D1} = 0.36$.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} = \frac{0,7}{(8/1,5)} = 0,1085$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu diambil lebih kecil dari:

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,58 \times 1,5$$

$$C_{s \min} = 0,0382 \geq 0,01$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari:

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)}$$

Dimana nilai periode (T) yang didapat pada tabel perioda dan frekuensi terdiri dari arah x sebesar 1,358 dan arah y sebesar 1,481

$$C_{s \max (T_x)} = \frac{0,36}{1,358(8/1,5)} = 0,0497$$

$$C_{s \max (T_y)} = \frac{0,36}{1,481(8/1,5)} = 0,0456$$

Karena nilai $C_s > C_{s \max}$, sehingga nilai $C_s = C_{s \max}$

Dari permodelan struktur didapatkan nilai berat total struktur bangunan yaitu :

Tabel 16 *Mass Summary by Story*

TABLE: Mass Summary by Story		
Story	UX	UY
	kg	kg
LT.RL	161667.03	161667.03
LT.ATAP	1393211.62	1393211.62
LT.8	1980235.76	1980235.76

LT.7	1609641.29	1609641.29
LT.6	1609308.03	1609308.03
LT.5	1609308.03	1609308.03
LT.4	1609308.03	1609308.03
LT.3	1609308.03	1609308.03
LT.2	1651112.64	1651112.64
LT.1	925119.08	925119.08
Total	14158219.5	14158219.5

Dari tabel di atas didapatkan berat total struktur bangunan sebesar $W_t = 14158219,5 \text{ Kg}$ sehingga besar gaya geser statik dapat dihitung.

$$V_{statik\ x} = 0,0497 \times 14158219,5 = 703741 \text{ Kg}$$

$$V_{statik\ y} = 0,0456 \times 14158219,5 = 645294 \text{ Kg}$$

Didapatkan gaya-gaya geser dinamis dari permodelan struktur sebagai berikut:

Tabel 17 Base Reaction Gaya Geser Dinamik

TABLE: Base Reactions			
Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	Kg	Kg	Kg
Gempa X Max	622985.7	168859.9	0
Gempa Y Max	190379.09	573206.61	0

$$V_{dinamik\ x} = 622985,7 \text{ kg} > 0,85V_{statik\ x} = 598179,56 \text{ (OK)}$$

$$V_{dinamik\ y} = 573206.6 \text{ kg} > 0,85V_{statik\ y} = 548499.56 \text{ (OK)}$$

Maka gaya geser akibat pengaruh gempa sudah memenuhi, tidak perlu dikalikan faktor skala gaya. Bila syarat ini tak terpenuhi maka gaya geser dasar ragam perlu dikalikan faktor skala gaya sebesar $0,85 V/V_t$ (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1)

4.2.4 Kontrol Simpangan Lantai

Kontrol ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana simpangan antar lantai berdasarkan deformasi izin. Berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.8.6 disebutkan bahwa Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta_i = \frac{C_d \times \delta_{ie}}{I_e}$$

Dimana koefisien $C_d = 5,5$ didapatkan dari tabel 9 SNI 1726-2012 dengan kategori sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus, δ_{ie} adalah defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis permodelan struktur, dan I_e adalah faktor keutamaan gempa yaitu 1,5.

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Menurut SNI 1726 2012 Tabel 16 merupakan simpangan ijin antar lantai.

Tabel 18 Simpangan ijin

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 ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x .

^b Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.12.1.1**.

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dari **Pasal 7.12.3** tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

Contoh salah satu perhitungan kontrol simpangan per lantai pada lantai 2 arah x dengan elevasi 5,5 m dan simpangan yang terjadi sebesar 6,882 mm.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5,5 \times 6,882}{1,5} = 25,234 \text{ mm}$$

Kemudian dikontrol dengan nilai simpangan ijin yaitu :

$$\delta_{x \text{ ijin}} = 0,010 \cdot h_{sx} = 0,010 \times 5500 = 55 \text{ mm}$$

Sehingga karena nilai $\delta_x = 25,23 \text{ mm} < \delta_{x \text{ ijin}} = 55 \text{ mm}$ maka simpangan memenuhi.

Tabel 19 Evaluasi Simpangan Arah X

Evaluasi Simpangan Per Lantai dan Antar Lantai pada sumbu X									
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Tingkat (m)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm) ($C_d \cdot \delta_{xe} / I_e$)	$\delta_{x \text{ ijin}}$ (mm)	Cek (Per Lantai)	$\Delta \delta_x$ (mm)	$\Delta \delta_x \text{ ijin}$ (mm)	Cek (Antar Lantai)
RL	38.25	3.75	32.35	118.61667	382.5	OK	3.18	37.5	OK
atap	34.50	5.00	31.483	115.43767	345	OK	6.82	50	OK
8	29.50	4.00	29.623	108.61767	295	OK	8.09	40	OK
7	25.50	4.00	27.417	100.529	255	OK	10.78	40	OK
6	21.50	4.00	24.476	89.745333	215	OK	13.20	40	OK
5	17.50	4.00	20.876	76.545333	175	OK	15.32	40	OK
4	13.50	4.00	16.698	61.226	135	OK	17.15	40	OK
3	9.50	4.00	12.022	44.080667	95	OK	18.85	40	OK
2	5.50	5.50	6.882	25.234	55	OK	25.23	55	OK

Tabel 20 Evaluasi Simpangan Arah Y

Evaluasi Simpangan Antar Lantai pada sumbu Y									
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Tingkat (m)	δ_{ye} (mm)	δ_y (mm) ($C_d \cdot \delta_{ye} / I_e$)	$\delta_{y \text{ ijin}}$ (mm)	Cek (Per Lantai)	$\Delta \delta_y$ (mm)	$\Delta \delta_y \text{ ijin}$ (mm)	Cek (Antar Lantai)
RL	38.25	3.75	36.635	134.32833	382.5	OK	3.66	37.5	OK
atap	34.50	5.00	35.637	130.669	345	OK	9.01	50	OK
8	29.50	4.00	33.181	121.66367	295	OK	10.30	40	OK
7	25.50	4.00	30.371	111.36033	255	OK	13.37	40	OK
6	21.50	4.00	26.726	97.995333	215	OK	16.13	40	OK
5	17.50	4.00	22.326	81.862	175	OK	18.54	40	OK
4	13.50	4.00	17.271	63.327	135	OK	20.42	40	OK
3	9.50	4.00	11.702	42.907333	95	OK	21.24	40	OK
2	5.50	5.50	5.91	21.67	55	OK	21.67	55	OK

4.2.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Setelah dilakukan cek kapasitas penampang melalui permodelan struktur menggunakan program bantu Etabs sesuai langkah pada sub bab 3.8.5 ternyata semua kondisi penampang elemen struktur eksisting dalam permodelan pertama ini telah memenuhi terhadap gaya-gaya yang ada.

4.3 Tahap 2 (Permodelan Struktur Eksisting *Open Frame* SRPMB)

Permodelan kedua dilakukan dengan kondisi eksisting struktur *open frame* SRPMB sesuai perencanaan sebelumnya untuk memeriksa apakah struktur tersebut masih memenuhi syarat terhadap kontrol struktur yaitu :

4.3.1 Kontrol 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. Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2012 menyebutkan bahwa periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dengan persamaan seperti berikut :

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

dimana h_n adalah ketinggian struktur, C_t dan x adalah koefisien yang didapat dari tabel 15 SNI 1726 2012. Gedung ini menggunakan tipe struktur Rangka beton pemikul momen.

Sesuai tabel 12 maka nilai struktur didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$ serta ketinggian strukturnya sendiri adalah 38,25 m sehingga,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0466 \times 38,25^{0,9} = 1,2381 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda yang dihitung sesuai dengan tabel 14 SNI 1726:2012 sebesar:

Karena nilai $S_{DI} = 0,3$ maka diambil untuk nilai $C_u = 1,4$

$$T_a \cdot C_u = 1,2381 \times 1,4 = 1,7332 \text{ detik}$$

Tabel 21 Periode struktur dan frekuensi

TABLE: Modal Periods and Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	1.481	0.675	4.2434	18.0063
Modal	2	1.358	0.736	4.6252	21.3925
Modal	3	1.333	0.75	4.7129	22.2114
Modal	4	0.472	2.117	13.3046	177.0135
Modal	5	0.444	2.252	14.1474	200.1479

$$T_a < T_{struktur} < T_a \cdot C_u \rightarrow 1,238 < 1,481 < 1,7332$$

Dari tabel di atas didapatkan hasil $T = 1,481$ dan berdasarkan kontrol yang sudah dihitung, batas atas yang didapat sebesar 1,7332 sehingga menurut persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.2 mengenai kontrol waktu geser alami fundamental telah memenuhi.

4.3.2 Kontrol Rasio 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 dari masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau model (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1). Dari hasil analisis struktur diketahui partisipasi massa mencapai 90% pada mode ke-5 yaitu untuk partisipasi massa arah X yaitu sebesar 0.9446 dan partisipasi massa arah Y yaitu sebesar 0.9281.

Tabel 22 Modal partisipasi massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.00000106	0.8297	0.00000106	0.8297
Modal	2	0.7921	0.000002866	0.7921	0.8297
Modal	3	0.0655	0.000004836	0.8576	0.8297
Modal	4	0	0.0984	0.8576	0.9281
Modal	5	0.0869	0	0.9446	0.9281
Modal	6	0.0014	8.469E-07	0.946	0.9281

4.3.3 Kontrol 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 berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1. nilai akhir

respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik.

$$V \leq V_t$$

Rumus gaya geser statik didapatkan pada pasal 12.8 yaitu:

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismik

W_t = Berat struktur bangunan

Diketahui pada bab sebelumnya untuk nilai $S_s = 0,7$ g dan nilai $S_1 = 0,3$ serta nilai $S_{DS} = 0.58$ dan nilai $S_{D1} = 0.36$.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} = \frac{0,7}{(3/1,5)} = 0,28933$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu diambil lebih kecil dari:

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,58 \times 1,5$$

$$C_{s \min} = 0,0382 \geq 0,01$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari:

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)}$$

Dimana nilai periode (T) yang didapat pada tabel perioda dan frekuensi terdiri dari arah x sebesar 1,358 dan arah y sebesar 1,481

$$C_{s \max (T_x)} = \frac{0,36}{1,358(3/1,5)} = 0,13255$$

$$C_{s \max (T_y)} = \frac{0,36}{1,481(3/1,5)} = 0,12154$$

Karena nilai $C_s > C_{s \max}$, sehingga nilai $C_s = C_{s \max}$

Dari permodelan struktur didapatkan nilai berat total struktur bangunan yaitu :

Tabel 23 *Mass Summary by Story*

TABLE: Mass Summary by Story		
Story	UX	UY
	kg	kg
LT.RL	161667.03	161667.03
LT.ATAP	1393211.62	1393211.62
LT.8	1980235.76	1980235.76
LT.7	1609641.29	1609641.29
LT.6	1609308.03	1609308.03
LT.5	1609308.03	1609308.03
LT.4	1609308.03	1609308.03
LT.3	1609308.03	1609308.03
LT.2	1651112.64	1651112.64
LT.1	925119.08	925119.08
Total	14158219.5	14158219.5

Dari tabel di atas didapatkan berat total struktur bangunan sebesar $W_t = 14158219,5 \text{ Kg}$ sehingga besar gaya geser statik dapat dihitung.

$$V_{statik\ x} = 0,13255 \times 14158219,5 = 1876642 \text{ Kg}$$

$$V_{statik\ y} = 0,12154 \times 14158219,5 = 1720783 \text{ Kg}$$

Didapatkan gaya-gaya geser dinamis dari permodelan struktur sebagai berikut:

Tabel 24 Base Reaction Gaya Geser Dinamik

TABLE: Base Reactions			
Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	Kg	Kg	Kg
Gempa X Max	1661294.07	450289.28	0
Gempa Y Max	507675.48	1528549.91	0

$$V_{dinamik\ x} = 1661294,07 \text{ kg} > 0,85V_{statik\ x} = 1595145,496 \text{ (OK)}$$

$$V_{dinamik\ y} = 1528549,91 \text{ kg} > 0,85V_{statik\ y} = 1462665,485 \text{ (OK)}$$

Maka gaya geser akibat pengaruh gempa sudah memenuhi, tidak perlu dikalikan faktor skala gaya. Bila syarat ini tak terpenuhi maka

gaya geser dasar ragam perlu dikalikan faktor skala gaya sebesar 0,85 V/V_t (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1)

4.3.4 Kontrol Simpangan Lantai

Kontrol ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana simpangan antar lantai berdasarkan deformasi izin. Berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.8.6 disebutkan bahwa Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta_i = \frac{C_d \times \delta_{ie}}{I_e}$$

Dimana koefisien $C_d = 2,5$ didapatkan dari tabel 9 SNI 1726-2012 dengan kategori sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus, δ_{ie} adalah defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis permodelan struktur, dan I_e adalah faktor keutamaan gempa yaitu 1,5.

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Menurut SNI 1726 2012 Tabel 16 merupakan simpangan ijin antar lantai.

Contoh salah satu perhitungan kontrol simpangan per lantai pada lantai 2 arah x dengan elevasi 5,5 m dan simpangan yang terjadi sebesar 18,353 mm.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} = \frac{2,5 \times 18,353}{1,5} = 30,588 \text{ mm}$$

Kemudian dikontrol dengan nilai simpangan ijin yaitu :

$$\delta_{x \text{ ijin}} = 0,010 \cdot h_{sx} = 0,010 \times 5500 = 55 \text{ mm}$$

Sehingga karena nilai $\delta_x = 30,588 \text{ mm} < \delta_{x \text{ ijin}} = 55 \text{ mm}$ maka simpangan memenuhi.

Tabel 25 Evaluasi Simpangan Arah X

Evaluasi Simpangan Per Lantai dan Antar Lantai pada sumbu X									
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Tingkat (m)	δx_e (mm)	δx (mm) (Cd. $\delta x_e/le$)	δx_{ijin} (mm)	Cek (Per Lantai)	$\Delta \delta x$ (mm)	$\Delta \delta x$ ijin (mm)	Cek (Antar Lantai)
RL	38.25	3.75	86.267	143.778333	382.50	OK	3.85	37.5	OK
atap	34.50	5.00	83.955	139.925	345.00	OK	8.26	50	OK
8	29.50	4.00	78.996	131.66	295.00	OK	9.81	40	OK
7	25.50	4.00	73.112	121.853333	255.00	OK	13.07	40	OK
6	21.50	4.00	65.269	108.781667	215.00	OK	16.00	40	OK
5	17.50	4.00	55.67	92.7833333	175.00	OK	18.57	40	OK
4	13.50	4.00	44.529	74.215	135.00	OK	20.79	40	OK
3	9.50	4.00	32.057	53.4283333	95.00	OK	22.84	40	OK
2	5.50	5.50	18.353	30.5883333	55.00	OK	30.59	55	OK

Tabel 26 Evaluasi Simpangan Arah Y

Evaluasi Simpangan Per Lantai dan Antar Lantai pada sumbu Y									
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Tingkat (m)	δy_e (mm)	δy (mm) (Cd. $\delta x_e/le$)	δy_{ijin} (mm)	Cek (Per Lantai)	$\Delta \delta y$ (mm)	$\Delta \delta y$ ijin (mm)	Cek (Antar Lantai)
RL	38.25	3.75	97.693	162.82167	382.50	OK	4.43	37.5	OK
atap	34.50	5.00	95.033	158.38833	345.00	OK	10.92	50	OK
8	29.50	4.00	88.481	147.46833	295.00	OK	12.49	40	OK
7	25.50	4.00	80.989	134.98167	255.00	OK	16.20	40	OK
6	21.50	4.00	71.269	118.78167	215.00	OK	19.56	40	OK
5	17.50	4.00	59.536	99.226667	175.00	OK	22.47	40	OK
4	13.50	4.00	46.055	76.758333	135.00	OK	24.75	40	OK
3	9.50	4.00	31.204	52.006667	95.00	OK	25.74	40	OK
2	5.50	5.50	15.761	26.268333	55.00	OK	26.27	55	OK

4.3.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Setelah dilakukan cek kapasitas penampang melalui permodelan struktur menggunakan program bantu Etabs sesuai langkah pada sub bab 3.8.5 ternyata ada 10 kondisi penampang elemen struktur eksisting dalam permodelan kedua ini mengalami kegagalan penampang dan semuanya disebabkan karena tidak mampu menahan gaya geser dan torsi yang ada. Sehingga sesuai metodologi dapat dilakukan modifikasi struktur menggunakan *fluid viscous damper* (FVD).

4.4 Perencanaan *Fluid Viscous Damper*

Sebelum melakukan permodelan struktur alternatif desain menggunakan *fluid viscous damper*, hal pertama yang harus dilakukan yaitu memilih tipe serta menentukan jumlah *fluid viscous damper* yang akan digunakan nantinya.

4.4.1 Pemilihan Tipe FVD

Sesuai dengan bab sebelumnya bahwa pemilihan atau penentuan tipe FVD yang digunakan, berdasarkan output dari gaya gempa yang telah di-input dalam permodelan struktur. Output yang dimaksud adalah gaya F_x dan F_y kemudian diambil nilai terbesar yang bekerja pada tiap join komponen strukturnya. Untuk mendapatkan gaya-gaya tersebut pada tiap joinnya dilakukan perhitungan secara statik ekuivalen.

1. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Sesuai dengan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1

$$V_i = C_{si} \times W_t$$

$$V_x = 0,13255 \times 141582,2 = 18766,42 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,12154 \times 141582,2 = 17207,83 \text{ kN}$$

Tabel 27 Berat Bangunan Tiap Lantai

Lantai	W (kN)
1	9251.191
2	16511.13
3	16093.08
4	16093.08
5	16093.08
6	16093.08
7	16096.41
8	19802.36
Atap	13932.12
RL	1616.67
Wt	141582.2

2. Menentukan Gaya Gempa Lateral (Fx & Fy)

Menghitung distribusi gaya gempa sesuai dengan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.3

$$C_{vi} = \frac{W_i \cdot h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \rightarrow F_i = C_{vi} \times V_i$$

Tabel 28 Distribusi Gaya Per Lantai

Lantai	Wi	hi	Wi.hi ^k	Cvi	Fx	Fy
	(kN)	(m)	(kN.m)		(kN)	(kN)
1	9251.191	0	0	0	0	0
2	16511.13	5.50	209549.8	0.016987	318.7827	292.3071
3	16093.08	9.50	461249.8	0.037391	701.6873	643.4108
4	16093.08	13.50	778756.5	0.063129	1184.702	1086.31
5	16093.08	17.50	1146535	0.092942	1744.194	1599.335
6	16093.08	21.50	1558256	0.126318	2370.534	2173.656
7	16096.41	25.50	2009913	0.162931	3057.628	2803.686
8	19802.36	29.50	3072463	0.249065	4674.057	4285.867
Atap	13932.12	34.50	2729835	0.22129	4152.827	3807.927
RL	1616.67	38.25	369431.2	0.029947	562.0061	515.3304
Total	141582.2		12335989		18766.42	17207.83

3. Mencari Koordinat Pusat Massa

Koordinat pusat massa didapatkan dari output permodelan struktur menggunakan Etabs.

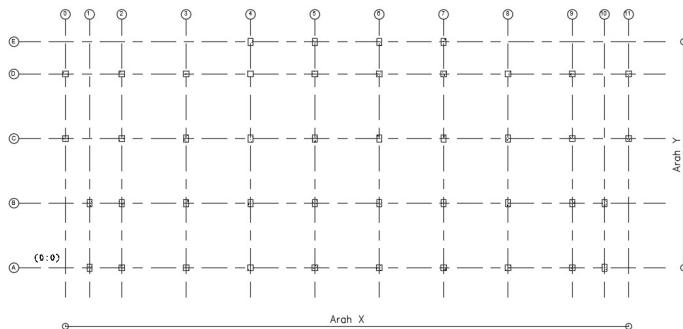
Tabel 29 Koordinat Pusat Massa Tiap Lantai

TABLE: Mass Summary by Diaphragm						
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	Mass Moment of Inertia	X Mass Center	Y Mass Center
		kg	kg	ton-m ²	m	m
LT.RL	D1	161667	161667	108284.7	35	19.9867
LT.ATAP	D1	1364817	1364817	576060.2	35.0389	12.9224
LT.8	D1	1949140	1949140	826537.8	35.0026	12.7046

LT.7	D1	1580616	1580616	676448.1	34.99	12.7223
LT.6	D1	1580449	1580449	676296.3	34.9929	12.7211
LT.5	D1	1580449	1580449	676296.3	34.9929	12.7211
LT.4	D1	1580449	1580449	676296.3	34.9929	12.7211
LT.3	D1	1580449	1580449	676296.3	34.9929	12.7211
LT.2	D1	1620421	1620421	696584.6	34.9931	12.7275

4. Mencari Koordinat Pusat Kekakuan

Perhitungan pusat kekakuan dilakukan dengan menghitung statis momen elemen kolom struktur di tiap lantai sesuai koordinat x dan y. Nilai W_x dan W_y digunakan untuk mencari nilai koordinat pusat kekakuan, yaitu sejarak x dan y terhadap koordinat (0,0).



Gambar 41 Denah Kolom

Berikut merupakan hasil perhitungan mencari koordinat pusat kekakuan yang disajikan dalam tabel.

Tabel 30 Rekapitulasi Koordinat Pusat Kekakuan Kolom

Lantai	W	W_x	W_y	x	y
	(kg)	(kg.m)	(kg.m)	(m)	(m)
LT.RL	54881.1286	1259146	1093952	22.94314	19.93311
LT.ATAP	277281.243	9704843	3725798	35	13.43689
LT.8	221824.994	7763875	2980639	35	13.43689

LT.7	221824.994	7763875	2980639	35	13.43689
LT.6	221824.994	7763875	2980639	35	13.43689
LT.5	221824.994	7763875	2980639	35	13.43689
LT.4	221824.994	7763875	2980639	35	13.43689
LT.3	221824.994	7763875	2980639	35	13.43689
LT.2	305009.367	10675328	4098378	35	13.43689

Setelah didapatkan pusat massa dan pusat kekakuan setiap lantai, eksentrisitas dapat dihitung. Eksentrisitas didapatkan dari selisih antara pusat massa dan pusat kekakuan.

Tabel 31 Eksentrisitas Tiap Lantai

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	X	Y	X	Y	X	Y
	1	2	3	4	5 = 1-3	6 = 2-4
LT.RL	35	19.9867	22.9431	19.9331	12.0569	0.05359
LT.ATAP	35.0389	12.9224	35	13.4369	0.0389	-0.5145
LT.8	35.0026	12.7046	35	13.4369	0.0026	-0.7323
LT.7	34.99	12.7223	35	13.4369	-0.01	-0.7146
LT.6	34.9929	12.7211	35	13.4369	-0.0071	-0.7158
LT.5	34.9929	12.7211	35	13.4369	-0.0071	-0.7158
LT.4	34.9929	12.7211	35	13.4369	-0.0071	-0.7158
LT.3	34.9929	12.7211	35	13.4369	-0.0071	-0.7158
LT.2	34.9931	12.7275	35	13.4369	-0.0069	-0.7094

5. Menghitung Gaya Gempa Per Kolom

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai gempa per kolom pada tiap lantai. Gaya gempa per kolom dihitung dengan rumus berikut.

$$F_i = \frac{F_{i \text{ total}}}{n} + \frac{M_i \cdot ei}{\sum ei^2}$$

Rekap perhitungan gempa per kolom disajikan dengan mengambil contoh lantai yang memiliki gaya gempa terbesar.

Tabel 32 Perhitungan Gaya Gempa Per Kolom

Posisi As Kolom		Kordinat Kolom		Kordinat Pusat Kekakuan		Jarak Kolom ke Pusat Kekakuan		(Jarak Pusat Kekakuan) ²		Gempa Per Lantai	Gempa Per Lantai	Momen akibat Eksentrisitas		Gempa Arah X (kN)	Gempa Arah Y (kN)
		x	y	x'	y'	x''	y''	x'' ²	y'' ²	Fx	Fy	Mx	My	Fx	Fy
		1	2	3	4	5=1-3	6=2-4	7=5^2	8=6^2	9	10	11	12	13=9/n+(11*5/Σ7)	14=10/n+(12*6/Σ8)
A	1	3	0	35	13.4	-32	-13.44	1024	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92013009	31.63871098
	2	7	0	35	13.4	-28	-13.44	784	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92074405	31.63871098
	3	15	0	35	13.4	-20	-13.44	400	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92197197	31.63871098
	4	23	0	35	13.4	-12	-13.44	144	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92319988	31.63871098
	5	31	0	35	13.4	-4	-13.44	16	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.9244278	31.63871098
	6	39	0	35	13.4	4	-13.44	16	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92565571	31.63871098
	7	47	0	35	13.4	12	-13.44	144	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92688363	31.63871098
	8	55	0	35	13.4	20	-13.44	400	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92811154	31.63871098
	9	63	0	35	13.4	28	-13.44	784	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92933946	31.63871098
	10	67	0	35	13.4	32	-13.44	1024	180.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92995341	31.63871098

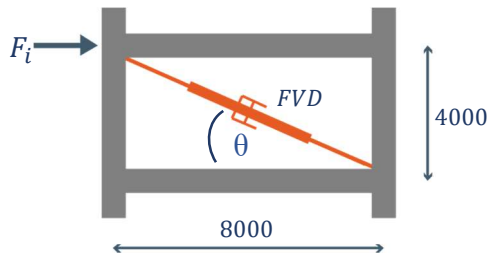
B	1	3	8	35	13.4	-32	-5.437	1024	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92013009	27.50094046
	2	7	8	35	13.4	-28	-5.437	784	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92074405	27.50094046
	3	15	8	35	13.4	-20	-5.437	400	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92197197	27.50094046
	4	23	8	35	13.4	-12	-5.437	144	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92319988	27.50094046
	5	31	8	35	13.4	-4	-5.437	16	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.9244278	27.50094046
	6	39	8	35	13.4	4	-5.437	16	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92565571	27.50094046
	7	47	8	35	13.4	12	-5.437	144	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92688363	27.50094046
	8	55	8	35	13.4	20	-5.437	400	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92811154	27.50094046
	9	63	8	35	13.4	28	-5.437	784	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92933946	27.50094046
	10	67	8	35	13.4	32	-5.437	1024	29.56	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92995341	27.50094046
C	10	0	16	35	13.4	-35	2.563	1225	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.91966962	23.36316994
	1	7	16	35	13.4	-28	2.563	784	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92074405	23.36316994
	2	15	16	35	13.4	-20	2.563	400	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92197197	23.36316994
	3	23	16	35	13.4	-12	2.563	144	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92319988	23.36316994
	4	31	16	35	13.4	-4	2.563	16	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.9244278	23.36316994
	5	39	16	35	13.4	4	2.563	16	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92565571	23.36316994
	6	47	16	35	13.4	12	2.563	144	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92688363	23.36316994
	7	55	16	35	13.4	20	2.563	400	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92811154	23.36316994
	8	63	16	35	13.4	28	2.563	784	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92933946	23.36316994
	10	70	16	35	13.4	35	2.563	1225	6.57	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.93041388	23.36316994

D	11	0	24	35	13.4	-35	10.56	1225	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.91966962	19.22539941
	1	7	24	35	13.4	-28	10.56	784	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92074405	19.22539941
	2	15	24	35	13.4	-20	10.56	400	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92197197	19.22539941
	3	23	24	35	13.4	-12	10.56	144	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92319988	19.22539941
	4	31	24	35	13.4	-4	10.56	16	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.9244278	19.22539941
	5	39	24	35	13.4	4	10.56	16	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92565571	19.22539941
	6	47	24	35	13.4	12	10.56	144	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92688363	19.22539941
	7	55	24	35	13.4	20	10.56	400	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92811154	19.22539941
	8	63	24	35	13.4	28	10.56	784	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92933946	19.22539941
	10	70	24	35	13.4	35	10.56	1225	111.6	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.93041388	19.22539941
E	11	23	28	35	13.4	-12	14.56	144	212.1	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92319988	17.15651415
	4	31	28	35	13.4	-4	14.56	16	212.1	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.9244278	17.15651415
	5	39	28	35	13.4	4	14.56	16	212.1	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92565571	17.15651415
	6	47	28	35	13.4	12	14.56	144	212.1	1184.7	1086.3	3.08	-795.5	26.92688363	17.15651415
Σ								20068	4131					26.93041388	31.63871098

Besaran gaya damper ditentukan dengan pendekatan melawan gaya gempa lateral terbesar yang terjadi pada join-join struktur baik arah x maupun y. Dari tabel di atas didapatkan gaya gempa terbesar yaitu :

- $F_x = 26,931 \text{ kN}$
- $F_y = 31,639 \text{ kN}$

Sehingga bisa dihitung berapa gaya maksimum yang akan diterima oleh FVD sebagai dasar penentuan tipe manakah yang akan dipilih untuk perencanaan selanjutnya. Namun karena FVD direncanakan dipasang pada sumbu lemahnya saja yaitu arah Y sehingga cukup diambil gaya F_y terbesar saja. Berikut salah satu contoh perhitungan besar gaya yang diterima FVD pada salah satu lantai bangunan arah Y.



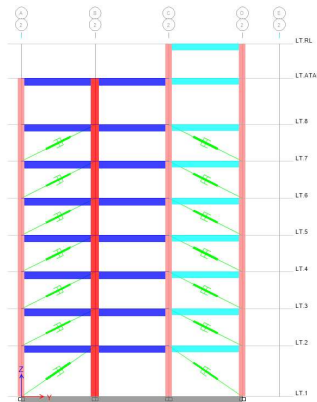
Gambar 42 Gaya Pada *Fluid Viscous Damper*

$$F_D = \frac{F_Y}{\cos \theta} = \frac{31,639}{\cos 27} = 35,51 \text{ kN}$$

Karena gaya yang ada kurang dari kapasitas *fluid viscous damper* minimum yang dimiliki ITT Infrastructure yaitu 500 kN (Tabel 8). Maka dipakai *fluid viscous damper* tipe FVD-H-500-150 dan kemudian dilakukan input parameternya ke dalam permodelan struktur menggunakan Etabs seperti pada bab sebelumnya.

4.4.2 Menentukan Jumlah FVD

Dalam menentukan jumlah damper ini dilakukan dengan cara *trial error* permodelan struktur pada program Etabs. Pertama pastikan parameter FVD telah dimasukkan ke dalam program bantu permodelan struktur. Lalu *fluid viscous damper* dimodelkan pada permodelan struktur bangunan yang telah direncanakan menggunakan SRPMB. FVD diletakkan dengan posisi dan lokasi sesuai perencanaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya.



Gambar 43 Skema FVD Pada Sumbu Lemah

Selanjutnya dilakukan percobaan dengan memasang FVD sebanyak 28 buah seperti pada gambar di atas dan dianalisis perilakunya dengan beberapa kontrol yang akan dibahas pada bab selanjutnya. Setelah dilakukan pemasangan damper pada permodelan struktur ini, ternyata memberikan hasil yang baik dalam mengatasi masalah pada permodelan struktur sebelumnya. Sehingga perilaku yang dihasilkan dari pemasangan 28 buah FVD ini bisa digunakan sebagai acuan.

Kemudian dilakukan percobaan kembali dengan mengurangi jumlah FVD pada setiap lantai dan dianalisis perilaku kontrol strukturnya hingga mengalami perubahan perilaku struktur

yang semakin menurun. Pada saat damper dikurangi dan dipasang menjadi 16 buah, ternyata perilaku kontrol struktur mengalami penurunan yaitu kegagalan penampang semakin bertambah banyak. Sehingga percobaan bisa dihentikan saat damper dipasang sejumlah 20 buah yaitu pada lantai 5 karena memiliki perilaku kontrol struktur yang sama seperti acuan.

4.5 Tahap 3 (Permodelan Struktur Alternatif Desain)

Permodelan ketiga ini melanjutkan permodelan kedua dengan menambahkan alat peredam gempa *fluid viscous damper* sebanyak 20 FVD yang telah direncanakan sebelumnya. Pemasangan damper diharapkan dapat mengatasi atau mengurangi permasalahan pada permodelan sebelumnya.

4.5.1 Kontrol 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. Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2012 menyebutkan bahwa periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dengan persamaan seperti berikut :

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

dimana h_n adalah ketinggian struktur, C_t dan x adalah koefisien yang didapat dari tabel 15 SNI 1726 2012. Gedung ini menggunakan tipe struktur Rangka beton pemikul momen.

Sesuai tabel 12 maka nilai struktur didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$ serta ketinggian strukturnya sendiri adalah 38,25 m sehingga,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0466 \times 38,25^{0,9} = 1,2381 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda yang dihitung sesuai dengan tabel 14 SNI 1726:2012 sebesar:

Karena nilai $S_{DI} = 0,3$ maka diambil untuk nilai $C_u = 1,4$

$$T_a \cdot C_u = 1,2381 \times 1,4 = 1,7332 \text{ detik}$$

Tabel 33 Periode struktur dan frekuensi

TABLE: Modal Periods and Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	1.27	0.787	4.9476	24.4792
Modal	2	1.118	0.895	5.6213	31.5991
Modal	3	1.1	0.909	5.7132	32.6405
Modal	4	0.417	2.398	15.0652	226.9606
Modal	5	0.37	2.705	16.9933	288.7718

$$T_a < T_{struktur} < T_a \cdot C_u \rightarrow 1,238 < 1,27 < 1,7332$$

Dari tabel di atas didapatkan hasil $T = 1,27$ dan berdasarkan kontrol yang sudah dihitung, batas atas yang didapat sebesar 1,7332 sehingga menurut persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.2 mengenai kontrol waktu geser alami fundamental telah memenuhi.

4.5.2 Kontrol Rasio 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 dari masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau model (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1). Dari hasil analisis struktur diketahui partisipasi massa mencapai 90% pada mode ke-5 yaitu untuk partisipasi massa arah X yaitu sebesar 0.9446 dan partisipasi massa arah Y yaitu sebesar 0.9281.

Tabel 34 Modal partisipasi massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.000001175	0.7555	0.000001175	0.7555
Modal	2	0.5873	0.00000657	0.5873	0.7555

Modal	3	0.1469	0.000007088	0.7342	0.7555
Modal	4	0	0.1148	0.7342	0.8703
Modal	5	0.0748	0	0.809	0.8703
Modal	6	0.0162	7.318E-07	0.8253	0.8703
Modal	7	7.787E-07	0.0453	0.8253	0.9156
Modal	8	0.0417	0.00001224	0.867	0.9156
Modal	9	0.0004	0.0326	0.8674	0.9481
Modal	10	0.0165	0.0158	0.8839	0.9639
Modal	11	0.0472	0.0169	0.9311	0.9808
Modal	12	0.0376	0.0096	0.9687	0.9904

4.5.3 Kontrol 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 berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1. nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik.

$$V \leq V_t$$

Rumus gaya geser statik didapatkan pada pasal 12.8 yaitu:

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismik

W_t = Berat struktur bangunan

Diketahui pada bab sebelumnya untuk nilai $S_s = 0,7$ g dan nilai $S_1 = 0,3$ serta nilai $S_{DS} = 0.58$ dan nilai $S_{D1} = 0.36$.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} = \frac{0,7}{(3/1,5)} = 0,28933$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu diambil lebih kecil dari:

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,58 \times 1,5$$

$$C_{s \min} = 0,0382 \geq 0,01$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari:

$$C_{s maks} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)}$$

Dimana nilai periode (T) yang didapat pada tabel perioda dan frekuensi terdiri dari arah x sebesar 1,358 dan arah y sebesar 1,481

$$C_{s maks (T_x)} = \frac{0,36}{1,238(3/1,5)} = 0,14538$$

$$C_{s maks (T_y)} = \frac{0,36}{1,27(3/1,5)} = 0,14173$$

Karena nilai $C_s > C_{s maks}$, sehingga nilai $C_s = C_{s maks}$

Dari permodelan struktur didapatkan nilai berat total struktur bangunan yaitu :

Tabel 35 *Mass Summary by Story*

TABLE: Mass Summary by Story		
Story	UX	UY
	kg	kg
LT.RL	161667.03	161667.03
LT.ATAP	1393211.62	1393211.62
LT.8	1980235.76	1980235.76
LT.7	1609641.29	1609641.29
LT.6	1609308.03	1609308.03
LT.5	1609308.03	1609308.03
LT.4	1609308.03	1609308.03
LT.3	1609308.03	1609308.03
LT.2	1651112.64	1651112.64
LT.1	925119.08	925119.08
Total	14158219.5	14158219.5

Dari tabel di atas didapatkan berat total struktur bangunan sebesar $W_t = 14158219,5 \text{ Kg}$ sehingga besar gaya geser statik dapat dihitung.

$$V_{statik x} = 0,14538 \times 14158219,5 = 2058387 \text{ Kg}$$

$$V_{statik\ y} = 0,14173 \times 14158219,5 = 2006677\ Kg$$

Didapatkan gaya-gaya geser dinamis dari permodelan struktur sebagai berikut:

Tabel 36 Base Reaction Gaya Geser Dinamik

TABLE: Base Reactions			
Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
Gempa X Max	17643.0485	5252.9282	0
Gempa Y Max	5870.7894	17199.9683	0

$$V_{dinamik\ x} = 1764304,85\ kg > 0,85V_{stat\ x} = 1749628.562\ (OK)$$

$$V_{dinamik\ y} = 1719996,83\ kg > 0,85V_{statik\ y} = 1705675,263\ (OK)$$

Maka gaya geser akibat pengaruh gempa sudah memenuhi, tidak perlu dikalikan faktor skala gaya. Bila syarat ini tak terpenuhi maka gaya geser dasar ragam perlu dikalikan faktor skala gaya sebesar $0,85 V/V_t$ (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1)

4.5.4 Kontrol Simpangan Lantai

Kontrol ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana simpangan antar lantai berdasarkan deformasi izin. Berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.8.6 disebutkan bahwa Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta_i = \frac{C_d \times \delta_{ie}}{I_e}$$

Dimana koefisien $C_d = 2,5$ didapatkan dari tabel 9 SNI 1726-2012 dengan kategori sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus, δ_{ie} adalah defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis permodelan struktur, dan I_e adalah faktor keutamaan gempa yaitu 1,5.

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Menurut SNI 1726 2012 Tabel 16 merupakan simpangan ijin antar lantai.

Contoh salah satu perhitungan kontrol simpangan per lantai pada lantai 2 arah x dengan elevasi 5,5 m dan simpangan yang terjadi sebesar 18,353 mm.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} = \frac{2,5 \times 18,353}{1,5} = 30,588 \text{ mm}$$

Kemudian dikontrol dengan nilai simpangan ijin yaitu :

$$\delta_{x \text{ ijin}} = 0,010 \cdot h_{sx} = 0,010 \times 5500 = 55 \text{ mm}$$

Sehingga karena nilai $\delta_x = 30,588 \text{ mm} < \delta_{x \text{ ijin}} = 55 \text{ mm}$ maka simpangan memenuhi.

Tabel 37 Evaluasi Simpangan Arah X

Evaluasi Simpangan Per Lantai dan Antar Lantai pada sumbu X									
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Tingkat (m)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm) (Cd. δ_{xe}/I_e)	$\delta_{x \text{ ijin}}$ (mm)	Cek (Per Lantai)	$\Delta \delta_x$ (mm)	$\Delta \delta_x \text{ ijin}$ (mm)	Cek (Antar Lantai)
RL	38.25	3.75	73.01	121.68333	382.50	OK	4.42	37.5	OK
atap	34.50	5.00	70.361	117.26833	345.00	OK	9.96	50	OK
8	29.50	4.00	64.385	107.30833	295.00	OK	11.72	40	OK
7	25.50	4.00	57.356	95.593333	255.00	OK	15.28	40	OK
6	21.50	4.00	48.191	80.318333	215.00	OK	17.82	40	OK
5	17.50	4.00	37.501	62.501667	175.00	OK	20.27	40	OK
4	13.50	4.00	25.34	42.233333	135.00	OK	21.48	40	OK
3	9.50	4.00	12.45	20.75	95.00	OK	18.34	40	OK
2	5.50	5.50	1.445	2.4083333	55.00	OK	2.41	55	OK

Tabel 38 Evaluasi Simpangan Arah Y

Evaluasi Simpangan Antar Lantai pada sumbu Y									
Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Antar Tingkat (m)	δ_{ye} (mm)	δ_y (mm) (Cd. δ_{ye}/I_e)	$\delta_{y \text{ ijin}}$ (mm)	Cek (Per Lantai)	$\Delta \delta_y$ (mm)	$\Delta \delta_y \text{ ijin}$ (mm)	Cek (Antar Lantai)
RL	38.25	3.75	90.062	150.10333	382.50	OK	5.39	37.5	OK
atap	34.50	5.00	86.827	144.71167	345.00	OK	13.13	50	OK
8	29.50	4.00	78.948	131.58	295.00	OK	14.89	40	OK
7	25.50	4.00	70.017	116.695	255.00	OK	18.97	40	OK
6	21.50	4.00	58.635	97.725	215.00	OK	21.50	40	OK
5	17.50	4.00	45.736	76.226667	175.00	OK	22.69	40	OK
4	13.50	4.00	32.124	53.54	135.00	OK	23.38	40	OK
3	9.50	4.00	18.098	30.163333	95.00	OK	20.32	40	OK
2	5.50	5.50	5.904	9.84	55.00	OK	9.84	55	OK

4.5.5 Kontrol Kapasitas Penampang

Setelah dilakukan cek kapasitas penampang melalui permodelan struktur menggunakan program bantu Etabs sesuai langkah pada sub bab 3.8.5 ternyata hanya terjadi satu kapasitas penampang yang gagal.

4.6 Perbandingan Hasil Permodelan Struktur

Untuk melihat hasil serta dampak yang diberikan dengan pemasangan fluid viscous damper maka dilakukan perbandingan terhadap masing-masing permodelan berdasarkan perilaku akibat deformasi yaitu output modal dan perilaku strukturnya baik gaya dalam maupun kapasitas penampangnya dalam menahan gaya yang ada.

4.6.1 Analisa Perilaku Deformasi Bangunan

Perbandingan terhadap perilaku deformasi bangunan ditinjau berdasarkan kontrol struktur yang telah dilakukan sebelumnya antara lain yaitu hasil periode fundamental, rasio partisipasi massa, gaya geser dasar, dan simpangan antar lantai.

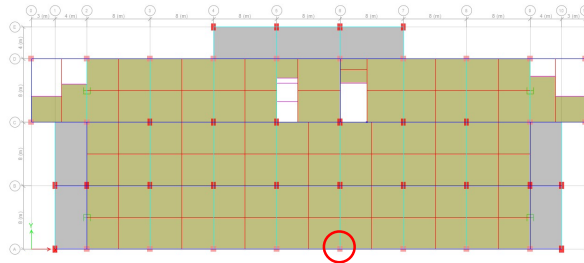
Tabel 39 Perbandingan Perilaku Deformasi Bangunan

Tipe Desain	Simpangan Total		Periode Fundamental		Base Shear	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
SRPMK	32.35	36.64	1.358	1.481	6229.86	5732.07
SRPMB	86.27	97.69	1.358	1.481	16612.95	15285.5
SRPMB + FVD	73.01	90.06	1.356	1.471	15975.89	14727.4

4.6.2 Analisa Perilaku Struktur Bangunan

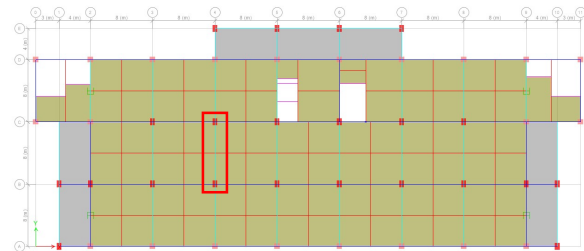
Perbandingan terhadap perilaku struktur bangunan ditinjau berdasarkan gaya dalam yang terjadi pada salah satu balok serta kolom yang sama dan berdasarkan kontrol kapasitas yang telah dilakukan.

- **Kolom Lantai 2 As A-6**



Gambar 44 Lokasi kolom yang dibandingkan

- **Balok Lantai 2 As 4 C-B**



Gambar 45 Lokasi balok yang dibandingkan

Tabel 40 Perbandingan Hasil Perilaku Struktur

Tipe Desain	Gaya Dalam			Jumlah Penampang Melebihi Rasio Kapasitas
	Gaya Aksial (P) Kolom Terbesar (kN)	Gaya Momen (M) Balok Terbesar (kN.m)	Gaya Geser (V) Balok Terbesar (kN)	
SRPMK	3771.53	369.07	194.61	0
SRPMB	4416.42	711.62	300.22	10
SRPMB + FVD	4364.86	683.59	230.8	1

Dari hasil perbandingan kontrol struktur diatas, didapatkan bahwa setelah dilakukan perubahan desain dari SRPMK menjadi SRPMB ternyata struktur bangunan tidak mampu menerima gaya yang ada. Hal ini diperkuat dengan adanya 10 penampang gagal yang terjadi pada bangunan. Kemudian, dilakukan alternatif desain dengan menambahkan alat peredam *fluid viscous damper* seperti yang telah direncanakan dan dilakukan analisa terhadap hasilnya. Ternyata dengan adanya penambahan damper tersebut dapat memberikan dampak yang menguntungkan yaitu kinerja struktur bangunan yang semakin membaik serta penurunan kapasitas penampang gagal menjadi hanya satu.

Penampang gagal terjadi pada balok B2 dengan dimensi 35x70 cm di lantai 2 As 6 C-D dikarenakan gagal dalam menerima gaya geser serta torsi yang ada. Selanjutnya dilakukan analisa cek kapasitas secara manual dan ternyata penampang yang gagal tersebut dapat diatasi dengan mengurangi jarak sengkang yang terpasang. Dari hasil ini, dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa penampang eksisting yang didesain untuk bangunan bersifat non-elastis dengan penambahan alat peredam gempa *fluid viscous damper* dan melakukan sedikit penyesuaian ternyata desain strukturnya bisa dirubah untuk menjadi bangunan yang bersifat elastis (SRPMB). Perilaku elastis pada bangunan dapat membuat bangunan menjadi lebih kuat dalam menerima gaya gempa yang lebih besar dan apabila terjadi gempa dengan skala faktor yang telah ditentukan hanya akan terjadi kerusakan pada bagian non-struktur atau struktur sekundernya saja. Sehingga, nantinya bangunan bisa digunakan kembali dengan perbaikan pada bagian non-strukturnya saja.

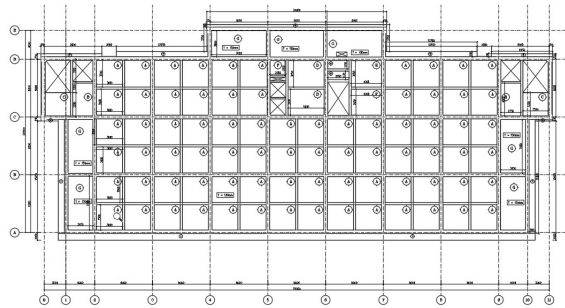
“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS

5.1 Perencanaan Pelat Lantai

Pelat yang direncanakan pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) ini berdasarkan perbedaan dari beban yang diterima oleh tiap pelat.



Gambar 46 Gambar denah pelat Lt. 1-8

5.1.1 Pembebanan Pelat Lantai

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

1. Pelat Lantai 1

Beban yang bekerja pada pelat lantai dasar terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (q_D) dan beban hidup (q_L).

- Beban Mati

Berat sendiri pelat (2360x0.12) = 283 Kg/m^2

Spesi = 42 Kg/m^2

Tegel = 16,5 Kg/m^2

Plafond = 9,2 Kg/m^2

Partisi plafond = 16,8 Kg/m^2

Ducting plumbing = 25 Kg/m^2

Partisi = 40 Kg/m^2

Beban Mati Total (q_D) = 453 Kg/m^2

- Beban Hidup (q_L)

- Beban hidup perkantoran = 240 Kg/m^2
- Kombinasi Pembebanan
 - $Qu = 1,2qD + 1,6qL$
 - $Qu = 1,2(453 \text{ Kg/m}^2) + 1,6(240 \text{ Kg/m}^2)$
 - $Qu = 927 \text{ Kg/m}^2$

2. Pelat Lantai 2-6

Beban yang bekerja pada pelat lantai dasar terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (qD) dan beban hidup (qL).

- Beban Mati
 - Berat sendiri pelat (2360x0.12) = 283 Kg/m^2
 - Spesi = 42 Kg/m^2
 - Tegel = $16,5 \text{ Kg/m}^2$
 - Plafond = $9,2 \text{ Kg/m}^2$
 - Partisi plafond = $16,8 \text{ Kg/m}^2$
 - Ducting plumbing = 25 Kg/m^2
 - Partisi = 40 Kg/m^2
 - Beban Mati Total (qD) = 453 Kg/m^2
- Beban Hidup (qL)
 - Beban hidup ruang kelas = 192 Kg/m^2
- Kombinasi Pembebanan
 - $Qu = 1,2qD + 1,6qL$
 - $Qu = 1,2(453 \text{ Kg/m}^2) + 1,6(192 \text{ Kg/m}^2)$
 - $Qu = 850 \text{ Kg/m}^2$

3. Pelat Lantai 7-8

Beban yang bekerja pada pelat lantai dasar terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (qD) dan beban hidup (qL).

- Beban Mati
 - Berat sendiri pelat (2360x0.12) = 283 Kg/m^2
 - Spesi = 42 Kg/m^2
 - Tegel = $16,5 \text{ Kg/m}^2$
 - Plafond = $9,2 \text{ Kg/m}^2$
 - Partisi plafond = $16,8 \text{ Kg/m}^2$
 - Ducting plumbing = 25 Kg/m^2
 - Partisi = 40 Kg/m^2

- Beban Mati Total (qD) = 453 Kg/m²
- Beban Hidup (qL)
Beban hidup ruang pertemuan = 479 Kg/m²
- Kombinasi Pembebanan
 $Qu = 1,2qD + 1,6qL$
 $Qu = 1,2(453 \text{ Kg/m}^2) + 1,6(479 \text{ Kg/m}^2)$
 $Qu = 1395 \text{ Kg/m}^2$

4. Pelat Lantai Atap

Beban yang bekerja pada pelat lantai dasar terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (qD) dan beban hidup (qL).

- Beban Mati
 Berat sendiri pelat (2360x0.12) = 283 Kg/m²
 Spesi = 42 Kg/m²
 Tegel = 16,5 Kg/m²
 Plafond = 9,2 Kg/m²
 Partisi plafond = 16,8 Kg/m²
 Ducting plumbing = 25 Kg/m²
 Partisi = 40 Kg/m²

 Beban Mati Total (qD) = 453 Kg/m²
- Beban Hidup (qL)
Beban hidup ruang kelas = 96 Kg/m²
- Kombinasi Pembebanan
 $Qu = 1,2qD + 1,6qL$
 $Qu = 1,2(453 \text{ Kg/m}^2) + 1,6(96 \text{ Kg/m}^2)$
 $Qu = 697 \text{ Kg/m}^2$

5.1.2 Perhitungan Pelat Lantai 1 Tipe A

Data-data yang diketahui :

- Fc' = 30 Mpa
- Fyl = 390 Mpa
- Lx = 4000 mm
- Ly = 4000 mm
- Tebal Pelat = 120 mm
- Ly/Lx = 1 < 2 → maka pelat dua arah

Untuk nilai β_1

Sesuai SNI 03-2874-2013 Pasal 10.2.7.3 Reduksi β_1 sebesar 0.05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa. Mutu beton pakai (f_c') = 30 MPa, kenaikan 2 MPa dari 28 MPa.

$$\beta_1 = 0.85 - (0.05 \times (\frac{30 \text{ Mpa}}{28 \text{ Mpa}})) = 0,8$$

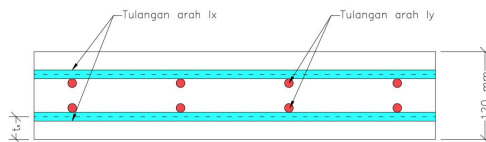
Untuk nilai m

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_c'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,3$$

Batasan penulangan (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5.1)

- $\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897$
- $\rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{F_y} \left(\frac{600}{600 + 390} \right)$
- $\rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,03156$
- $\rho_{max} = 0,75. \rho_b = 0,75 \times 0,03156 = 0,02367$

Tinggi efektif



Gambar 47 Tinggi efektif pelat

$$\begin{aligned} h &= 120 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ ts &= 20 \text{ mm} \\ \emptyset &= 10 \text{ mm} \\ dx &= h - ts - \emptyset/2 \\ &= 120 - 20 - 5 = 95 \text{ mm} \\ dy &= h - ts - \emptyset - \emptyset/2 \\ &= 120 - 20 - 10 - 5 = 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk tipe pelat dua arah momen yang terjadi dihitung menggunakan koefisien PBI pada Tabel 13.3.1 PBI 1971

$$M = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

Nilai X didapatkan :

$$\text{Tumpuan } x (T_x) = 52$$

$$\text{Tumpuan } y (T_y) = 52$$

$$\text{Lapangan } x (L_x) = 21$$

$$\text{Lapangan } y (L_y) = 21$$

Sehingga, momen-momen yang terjadi ialah :

$$\begin{aligned} MT_x &= +0,001 \times 927 \text{ kg/m}^2 \times 16 \times 52 \\ &= 771 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_x &= +0,001 \times 927 \text{ kg/m}^2 \times 16 \times 21 \\ &= 312 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MT_y &= +0,001 \times 927 \text{ kg/m}^2 \times 16 \times 52 \\ &= 771 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_y &= +0,001 \times 927 \text{ kg/m}^2 \times 16 \times 21 \\ &= 312 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- **Tulangan Tumpuan X**

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\varphi} = \frac{7714636,8}{0,8} = 9643296 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{9643296}{1000 \times 95^2} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,07}{390}} \right) = 0,0027997$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,0027997 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho_{min} = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_{s_{min}} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 95$$

$$A_{s_{min}} = 341 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai Ø10 – 200

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times \left(\frac{b}{s}\right)$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{200}\right) = 393 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } As_{pakai} = 393 \text{ mm}^2 > As_{min} = 341 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(120) \text{ atau } 2(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 360 \text{ atau } 240 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

$$\text{Sehingga tulangan pakai } \phi 10 - 200 > 240 \rightarrow \text{(OK)}$$

- Tulangan Lapangan X**

$$Mn = \frac{Mtx}{\phi} = \frac{3115526,4}{0,8} = 3894408 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{3894408}{1000 \times 95^2} = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,43}{390}} \right) = 0,00111597$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,0011159 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho_{min} = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$As_{min} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 95$$

$$As_{min} = 341 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai $\phi 10 - 200$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times \left(\frac{b}{s}\right)$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{200}\right) = 393 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } As_{pakai} = 393 \text{ mm}^2 > As_{min} = 341 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(120) \text{ atau } 2(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 360 \text{ atau } 240 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

Sehingga tulangan pakai $\emptyset 10 - 200 > 240 \rightarrow (OK)$

- Tulangan Tumpuan Y**

$$Mn = \frac{Mtx}{\phi} = \frac{7714636,8}{0,8} = 9643296 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{9643296}{1000 \times 95^2} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,07}{390}} \right) = 0,0027997$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,0027997 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho_{min} = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$As_{min} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 95$$

$$As_{min} = 341 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 200$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{200} \right) = 393 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } As_{pakai} = 393 \text{ mm}^2 > As_{min} = 341 \text{ mm}^2 (OK)$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(120) \text{ atau } 2(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 360 \text{ atau } 240 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

Sehingga tulangan pakai $\emptyset 10 - 200 > 240 \rightarrow (OK)$

- **Tulangan Lapangan Y**

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{3115526,4}{0,8} = 3894408 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{3894408}{1000 \times 95^2} = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,43}{390}} \right) = 0,00111597$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,0011159 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho_{min} = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_{s_{min}} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 95$$

$$A_{s_{min}} = 341 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 200$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{200} \right) = 393 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } A_{s_{pakai}} = 393 \text{ mm}^2 > A_{s_{min}} = 341 \text{ mm}^2 (OK)$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(120) \text{ atau } 2(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 360 \text{ atau } 240 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

Sehingga tulangan pakai $\emptyset 10 - 200 > 240 \rightarrow (OK)$

- **Tulangan Pembagi**

(SNI 2847-2013-7.12.2.1)

$$\rho_{perlu} = 0,0018 \times \frac{420}{F_y} = 0,0019$$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0019 \times 1000 \times 120 = 233 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai : $\emptyset 10 - 300$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \left(\frac{b}{s}\right)$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{300}\right) = 262 \text{ mm}^2$$

Periksa :

$$A_{s_{pakai}} = 262 \text{ mm}^2 > A_{s_{perl}} = 233 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 5h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 5(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 600 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

$$\text{Sehingga tulangan pakai } \emptyset 10 - 300 > 450 \rightarrow \text{(OK)}$$

5.1.3 Perhitungan Pelat Lantai 1 Tipe G

Data-data yang diketahui :

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$L_x = 4000 \text{ mm}$$

$$L_y = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$L_y/L_x = 2 \geq 2 \rightarrow \text{maka pelat satu arah}$$

Untuk nilai β_1

Sesuai SNI 03-2874-2013 Pasal 10.2.7.3 Reduksi β_1 sebesar 0.05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa. Mutu beton pakai (f_c') = 30 MPa, kenaikan 2 MPa dari 28 MPa.

$$\beta_1 = 0.85 - (0,05 \times (\frac{30 \text{ Mpa}}{28 \text{ Mpa}})) = 0,8$$

Untuk nilai m

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_c'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,3$$

Batasan penulangan (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5.1)

- $\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897$
- $\rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{F_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
 $\rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,03156$
- $\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,03156 = 0,02367$

Momen yang terjadi pada pelat :

$$M_+(Lap) = \frac{qu \times Lx^2}{24} = \frac{803 \times 8^2}{24} = 535,4 \text{ kg.m}$$

$$M_-(Tump) = \frac{qu \times Lx^2}{12} = \frac{803 \times 8^2}{12} = 1071 \text{ kg.m}$$

• **Tulangan Tumpuan**

$$Mn = \frac{Mt}{\phi} = \frac{10710000}{0,8} = 13384000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{13384000}{1000 \times 95^2} = 1,483 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,483}{390}} \right) = 0,00392$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,00392 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho = 0,00392$$

Maka luas tulangan perlu :

$$As_{min} = \rho \times b \times d = 0,00392 \times 1000 \times 95$$

$$As_{min} = 372 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai Ø10 – 200

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{200} \right) = 393 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } A_{s_{pakai}} = 393 \text{ mm}^2 > A_{s_{min}} = 372 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(120) \text{ atau } 2(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 360 \text{ atau } 240 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

$$\text{Sehingga tulangan pakai } \emptyset 10 - 200 > 240 \rightarrow \text{(OK)}$$

- **Tulangan Pembagi**

(SNI 2847-2013-7.12.2.1)

$$\rho_{perlu} = 0,0018 \times \frac{420}{F_y} = 0,0019$$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0019 \times 1000 \times 120 = 233 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai : $\emptyset 10 - 300$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times \left(\frac{1000}{300} \right) = 262 \text{ mm}^2$$

Periksa :

$$A_{s_{pakai}} = 262 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 233 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 5h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 5(120) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 600 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

$$\text{Sehingga tulangan pakai } \emptyset 10 - 300 > 450 \rightarrow \text{(OK)}$$

5.1.4 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Untuk $d_b = 10 \text{ mm}$ (diameter tulangan yang dipakai) Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.7.5.1 untuk panjang penyaluran pelat minimal :

- $8.d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$
- 150 mm

$$- \frac{0,24 \times f_y \times \sqrt{f_c'}}{db} = 51 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar = 150 mm

5.1.5 Rekapitulasi Penulangan Pelat

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan penulangan pelat lantai 1 sampai 8 yang disajikan dalam bentuk tabel.

- Rekapitulasi Penulangan Pelat Lt. 1

Tabel 41 Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. 1

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT DUA ARAH Lt.1										
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang Arah X			Tulangan terpasang Arah Y			Panjang Penyaluran (mm)
		Lx (mm)	Ly (mm)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
A	120	4000	4000	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
B	120	3050	4700	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
C	120	3380	3650	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
D	120	4000	5000	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
E	120	4000	4200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
F	120	2200	2650	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

Tabel 42 Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. 1

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT SATU ARAH Lt.1						
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang		Panjang Penyaluran (mm)
		Lx(m)	Ly(m)	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
G	120	4000	8000	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
H	120	1150	2950	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

- Rekapitulasi Penulangan Pelat Lt. 2-6

Tabel 43 Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. 2-6

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT DUA ARAH Lt.2-6										
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang Arah X			Tulangan terpasang Arah Y			Panjang Penyaluran (mm)
		Lx (mm)	Ly (mm)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
A	120	4000	4000	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
B	120	3050	4700	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
C	120	3380	3650	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
D	120	4000	5000	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
E	120	4000	4200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
F	120	2200	2650	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

Tabel 44 Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. 2-6

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT SATU ARAH Lt.2-6						
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang		Panjang Penyaluran (mm)
		Lx(m)	Ly(m)	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
G	120	4000	8000	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
H	120	1150	2950	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

- Rekapitulasi Penulangan Pelat Lt. 7-8

Tabel 45 Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. 7-8

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT DUA ARAH Lt.7-8										
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang Arah X			Tulangan terpasang Arah Y			Panjang Penyaluran (mm)
		Lx(m)	Ly(m)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
A	120	4000	4000	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	150 mm
B	120	3050	4700	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	150 mm
C	120	3380	3650	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	150 mm
D	120	4000	5000	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	150 mm
E	120	4000	4200	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	150 mm
F	120	2200	2650	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-300	150 mm

Tabel 46 Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. 2-6

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT SATU ARAH Lt.7-8						
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang		Panjang Penyaluran (mm)
		Lx(m)	Ly(m)	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
G	120	4000	8000	Ø10-150	Ø10-300	150 mm
H	120	1150	2950	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

- Rekapitulasi Penulangan Pelat Lt. Atap

Tabel 47 Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah Lt. Atap

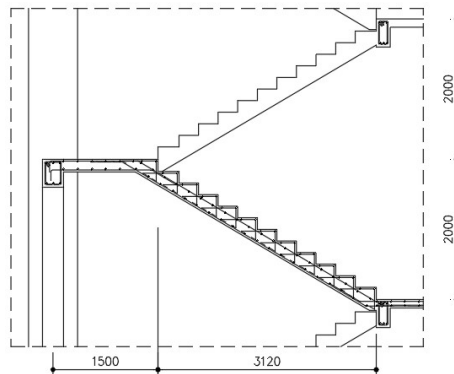
REKAPITULASI PENULANGAN PELAT DUA ARAH Lt.Atap										
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang Arah X			Tulangan terpasang Arah Y			Panjang Penyaluran (mm)
		Lx(m)	Ly(m)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	Tulangan Tumpuan (mm)	Tulangan Lapangan (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
A	120	4000	4000	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
B	120	3050	4700	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
C	120	3380	3650	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
D	120	4000	5000	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
E	120	4000	4200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
F	120	2200	2650	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

Tabel 48 Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah Lt. Atap

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT SATU ARAH Lt.Atap						
Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Ukuran Pelat		Tulangan terpasang		Panjang Penyaluran (mm)
		Lx(m)	Ly(m)	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
G	120	4000	8000	Ø10-200	Ø10-300	150 mm
H	120	1150	2950	Ø10-200	Ø10-300	150 mm

5.2 Perencanaan Pelat Tangga dan Bordes

Pada perencanaan struktur tangga Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM), terdapat tiga area tangga. Perencanaan tulangan tangga tak berbeda jauh dengan perencanaan penulangan pelat satu arah yang terdiri dari tulangan utama dan tulangan pembagi/susut. Desain tangga dibuat dengan kemiringan per pelat tangga kisaran $25^\circ < \alpha < 40^\circ$ dengan tinggi injakan anak tangga kisaran 17 cm – 18 cm sehingga pengguna tangga akan nyaman dalam beraktifitas naik dan turun per lantainya.



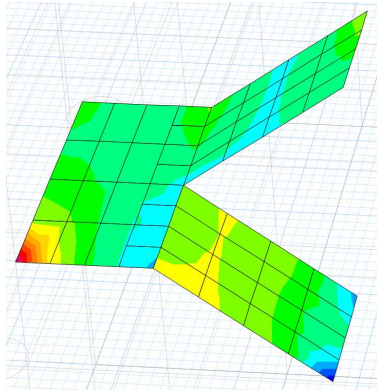
Gambar 48 Sketsa potongan perencanaan tangga area 1

Data perencanaan :

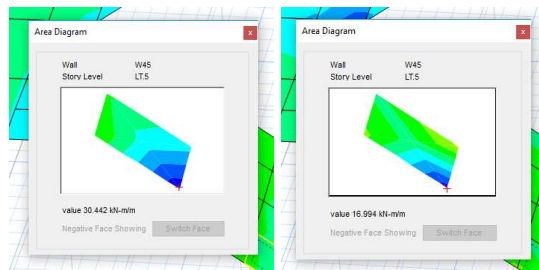
Tipe tangga	= Area 1
F_c'	= 30 MPa
F_{yl}	= 390 MPa
Lebar pelat injak	= 300 mm
Tinggi pelat injak	= 180 mm
Panjang bordes	= 2950 mm
Lebar bordes	= 1750 mm
Tinggi tangga	= 2000 mm
Lebar tangga	= 1350 mm
Panjang miring tangga	= 3689 mm
Tebal pelat tangga	= 180 mm

5.2.1 Analisa Struktur Gaya Dalam

Beban yang bekerja pada pelat tangga terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati (q_D) dan beban hidup (q_L). Pada perhitungan gaya dalam pelat tangga, diambil nilai momen yang terbesar. Diambil momen 1-1 untuk arah memanjang dan momen 2-2 untuk arah melintang.



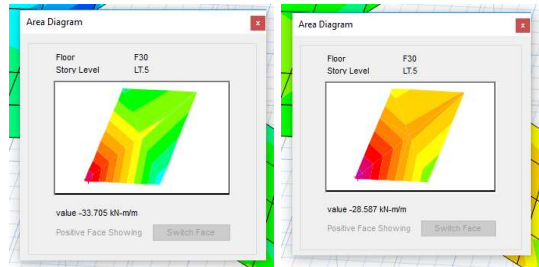
Gambar 49 Diagram momen tangga area 1



Gambar 50 Momen M11 & M22 Pelat Tangga Terbesar

Tabel 49 Momen tersebsar pelat tangga

Momen 1-1 (kN.m)	Momen 2-2 (kN.m)
16.994	30.442



Gambar 51 Momen M11 & M22 Pelat Tangga Terbesar

Tabel 50 Momen terbesar pelat tangga

Momen 1-1 (kN.m)	Momen 2-2 (kN.m)
28.587	33.705

5.2.2 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

Data-data yang diketahui :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 390 \text{ Mpa} \\
 L_x &= 1350 \text{ mm} \\
 L_y &= 3689 \text{ mm} \\
 \text{Tebal Pelat} &= 180 \text{ mm} \\
 L_y/L_x &= 2,73 \geq 2 \rightarrow \text{Maka pelat satu arah}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai β_1

Sesuai SNI 03-2874-2013 Pasal 10.2.7.3 Reduksi β_1 sebesar 0.05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa. Mutu beton pakai (f_c') = 30 MPa, kenaikan 2 MPa dari 28 MPa.

$$\beta_1 = 0.85 - (0,05 \times (\frac{30 \text{ Mpa}}{28 \text{ Mpa}})) = 0,8$$

Untuk nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,3$$

Batasan penulangan (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5.1)

$$\begin{aligned}
- \rho_{min} &= \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897 \\
- \rho_b &= \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{F_y} \left(\frac{600}{600 +} \right) \\
\rho_b &= \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,03156 \\
- \rho_{max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,03156 = 0,02367
\end{aligned}$$

a. Tulangan Arah Memanjang

$$Mu = 16,994 \text{ kN.m} = 16994000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{16994000}{0,8} = 21242500 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{21242500}{1000 \times 174^2} = 0,7057 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,7057}{390}} \right) = 0,00184$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,00184 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$As_{min} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 174$$

$$As_{min} = 622,8 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai D13 – 200

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times \left(\frac{1000}{200} \right) = 663,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } As_{pakai} > As_{min} = 622,8 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(200) \text{ atau } 2(200) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 600 \text{ atau } 400 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

Sehingga tulangan pakai $D13 - 200 > 400 \rightarrow (OK)$

b. Tulangan Arah Melintang

$$Mu = 30,442 \text{ kN.m} = 30442000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{30442000}{0,8} = 38052500 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{38052500}{1000 \times 174^2} = 1,2641 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,2641}{390}} \right) = 0,0033259$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,003326 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$As_{min} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 174$$

$$As_{min} = 622,8 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai $D13 - 200$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times \left(\frac{1000}{200} \right) = 663,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } As_{pakai} > As_{min} = 622,8 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(200) \text{ atau } 2(200) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 600 \text{ atau } 400 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

Sehingga tulangan pakai $D13 - 200 > 400 \rightarrow (OK)$

5.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

Data-data yang diketahui :

F_c'	= 30 MPa
F_{yl}	= 390 Mpa
L_x	= 1400 mm
L_y	= 2950 mm
Tebal Pelat	= 180 mm
L_y/L_x	= 2,11 $\geq 2 \rightarrow$ Maka pelat satu arah

Untuk nilai β_1

Sesuai SNI 03-2874-2013 Pasal 10.2.7.3 Reduksi β_1 sebesar 0.05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa. Mutu beton pakai (f_c') = 30 MPa, kenaikan 2 MPa dari 28 MPa.

$$\beta_1 = 0.85 - (0,05 \times (\frac{30 \text{ Mpa}}{28 \text{ Mpa}})) = 0,8$$

Untuk nilai m

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_c'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,3$$

Batasan penulangan (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.5.1)

- $\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897$
- $\rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{F_y} \left(\frac{600}{600 + f} \right)$
 $\rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,03156$
- $\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,03156 = 0,02367$

c. Tulangan Arah Memanjang

$$M_u = 28,587 \text{ kN.m} = 28587000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{28587000}{0,8} = 35733750 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{35733750}{1000 \times 174^2} = 1,1871 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,1871}{390}} \right) = 0,003118$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,003118 < 0,0237$$

Karena ρ perlu kurang dari ρ_{min} sehingga dipakai,

$$\rho = 0,0035897$$

Maka luas tulangan perlu :

$$As_{min} = \rho \times b \times d = 0,0035897 \times 1000 \times 174$$

$$As_{min} = 622,8 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai D13 – 200

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times \left(\frac{1000}{200} \right) = 663,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } As_{pakai} > As_{min} = 622,8 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(200) \text{ atau } 2(200) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 600 \text{ atau } 400 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

$$\text{Sehingga tulangan pakai } D13 - 200 > 400 \rightarrow \text{(OK)}$$

d. Tulangan Arah Melintang

$$Mu = 33,705 \text{ kN.m} = 33705000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{33705000}{0,8} = 42131250 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{42131250}{1000 \times 174^2} = 1,3996 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,3996}{390}} \right) = 0,003693$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \rightarrow 0,0035897 < 0,003693 < 0,0237$$

Sehingga dipakai,

$$\rho = 0,003693$$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_{smin} = \rho \times b \times d = 0,003693 \times 1000 \times 174$$

$$A_{smin} = 641 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai D13 – 200

$$A_{spakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \left(\frac{b}{s}\right)$$

$$A_{spakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times \left(\frac{1000}{200}\right) = 663,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Periksa : } A_{spakai} > A_{smin} = 641 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Periksa syarat jarak antar tulangan :

$$s \leq 3h \text{ atau } 2h \text{ atau } 450$$

$$s \leq 3(200) \text{ atau } 2(200) \text{ atau } 450$$

$$s \leq 600 \text{ atau } 400 \text{ atau } 450 \text{ (Pilih yang terkecil)}$$

$$\text{Sehingga tulangan pakai } D13 - 200 > 400 \rightarrow \text{(OK)}$$

5.2.4 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

Berikut merupakan hasil rekapitulasi hasil perhitungan penulangan tangga dan bordes sebelumnya yang disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 51 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga & Bordes

Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga					
Tipe Pelat	Tebal Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Pasang	
		Lx	Ly	Memanjang	Melintang
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)

Tangga	180	3689	1350	D13-200	D13-200
Bordes	180	2950	1400	D13-200	D13-200

5.3 Perencanaan Penulangan Balok

5.3.1 Perhitungan Penulangan Balok Induk

Pada perhitungan penulangan balok induk terdapat beberapa tipe balok yang dibedakan. Seluruh balok induk dihitung sesuai dengan hasil analisa permodelan struktur. Salah satu tipe balok akan dijabarkan perhitungannya sesuai dengan hasil analisa, selanjutnya hasil rekapitulasi perhitungan akan disimpulkan dalam bentuk tabel.

A. Data Perencanaan

Adapun data-data perencanaan balok induk yaitu :

Tipe Balok	= B1
Bentang balok (L)	= 8000 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi balok (h)	= 800 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 390 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 390 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 390 MPa
Tebal selimut beton (<i>decking</i>)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur	= 0,90
Faktor reduksi kekuatan geser	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir	= 0,75
Diameter tulangan lentur	= D25
Diameter tulangan geser	= D13
Diameter tulangan puntir	= D13
Jarak spasi minimal tulangan	= 25 mm

Tinggi efektif balok (d)

$$d = h - \text{decking} - D \text{ sengkang} - 1/2 D \text{ lentur}$$

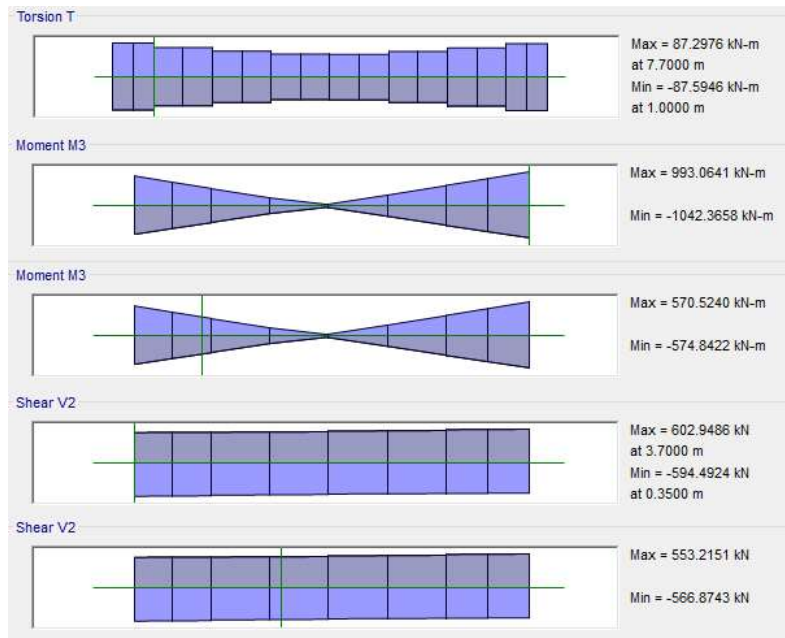
$$d = 800 - 40 - 13 - 1/2 \cdot 25 = 734,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + D \text{ sengkang} + 1/2 D \text{ lentur}$$

$$d' = 40 + 13 + 1/2 \cdot 25 = 65,5 \text{ mm}$$

B. Analisis Struktur Gaya Dalam

Berikut merupakan gaya dalam terbesar yang terjadi pada struktur elemen balok B1 dari kombinasi envelope hasil analisis permodelan struktur.



Gambar 52 Output gaya dalam balok induk B1

Tabel 52 Rekapitulasi output gaya dalam balok induk B1

Daerah	Gaya Dalam		
	Momen	Geser	Torsi
	(kN.m)	(kN)	(kN.m)
Tumpuan	1042.3658	602.9486	87.5946
Lapangan	574.8422	566.8743	

C. Perhitungan Tulangan Torsi

Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.1

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

Dimana untuk gaya yang terjadi :

Torsi maksimum terjadi

$$Tu = 87,5946 \text{ kN.m} = 87594600 \text{ N.mm}$$

$$b_h = b - 2 \cdot \text{decking} - D \text{ sengkang}$$

$$b_h = 400 - 2 \cdot 40 - 13 = 307 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot \text{decking} - D \text{ sengkang}$$

$$h_h = 800 - 2 \cdot 40 - 13 = 707 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_h = 2 \times (b_h + h_h) = 2 \times (307 + 707) = 2028 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_h = b_h \times h_h = 307 \times 707 = 217049 \text{ mm}^2$$

Periksa persyaratan pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.5.1 sehingga pengaruh puntir dapat diabaikan apabila,

$$Tu \leq Tu_{min}$$

$$Tu \leq \varphi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana :

A_{cp} = Luas penampang keseluruhan

P_{cp} = Keliling penampang keseluruhan

λ = 1 (untuk beton normal)

φ = 0,75 (factor reduksi beban torsi)

Periksa perssyaratkan pengaruh momen puntir :

$$A_{cp} = b \times h = 400 \times 800 = 320000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (400 + 800) = 2400 \text{ mm}$$

Maka dapat dihitung nilai dari Tu_{min} :

$$Tu_{min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{320000^2}{2400} \right)$$

$$Tu_{min} = 14547511,13 \text{ N.mm}$$

$$Tu = 87594600 \text{ Nmm} \leq Tu_{min} = 14547511,13 \text{ Nmm},$$

maka diperlukan tulangan torsi

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2, nilai torsi maksimum boleh direduksi menjadi nilai sebagai berikut :

$$Tu_{maks} = 0,75 \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu_{maks} = 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{320000^2}{2400} \right)$$

$$Tu_{maks} = 57839502,07 \text{ N.mm}$$

Karena nilai Tu lebih besar daripada nilai Tu_{maks} maka digunakan nilai $Tu_{maks} = 57839502,07 \text{ N.mm}$

Perhitungan kebutuhan tulangan torsi transversal berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6 bahwa dalam menghitung tulangan transversal penahan torsi, nilai A_o dapat diambil sebesar $0,85 \cdot A_h$ dan nilai $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned}
A_o &= 0,85 \cdot A_h = 184492 \text{ mm}^2 \\
T_n &= \frac{2 \times A_o \times A_T \times f_{yt}}{s} \times \cot \theta \\
\frac{A_T}{s} &= \frac{T_u}{\phi \times 2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \theta} \\
\frac{A_T}{s} &= \frac{57839502,07}{0,75 \times 2 \times 184492 \times 390 \times \cot 45^\circ} \\
\frac{A_T}{s} &= 0,53591 \text{ mm}^2/\text{mm}
\end{aligned}$$

Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7 bahwa tulangan torsi untuk tulangan lentur dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
A\ell &= \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 45^\circ \\
A\ell &= 0,53591 \cdot 2028 \cdot \left(\frac{390}{390} \right) \cdot \cot^2 45^\circ \\
A\ell &= 1086,83 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Cek nilai $A\ell$ min dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
A\ell_{min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \\
A\ell_{min} &= 1887,54 - 1086,83 \\
A\ell_{min} &= 800,71 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kontrol syarat penggunaan $A\ell$:

- $A\ell_{perlu} \leq A\ell_{min} \rightarrow$ Maka gunakan $A\ell_{min}$
- $A\ell_{perlu} \geq A\ell_{min} \rightarrow$ Maka gunakan $A\ell_{perlu}$

Maka $A\ell_{perlu} = 1086,83 \text{ mm}^2 \geq A\ell_{min} = 800,71 \text{ mm}^2$
 sehingga digunakan nilai $A\ell_{perl} = 1086,83 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok, sehingga :

$$\frac{A\ell}{4} = \frac{1086,83 \text{ mm}^2}{4} = 200,178 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $200,178 \text{ mm}^2$.

Sedangkan pada sisi kanan dan kiri dipasang tulangan puntir dengan luasan :

$$A_{puntir} = 2 \times \frac{A_{\ell}}{4} = 400,355 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan torsi perlu :

$$n = \frac{A_{puntir}}{A_s} = \frac{400,355}{132,7} = 3,017 \approx 4 \text{ tulangan}$$

Kontrol $A_{\ell_{pasang}} \geq A_{\ell_{perlu}}$

$$A_{\ell_{pasang}} = n \times A_s \text{ pasang}$$

$$A_{\ell_{pasang}} = 4 \times 132,7 = 531 \text{ mm}^2$$

Maka, $A_{\ell_{pasang}} \geq A_{\ell_{perlu}} = 400,355 \text{ mm}^2 \rightarrow (OK)$

Sehingga dipasang tulangan puntir 4 D13

D. Perhitungan Tulangan Longitudinal

Penulangan longitudinal pada elemen balok dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah tumpuan dimana terjadi momen negatif dan daerah lapangan terjadi momen positif.

Daerah Tumpuan

- Ambil suatu harga $x \leq 0,75X_b$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 390} \times 734,5$$

$$X_b = 445,152 \text{ mm}$$

x direncanakan sebesar 200 mm kemudian dilakukan cek,

$$x = 200 \text{ mm} \leq 0,75 \times 445,152 = 333,864 \text{ mm} \rightarrow (OK)$$

- Ambil A_{sc} berdasarkan x rencana

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 200}{390}$$

$$A_{sc} = 4446,153846 \text{ mm}^2$$

- Hitung momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times (d - \frac{\beta_1 \times x}{2})$$

$$M_{nc} = 4446,15 \times 390 \times (734,5 - \frac{0,85 \times 200}{2})$$

$$M_{nc} = 1126233000 \text{ N.mm}$$

- Momen lentur nominal

$$M_u = 1042365800 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1042365800}{0,9} = 1158184222 \text{ N.mm}$$

- Cek penulangan rangkap

Apabila : $M_n - M_{nc} > 0 \rightarrow$ Perlu tulangan tekan

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

Maka, nilai $M_n - M_{nc}$:

$$1158184222 - 1126233000 = 31951222,22 \text{ Nmm}$$

$$31951222,22 \text{ Nmm} > 0$$

Sehingga, dihitung dengan metode penulangan rangkap karena perlu tulangan tekan.

- Kontrol tulangan tekan leleh

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

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

Periksa :

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{65,5}{200}\right) \cdot 600$$

$$f_s' = 403,5 \text{ MPa} \geq f_y = 390 \text{ MPa} \rightarrow \text{leleh } f_s' = f_y$$

- Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$C_s' = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')} = \frac{31951222,22}{(734,5 - 65,5)}$$

$$C_s' = T_2 = 47759,7 \text{ N}$$

Tulangan tekan perlu :

$$A'_s = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85 \cdot f_c')} \\ A'_s = \frac{47759,7 \text{ N}}{(390 - 0,85 \times 30)} = 131,028 \text{ mm}^2$$

Tulangan Tarik tambahan

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y} \\ A_{ss} = \frac{47759,7 \text{ N}}{390} = 122,461 \text{ mm}^2$$

- Tulangan tarik dan tekan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} + A_\ell/4 \\ A_s = 4446,153846 + 122,461 + 200,178 \\ A_s = 4840,32 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik :

$$n = \frac{A_s}{\text{Luas tulangan}} = \frac{4840,32 \text{ mm}^2}{490,9 \text{ mm}^2} = 9,86 \approx 10$$

Sehingga, dipasang tulangan tarik **10 – D25**

Periksa apakah $A_{spasang} > A_{sperlu}$

$$A_{spasang} = 10 \times 490,9 = 4909 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} \rightarrow (OK)$$

Kontrol spasi tulangan $s > 25 \text{ mm}$ dengan rencana tulangan dipasang 2 lapis

$$s = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot D_{geser}) - (n \cdot D_{lentur})}{n - 1} \\ s = \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 13) - (5 \cdot 25)}{5 - 1}$$

$$s = 42,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka tulangan tarik disusun 2 lapis **5 – D25**

$$A'_s = A'_s + A_\ell/4 \\ A'_s = 131,028 + 200,178 \\ A'_s = 402,734 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan :

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luas tulangan}} = \frac{402,734 \text{ mm}^2}{490,9 \text{ mm}^2} = 0.8204 \approx 2$$

Sehingga, dipasang tulangan tekan **2 – D25**

Periksa apakah $As'_{pasang} > As'_{perlu}$

$$As_{pasang} = 2 \times 490,9 = 981,8 \text{ mm}^2 > As_{perlu} \rightarrow (OK)$$

Kontrol spasi tulangan $s > 25 \text{ mm}$ dengan rencana tulangan dipasang 2 lapis

$$s = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot D_{geser}) - (n \cdot D_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$s = \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 13) - (2 \cdot 25)}{2-1}$$

$$s = 244 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka tulangan tarik disusun 1 lapis **2 – D25**

Kontrol kemampuan penampang, namun karena tulangan tarik dipasang 2 lapis maka nilai d mengalami perubahan yaitu :

$$d_{aktual} = h - \text{decking} - D_{geser} - D_{lentur} - s/2$$

$$d_{aktual} = 800 - 40 - 13 - 25 - 12,5$$

$$d_{aktual} = 709,5 \text{ mm}$$

$$\phi \cdot Mn_{pasang} > Mu$$

$$a = \frac{(A_s - As') \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{(4909 - 981,8) \cdot 390}{0,85 \times 30 \times 400} = 150,158 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot 30 \cdot 150,158 \cdot 400 \cdot (709,5 - \frac{150,158}{2})$$

$$M_{n1} = 971684549,3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\begin{aligned}
M_{n2} &= A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \\
M_{n2} &= 981,8.390 \cdot (709,5 - 65,5) \\
M_{n2} &= 246588888 \text{ N.mm} \\
M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\
M_n &= 971684549,3 + 246588888 \\
M_n &= 1218273437 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi \cdot Mn > Mu$$

$$1096446094 \text{ N.mm} > 1042365800 \text{ N.mm} \rightarrow (\text{OK})$$

Jadi, tulangan lentur untuk balok induk B1 dimensi 40/80 pada daerah tumpuan adalah :

$$\text{Tulangan lentur tarik 2 lapis} = 5D25$$

$$\text{Tulangan lentur tekan 1 lapis} = 2D25$$

Daerah Lapangan

- Ambil suatu harga $x \leq 0,75X_b$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 390} \times 734,5$$

$$X_b = 445,152 \text{ mm}$$

x direncanakan sebesar 200 mm kemudian dilakukan cek,

$$x = 200 \text{ mm} \leq 0,75 \times 445,152 = 333,864 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})$$

- Ambil A_{sc} berdasarkan x rencana

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 200}{390}$$

$$A_{sc} = 4446,153846 \text{ mm}^2$$

- Hitung momen nominal tulangan lentur tunggal

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

$$M_{nc} = 4446,15 \times 390 \times \left(734,5 - \frac{0,85 \times 200}{2}\right)$$

$$M_{nc} = 1126233000 \text{ N.mm}$$

- Momen lentur nominal

$$M_u = 574842200 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{574842200}{0,9} = 638713555,6 \text{ N.mm}$$

- Cek penulangan rangkap

Apabila : $M_n - M_{nc} > 0 \rightarrow$ Perlu tulangan tekan

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

Maka, nilai $M_n - M_{nc}$:

$$638713555,6 - 1126233000 = -487519444,4 \text{ Nmm}$$

$$-487519444,4 \text{ Nmm} < 0$$

Sehingga, dihitung dengan metode penulangan tunggal karena tidak perlu tulangan tekan.

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,2941$$

$$Rn = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{638713555,6}{400 \times 734,5^2} = 2,9598 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \cdot \left(\frac{600}{600 + 390} \right) \\ &= 0,02526 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,9598}{390}} \right) \\ &= 0,00809 \end{aligned}$$

Karena, $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ maka dipakai $\rho = 0,00809$

Maka luas tulangan perlu :

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{perlu}} = 0,00809 \times 400 \times 734,5$$

$$A_{s_{perlu}} = 2376,75 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang

$$A_{s_{perlu}} = A_{s_{perlu}} + A_{\ell}/4$$

$$A_{s_{perlu}} = 2376,75 + 271,706 = 2648,45 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik :

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{\text{luas tulangan}}$$

$$n = \frac{2648,45 \text{ mm}^2}{490,9 \text{ mm}^2} = 5,4 \approx 6$$

Maka dipasang tulangan tarik 6 – D25

Periksa apakah $A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}}$

$$A_{s_{pasang}} = 6 \times 490,9 = 2945,4 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} \rightarrow (OK)$$

Kontrol spasi tulangan $s > 25 \text{ mm}$ dengan rencana tulangan dipasang 1 lapis

$$s = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot D_{geser}) - (n \cdot D_{lentur})}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 13) - (6 \cdot 25)}{6 - 1}$$

$$s = 28,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka tulangan tarik disusun 1 lapis **6 – D25**

$$A_s' = 0,3 \cdot A_s + A_{\ell}/4$$

$$A_s' = 883,62 + 271,706$$

$$A_s' = 1155,3264 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan :

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luas tulangan}} = \frac{1155,3264 \text{ mm}^2}{490,9 \text{ mm}^2} = 2,4 \approx 3$$

Sehingga, dipasang tulangan tekan **3 – D25**

Periksa apakah $As'_{pasang} > As'_{perlu}$

$$As_{pasang} = 3 \times 490,9 = 1472,7 \text{ mm}^2 > As_{perlu} \rightarrow (OK)$$

Kontrol spasi tulangan $s > 25 \text{ mm}$ dengan rencana tulangan dipasang 2 lapis

$$s = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot D_{geser}) - (n \cdot D_{lentur})}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 13) - (3 \cdot 25)}{3 - 1}$$

$$s = 109,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka tulangan tarik disusun 1 lapis **3 – D25**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{2945,4 \times 390}{0,85 \times 30 \times 400} = 112,618 \text{ mm}$$

$$M_n = As \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$M_n = 2945,4 \times 390 \times (734,5 - \frac{112,618}{2})$$

$$M_n = 779041935,7 \text{ N.mm}$$

Kontrol :

$$\phi \cdot Mn > Mu$$

$$701137742,1 \text{ N.mm} > 574842200 \text{ N.mm} \rightarrow (OK)$$

Jadi, tulangan lentur untuk balok induk B1 dimensi 40/80 pada daerah lapangan adalah :

$$\text{Tulangan lentur tarik 1 lapis} = 6D25$$

$$\text{Tulangan lentur tekan 1 lapis} = 3D25$$

E. Perhitungan Tulangan Transversal

Perhitungan tulangan geser balok menggunakan hasil gaya geser terfaktor terbesar kombinasi *envelope* yang didapat dari permodelan struktur.

- Syarat kuat tekan beton ($f'c$)
Sesuai persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2 bahwa nilai $\sqrt{f'c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $8,3 \text{ MPa}$
 $\sqrt{f'c} < 8,3 \text{ MPa}$
 $\sqrt{30} < 8,3 \text{ MPa} \rightarrow 5,477 < 8,3 \text{ (OK)}$
- Kuat geser beton (SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1)
 $V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d \rightarrow \lambda = 1$
 $V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 400 \times 734,5$
 $V_c = 273566 \text{ N}$
- Kuat geser tulangan geser
 $V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$
 $V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times 400 \times 734,5 = 97933,3 \text{ N}$
 $V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$
 $V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 734,5 = 536403 \text{ N}$
- Pembagian wilayah geser balok
Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 yaitu :
Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok

Daerah Tumpuan

Wilayah 1 dan 3 (Daerah tumpuan)

$$V_u = 602948,6 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

1. Kondisi geser 1 – Tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$
 $602948,6 \text{ N} \leq 102587,0657 \text{ N}$
(Tidak memenuhi)
2. Kondisi geser 2 – Tulangan geser minimum
 $0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$
 $102587,0657 \text{ N} \leq 602948,6 \text{ N} \leq 205174,13 \text{ N}$
(Tidak memenuhi)
3. Kondisi geser 3 – Tulangan geser minimum
 $\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{min}})$
 $205174,13 \text{ N} \leq 602948,6 \text{ N} \leq 278624,13 \text{ N}$
(Tidak memenuhi)
4. Kondisi geser 4 – Perlu tulangan geser
 $\phi(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{max}})$
 $278624,13 \leq 602948,6 \text{ N} \leq 607476,35 \text{ N}$
(Memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$
$$V_s = \frac{602948,6}{0,75} - 273566 = 530365,9581 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 – 2 kaki
maka,

$$A_v = A_s \times n$$
$$A_v = 132,7 \times 2 = 265,4 \text{ mm}^2$$

Hitung jarak antar tulangan

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

$$s = \frac{265,4 \times 390 \times 734,5}{530365,9581} = 143,345 \text{ mm}$$

Diambil jarak rencana antar tulangan $s = 100 \text{ mm}$

Kontrol :

$$s_{maks} \leq \frac{d}{2} \rightarrow s_{maks} \leq 367,25 \text{ mm} \text{ \& } s_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Jadi, digunakan tulangan geser $D13 - 100 \text{ mm}$ dengan 2 kaki

Daerah Lapangan

Wilayah 2 (Daerah lapangan)

$$V_u = 566874,3 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

1. Kondisi geser 1 – Tidak memerlukan tulangan geser

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

$$566874,3 \text{ N} \leq 102587,0657 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

2. Kondisi geser 2 – Tulangan geser minimum

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

$$102587,0657 \text{ N} \leq 566874,3 \text{ N} \leq 205174,13 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. Kondisi geser 3 – Tulangan geser minimum

$$\varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi(V_c + Vs_{min})$$

$$205174,13 \text{ N} \leq 566874,3 \text{ N} \leq 278624,13 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

4. Kondisi geser 4 – Perlu tulangan geser

$$\varphi(V_c + Vs_{min}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + Vs_{max})$$

$$278624,13 \leq 566874,3 \text{ N} \leq 607476,35 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{566874,3}{0,75} - 273566 = 482266,8914 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser *D13 – 2 kaki* maka,

$$A_v = A_s \times n$$

$$A_v = 132,7 \times 2 = 265,4 \text{ mm}^2$$

Hitung jarak antar tulangan

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

$$s = \frac{265,4 \times 390 \times 734,5}{482266,8914} = 157,641 \text{ mm}$$

Diambil jarak rencana antar tulangan $s = 150 \text{ mm}$

Kontrol :

$$s_{maks} \leq \frac{d}{2} \rightarrow s_{maks} \leq 367,25 \text{ mm} \text{ \& } s_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Jadi, digunakan tulangan geser *D13 – 150 mm* dengan 2 kaki.

F. Penyaluran Kait

Dalam Kondisi Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps.12.5.2 Panjang penyaluran ℓ_{dh} tidak kurang dari nilai 8db dan 150 mm sertaizinkan direduksi dengan mengalikan factor sesuai pasal 12.5.3

$$- \ell_{dh} = \left(\frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \right) \cdot db = 427,2 \text{ mm}$$

Reduksi panjang ℓ_{dh} dengan dikalikan factor berikut

$$\ell_{dh} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} \times 427,2$$

$$\ell_{dh} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pasang}}} \times 427,2 = 421,247 \text{ mm}$$

$$- 8 \cdot db = 200 \text{ mm}$$

- 150 mm

Maka panjang penyaluran diambil $l_{dh} = 450$ mm untuk kait standar dan kait 90° diambil $427,2 \times 0,8 = 341,76$ mm dengan tambahan kait $12d_b = 300$ mm

Dalam Kondisi Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps.12.3.2 Panjang penyaluran diambil sebesar ℓ_{dc} namun tidak kurang dari 200 mm

- $\ell_{dc} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \right) \cdot db = 427,2$ mm
- $\ell_{dc} = (0,043 \times f_y) db = 419,25$ mm

Nilai ℓ_{dc} diambil yang terbesar dan diizinkan dikalikan dengan faktor berikut

- $\ell_{dc} = \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} \times 427,2$ mm
- $\ell_{dc} = \frac{402,734}{981,8} \times 427,2$ mm = 175,247 mm

Maka, karena nilai $\ell_{dc} = 175,247$ mm > 200 sehingga diambil $\ell_{dc} = 200$ mm

Dalam Kondisi Tarik

Tulangan yang menerus harus mempunyai panjang penanaman tidak kurang dari ℓ_d melampaui titik dimana tulangan tarik yang dibengkokkan atau dihentikan tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur.

- $\ell_d = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \right) \cdot db = 222,156$ mm
- $\ell_d = (0,043 \times f_y) db = 218,01$ mm

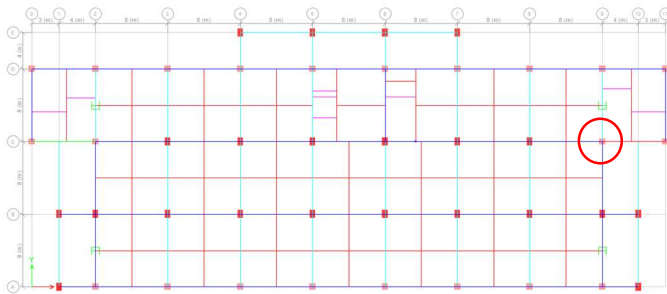
Maka, karena nilai $\ell_{dc} = 222,156$ mm > 200 sehingga diambil $\ell_{dc} = 250$ mm

5.4 Perencanaan Penulangan Kolom

Kolom merupakan struktur utama bangunan yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur baik beban sendiri serta beban dari luar. Berikut akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar.

5.4.1 Perhitungan Penulangan Kolom

Perhitungan tulangan kolom diambil dari data kolom K1 berdasarkan beban aksial ultimate terbesar (P_u) hasil dari Analisa permodelan struktur yaitu kolom struktur K1 As C-9 lantai dasar.



Gambar 53 Letak kolom K1 yang ditinjau

A. Data Perencanaan

Adapun data-data perencanaan balok induk yaitu :

Tipe Kolom	= K1
Tinggi kolom tinjau	= 5500 mm
Tinggi kolom atas	= 4000 mm
Lebar kolom (b)	= 700 mm
Tinggi kolom (h)	= 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 390 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 390 MPa
Diameter tulangan lentur	= 25 mm
Diameter tulangan geser	= 10 mm
Tebal selimut beton (<i>decking</i>)	= 40 mm
Jarak minimal antar tulangan	= 25 mm

Faktor β_1 = 0,85
 Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,65
 Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75

Tinggi efektif balok (d)

$$d = h - \text{decking} - D \text{ sengkang} - 1/2 D \text{ lentur}$$

$$d = 700 - 40 - 10 - 1/2 \cdot 25 = 637,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + D \text{ sengkang} + 1/2 D \text{ lentur}$$

$$d' = 40 + 10 + 1/2 \cdot 25 = 62,5 \text{ mm}$$

$$d'' = h - \text{decking} - D \text{ sengkang} - 1/2 D \text{ lentur} - 1/2 b$$

$$d'' = 700 - 40 - 10 - 1/2 \cdot 25 - 1/2 \cdot 700 = 287,5 \text{ mm}$$

B. Analisa Gaya Dalam

Berikut gaya dalam yang terjadi pada struktur kolom hasil permodelan struktur.

• Output Gaya Aksial



$$\text{Kombinasi : } 1,4D = 4666,9397 \text{ kN}$$



$$\text{Kombinasi : } 1,2D + 1,6L = 5422,6437 \text{ kN}$$



$$\text{Kombinasi : } 1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey = 5286,9489 \text{ kN}$$



$$\text{Kombinasi : } 1,2D + 1L + 1Ey + 0,3Ex = 5226,2838 \text{ kN}$$

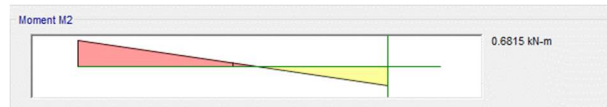
- **Output Momen Sumbu X**

Momen akibat pengaruh gravitasi

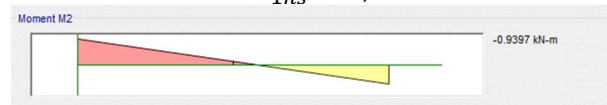
Kombinasi : $1,2D + 1,6L$

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



Momen : $M_{1ns} = 0,6815 \text{ kN}$



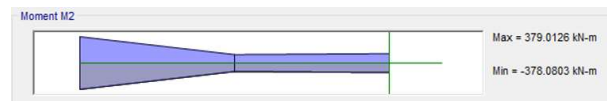
Momen : $M_{2ns} = 0,9397 \text{ kN}$

Momen akibat pengaruh gempa

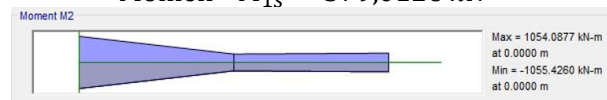
Kombinasi : $1,2D + 1L + 1Ey + 0,3Ex$

M_{1s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil

M_{2s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar



Momen : $M_{1s} = 379,0126 \text{ kN}$



Momen : $M_{2s} = 1055,4260 \text{ kN}$

- Output Momen Sumbu Y**

Momen akibat pengaruh gravitasi

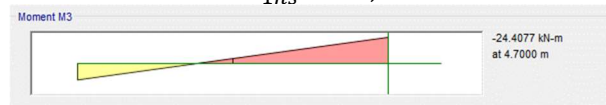
Kombinasi : $1,2D + 1,6L$

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



Momen : $M_{1ns} = 15,1845 \text{ kN}$



Momen : $M_{2ns} = 24,4077 \text{ kN}$

Momen akibat pengaruh gempa

Kombinasi : $1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey$

M_{1s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil

M_{2s} = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar



Momen : $M_{1s} = 649,1149 \text{ kN}$



Momen : $M_{2s} = 1401,8630 \text{ kN}$

C. Perhitungan Tulangan Lentur

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.

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} < P_u$$

$$\frac{700 \times 700 \times 30}{10} < P_u$$

$$1470000 \text{ N} < P_u = 5422643,7 \text{ N} \rightarrow \text{SRPMM}$$

Menghitung Ratio Beban (βd), yaitu ratio dari beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum

$$\beta d = \frac{1,4D}{1,2D + 1,6L}$$

$$\beta d = \frac{4666940 \text{ N}}{5422644 \text{ N}} = 0,861$$

Menghitung Faktor Kekangan Ujung (Ψ)

Hal ini didefinisikan sebagai ratio antara sigma Kekakuan dibagi panjang kolom-kolom dengan sigma kekakuan dibagi panjang balok-balok pada simpul tinjauan.

$$\Psi = \frac{\sum EI / L \text{ Kolom}}{\sum EI / L \text{ Balok}}$$

Hitung Kekakuan (EI)

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

- Kekakuan Kolom K1 (700x700)

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 700 \times 700^3 = 14005833333 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} = 25742,9602 \text{ MPa}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 25742,9602 \times 14005833333}{1 + 0,861}$$

$$EI = 77511343711872 \text{ Nmm}^2$$

- Kekakuan Balok B1 (500x800)

$$I_g = 0,35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 800^3 = 5973333333 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} = 25742,9602 \text{ MPa}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 25742,9602 \times 5973333333}{1 + 0,861}$$

$$EI = 33057732595151 \text{ Nmm}^2$$

- Kekakuan Balok B2 (350x700)

$$I_g = 0,35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 350 \times 700^3 = 3501458333 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} = 25742,9602 \text{ MPa}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 25742,9602 \times 3501458333}{1 + 0,861}$$

$$EI = 19377835927968 \text{ Nmm}^2$$

Kekangan Kolom Atas (Ψ_a)

$$\Psi_a = \frac{\sum(EI/L)_{Kolom}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2}}$$

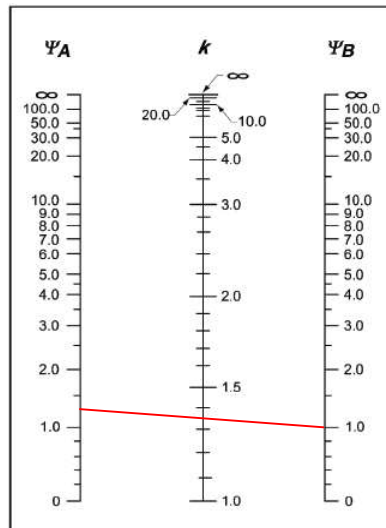
$$\Psi_a = 1,308$$

Kekangan Kolom Bawah (Ψ_b)

$$\Psi_b = \frac{\sum EI/L \text{ Kolom}}{\sum EI/L \text{ Balok}}$$

$\Psi_b = 1 \rightarrow$ ujung kolom ditumpu pondasi

Tentukan panjang efektif (k) melalui nomogram seperti pada gambar berikut,



Gambar 54 Nomogram Faktor Kekakuan Kolom

Menghitung radius girasi (r) SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1.2

$$r = 0,3 \times h$$

$$r = 0,3 \times 700$$

$$r = 210 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan kolom (λ), menurut SNI 2847:2013

Pasal 10.10.1 apabila nilai $\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22$ maka pengaruh kelangsingan dapat diabaikan

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 22 \rightarrow \frac{1,35 \times 5500}{210} \leq 22$$

$35 \leq 22 \rightarrow$ maka kolom termasuk langsing

Menghitung nilai beban tekuk kritis (P_c)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 77511343711872}{1,35 \times 5500^2} = 18732937 \text{ N}$$

Sehingga dapat dihitung nilai beban tekuk kritis total,

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 22 \times 18732937 \text{ N}$$

$$\sum P_c = 412124606 \text{ N}$$

Hitung faktor pembesaran momen (δ_s), faktor pembesaran momen dapat dihitung dengan persamaan,

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

Namun bila nilai δ_s melebihi 1,5 maka boleh dihitung dengan menggunakan analisis elastis orde kedua berikut,

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

Pertama hitung besar nilai indeks stabilitas untuk suatu tingkat (Q) dan boleh dianggap tidak bergoyang apabila,

$$Q = \frac{\sum P_u \times \Delta_o}{V_{us} \times l_c} \leq 0,05$$

Dimana :

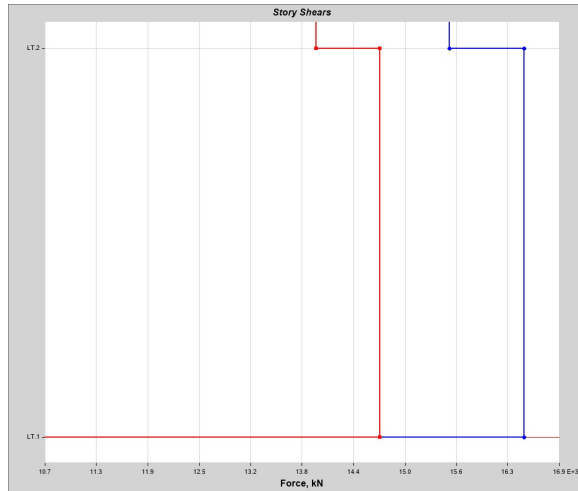
$$\sum P_u = n \times P_u = 22 \times 5422643,7 \text{ N}$$

$$\sum P_u = 119298161 \text{ N}$$

- **Tinjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

Δ_o defleksi lateral atau simpangan antara tepi atas dan bawah tingkat tersebut yang didapat dari bab sebelumnya yaitu untuk arah X sebesar 18,164 mm

V_{us} adalah gaya geser tingkat horizontal pada tingkat yang dievaluasi dimana didapat dari hasil Analisa struktur dalam bentuk grafik berikut (x = garis biru ; y = garis merah)



Gambar 55 Grafik gaya geser tingkat horizontal

Dari gambar grafik di atas didapatkan besar nilai V_{us} untuk arah X sebesar 16464 kN.

Sehingga besar nilai indeks stabilitas untuk suatu tingkat (Q) sebagai parameter menghitung faktor pembesaran momen (δ_s) yaitu,

$$Q = \frac{119298161 \text{ N} \times 18,164 \text{ mm}}{16464000 \text{ N} \times 5500 \text{ mm}} \leq 0,05$$

$$Q = 0,0239 \leq 0,05 \rightarrow \text{struktur tidak bergoyang}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - 0,0239} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,0245169 \geq 1$$

Jadi, karena nilai $\delta_s < 1,5$ maka tidak perlu dihitung menggunakan analisis elastis orde kedua dan digunakan $\delta_s = 1,025$

Pembesaran momen arah X (M_1 dan M_2)

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1n} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 681500 + 1,025 \times 379012600 \\ &= 388986331 \text{ Nmm} \\ M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 939700 + 1,025 \times 1055426000 \\ &= 1082241521 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- **Tinjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

Δ_o defleksi lateral atau simpangan antara tepi atas dan bawah tingkat tersebut yang didapat dari bab sebelumnya yaitu untuk arah Y sebesar 14,991 mm

V_{us} adalah gaya geser tingkat horizontal pada tingkat yang dievaluasi dimana didapat dari gambar 55 grafik di atas didapatkan besar nilai V_{us} untuk arah Y sebesar 14718 kN.

Sehingga besar nilai indeks stabilitas untuk suatu tingkat (Q) sebagai parameter menghitung faktor pembesaran momen (δ_s) yaitu,

$$\begin{aligned} Q &= \frac{119298161 \text{ N} \times 14,991 \text{ mm}}{14718000 \text{ N} \times 5500 \text{ mm}} \leq 0,05 \\ Q &= 0,0221 \leq 0,05 \rightarrow \text{struktur tidak bergoyang} \end{aligned}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - 0,0239} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,022592 \geq 1$$

Jadi, karena nilai $\delta_s < 1,5$ maka tidak perlu dihitung menggunakan analisis elastis orde kedua dan digunakan $\delta_s = 1,023$

Pembesaran momen arah Y (M_1 dan M_2)

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1n} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 15184500 + 1,023 \times 649114900 \\ &= 678964221 \text{ Nmm} \\ M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 24407700 + 1,023 \times 1401863000 \\
&= 1457941632 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Menentukan Nilai ρ Perlu

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom menggunakan diagram interaksi berdasarkan buku grafik dan tabel perhitungan beton bertulang. Berikut beberapa variabel yang dibutuhkan dalam penentuannya,

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{700} = 0,094 \approx 0,1$$

Sumbu vertical

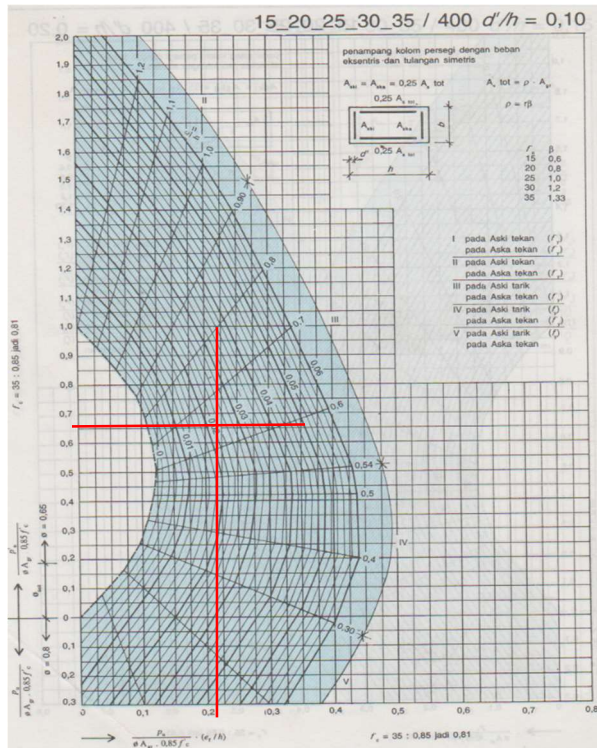
$$\begin{aligned}
v &= \frac{P_u}{\phi \cdot b \cdot h \cdot \beta 1 \cdot f_c'} \\
&= \frac{5422643,7 \text{ N}}{0,65 \cdot 700 \cdot 700 \cdot 0,85 \cdot 30} \\
v &= 0,668
\end{aligned}$$

Sumbu horizontal

$$h = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot \beta 1 \cdot f_c'}$$

Nilai M_u diambil dari nilai momen pembesaran terbesar dari salah satu arah yaitu $M_u = 488365272 \text{ Nmm}$

$$h = \frac{1457941632}{0,65 \cdot 700 \cdot 700^2 \cdot 0,85 \cdot 30} = 0,21644$$



Gambar 56 Diagram interaksi kolom

Dari diagram interaksi kolom pada gambar di atas didapatkan nilai $r = 0,021$ dan sesuai prosedur diagram interaksi tersebut dapat dihitung besar ρ yaitu,

$\rho = r \times \beta \rightarrow$ untuk $fc' = 30 \text{ MPa}$ maka nilai $\beta = 1,2$

$$\rho = 0,021 \times 1,2$$

$$\rho = 0,0252$$

Luas tulangan kolom perlu

$$AS_{perlu} = \rho \times b \times h$$

$$As_{perlu} = 0,0252 \times 700 \times 700$$

$$A_{s_{perlu}} = 12348 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan D29 dengan luas tulangan $A = 661 \text{ mm}^2$ maka tulangan yang harus dipasang yaitu,

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{\text{luas tulangan D25}}$$

$$n = \frac{12348 \text{ mm}^2}{491 \text{ mm}^2}$$

$$n = 25,149 \approx 28 \text{ buah tulangan}$$

Kontrol luas tulangan lentur terpasang :

$$A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = n \times \text{luas tulangan D25}$$

$$A_{s_{pakai}} = 28 \times 491 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pakai}} = 13748 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 12348 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol persentase tulangan terpasang :

$$\text{Persentase} = \frac{A_{s_{pasang}}}{A_g} \times 100\% < 8\%$$

$$\text{Persentase} = \frac{13748 \text{ mm}^2}{700 \times 700} \times 100\% < 8\%$$

$$\text{Persentase} = 2,81\% < 8\% \text{ (OK)}$$

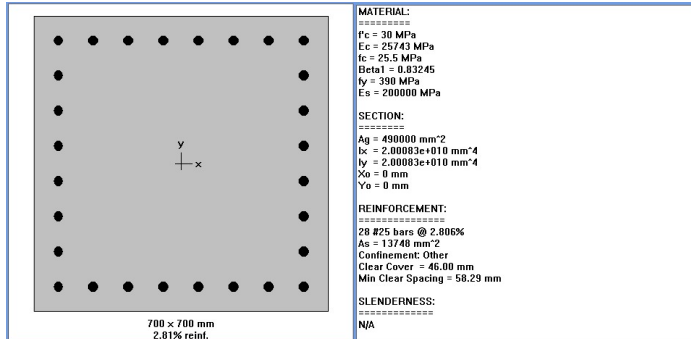
Cek Penulangan Program spColumn

Adapun data-data yang dimasukkan ke dalam Analisa program spColumn yaitu :

Mutu beton	= 30 MPa
Mutu baja tulangan	= 390 MPa
Dimensi penampang	= 700/700 mm
Tulangan pasang	= 28 D25
Pu	= 5422,6437 kNm
Mux	= 1082,24 kNm
Muy	= 1457,94 kNm

Input Analisa spColumn

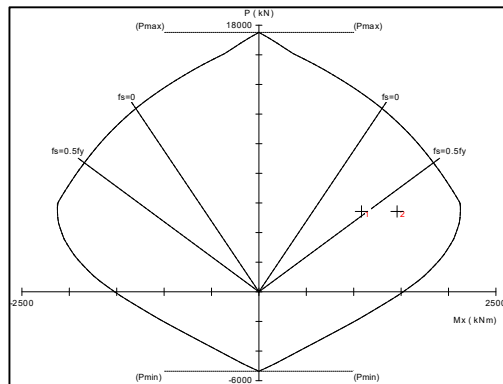
Sesuai data sebelumnya, kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam program spColumn seperti tampilan pada gambar berikut.



Gambar 57 Hasil input parameter desain spColumn

Output Analisa spColumn

Setelah parameter atau data telah dimasukkan, kemudian spColumn siap untuk dilakukan analisa yaitu melalui menu *solve execute* dan akan didapatkan hasil seperti berikut.



Gambar 58 Diagram interaksi aksial momen

Pu	Mux	Muy	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	$\phi M_n / \mu$
kN	kNm	kNm	kNm	kNm	
5422.64	1082.24	1457.94	1235.08	1663.84	1.141

Gambar 59 Kapasitas aksial momen kolom K1 output spColumn

Berdasarkan hasil output dari program spColumn :

$$M_{ux} = 1082,24 \text{ kNm} < \phi M_{nx} = 1235,08 \text{ kNm (OK)}$$

$$M_{uy} = 1457,94 \text{ kNm} < \phi M_{ny} = 1663,84 \text{ kNm (OK)}$$

Maka tulangan kolom terpasang 28 D29 telah mencukupi terhadap gaya yang ada.

Cek Kapasitas Penampang

Mencari nilai e_{min} dan e_{perlu}

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$

$$P_n = \frac{5422644 \text{ N}}{0,65} = 8342529 \text{ N}$$

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

$$M_n = \frac{1457941632 \text{ Nmm}}{0,65} = 2242987126 \text{ Nmm}$$

$$e_{perlu} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e_{perlu} = \frac{2242987126 \text{ Nmm}}{8342529 \text{ N}} = 269 \text{ mm}$$

$$e_{min} = 15,24 + 0,3h = 36,24 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 390} \times 637,5 = 386,3637 \text{ mm}$$

$$ab = \beta_1 \times Xb$$

$$ab = 0,85 \times 386,3637 \text{ mm}$$

$$ab = 328 \text{ mm}$$

$$Cs' = As \cdot (fy - 0,85 \times fc')$$

$$= 5011146 \text{ N}$$

$$Cc' = 0,85 \times fc' \times b \times \beta_1 \times Xb$$

$$= 0,85 \times 30 \times 700 \times 0,85 \times 384,5454$$

$$= 5862102 \text{ N}$$

$$T = As \times fy$$

$$= 18508 \times 390$$

$$= 5361720 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$Pb = 5862102 + 5011146 - 5361720$$

$$Pb = 5511528 \text{ N}$$

$$Mb = Cc' \cdot (d - d'' - \frac{a}{2}) + Cs' \cdot (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$Mb = 4071350931 \text{ Nmm}$$

$$eb = \frac{Mb}{Pb}$$

$$eb = \frac{4071350931 \text{ Nmm}}{5511528 \text{ N}} = 739 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi

$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance} \rightarrow$ Tekan menentukan

$e_{min} < e_{perlu} > e_{balance} \rightarrow$ Tarik menentukan

Maka :

$36,24 \text{ mm} < 269 \text{ mm} < 739 \text{ mm} \rightarrow$ Tekan menentukan

Diasumsikan a sejarak $0,54d$

$$a = 0,54d$$

$$0,85x = 344,25 \text{ mm}$$

$$x = 405 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat, } \varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{635,5}{403,73} - 1 \right) \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$f_s = \left(\frac{635,5}{403,73} - 1 \right) \times 600$$

$$f_s = 344,444 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{390}{200000}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol Leleh,

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow 0,0017 < 0,002 \text{ (OK)}$$

$$f_s < f_y \rightarrow 344,444 \text{ MPa} < 390 \text{ MPa (OK)}$$

$$\begin{aligned} C s' &= A_s \cdot (f_y - 0,85 \times f_c') \\ &= 13748 \cdot (390 - 0,85 \times 30) \\ &= 5011146 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_b \\ &= 0,85 \times 30 \times 700 \times 0,85 \times 405 \\ &= 6144863 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = A_s \times f_s$$

$$= 13748 \text{ mm}^2 \times 344,444 \text{ MPa}$$

$$= 4735422 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow P = Cc' + Cs' - T$$

$$P = 6144863 \text{ N} + 5011146 \text{ N} - 4735422 \text{ N}$$

$$P = 6420586 \text{ N}$$

Syarat, $P > Pb$

$$P = 6420586 \text{ N} > Pb = 5511528 \text{ N} \rightarrow (OK)$$

$$Mn_{pasng} = Cc' \cdot (d - d'' - \frac{a}{2}) + Cs' \cdot (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$Mn_{pasng} = 3895155781 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$Mn_{pasang} > Mn$$

$$3895155781 \text{ Nmm} > 2242987126 \text{ Nmm} \rightarrow (OK)$$

Maka tulangan kolom terpasang 28 D25 telah memenuhi

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat, $S_{maks} < S_{pasang}$

$$S_{pasang} = \frac{b - (2 \cdot deking) - (2 \cdot D_{geser}) - (n \cdot D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{pasang} = \frac{700 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (8 \cdot 25)}{7 - 1}$$

$$S_{pasang} = 57,142 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 40 \text{ mm} < S_{pasang} = 57,142 \text{ mm} \rightarrow (OK)$$

D. Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Pada perhitungan tulangan geser kolom digunakan data dari momen nominal hasil spColumn sebagai berikut,

$$Mnt = 1970990000 \text{ Nmm}$$

$$Mnb = 1970990000 \text{ Nmm}$$

Gaya Geser Desain (Vu)

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

$$V_u = \frac{1970990000 + 1970990000}{5500}$$

$$V_u = 716724 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (SNI 2847:2013 11.1.2)

Nilai $\sqrt{f'c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

$$\sqrt{f'c'} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,47 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \rightarrow (OK)$$

Kuat Geser Beton (V_c) (SNI 2847:2013 11.2.1.2)

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

$\lambda = 1 \rightarrow$ untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{716724}{14 \cdot 490000}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 700 \cdot 635,5$$

$$V_c = 741636 \text{ N}$$

Kuat Minimum Tulangan Geser

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times 700 \times 635,5$$

$$V_{s_{min}} = 148283 \text{ N}$$

$$V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 700 \times 635,5$$

$$V_{s_{max}} = 812181,2657 \text{ N}$$

$$2 \cdot V_{s_{max}} = 2 \times 812181,2657 \text{ N}$$

$$2. V_{S_{max}} = 1624362,531 \text{ N}$$

Cek Kondisi Penulangan Geser :

1. Kondisi geser 1 : Tidak memerlukan tulangan geser

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

$$716724 \text{ N} \leq 278114 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

2. Kondisi geser 2 : Tulangan geser minimum

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

$$278114 \text{ N} \leq 716724 \text{ N} \leq 556,227 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

3. Kondisi geser 3 : Tulangan geser minimum

$$\phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times (Vc + V_{S_{min}})$$

$$556,227 \text{ N} \leq 716724 \text{ N} \leq 667440 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

4. Kondisi geser 4 : Memerlukan tulangan geser

$$\phi \times (Vc + V_{S_{min}}) \leq Vu \leq \phi \times (Vc + V_{S_{maks}})$$

$$667440 \text{ N} \leq 716724 \text{ N} \leq 1165363 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka, untuk penulangan geser digunakan kondisi 4

$$V_{S_{perlu}} = \frac{Vu - \phi \cdot Vc}{\phi}$$

$$V_{S_{perlu}} = \frac{716724 - 0,75 \cdot 741636}{0,75} = 213995 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 dengan jarak 100 mm dua kaki

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_{kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 = 157,079 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak tulangan geser rencana dengan jarak tulangan geser perlu (S)

$$S_{pakai} < S_{perlu}$$

$$S = \frac{Av \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{157,079.390.637,5}{211661} = 181,93 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm} < S_{perlu} = 181,93 \text{ mm (OK)}$$

Maka dipakai tulangan geser D10 – 100 mm

Cek Syarat Penulangan Geser Kolom

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:

- Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi

$$S_o \leq 8 \times D_{lentang}$$

$$100 \leq 8 \times 29 \text{ mm}$$

$$100 \leq 232 \text{ mm (Memenuhi)}$$
- 24 kali diameter batang tulangan begel

$$S_o \leq 24 \times D_{geser}$$

$$100 \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$100 \leq 240 \text{ mm (Memenuhi)}$$
- Setengah dimensi penampang kolom terkecil

$$S_o \leq 1/2 \times b_w$$

$$100 \leq 1/2 \times 700$$

$$100 \leq 350 \text{ mm (Memenuhi)}$$
- $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$100 \leq 300 \text{ mm (Memenuhi)}$$

E. Perhitungan Sambungan Lewatan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.16.1 bahwa panjang sambungan lewatan tekan harus sebesar $0,071 \cdot f_y \cdot d_b$ untuk f_y sebesar 420 MPa atau kurang tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b > 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 390 \times 29 > 300 \text{ mm}$$

$$803,01 \text{ mm} > 300 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan panjang sambungan lewatan untuk tulangan lentur kolom sebesar 850 mm

F. Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 12.3.2 bahwa tulangan ulir dan kawat ulir, ℓ_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari nilai berikut tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm

$$\ell_{dc} = (0,24 \cdot f_y / \lambda \sqrt{f_c'}) \cdot db$$

$$\ell_{dc} = (0,24 \times 390 / 1\sqrt{30}) \cdot 29$$

$$\ell_{dc} = 495,58 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc} = (0,043 \times f_y) \cdot db$$

$$\ell_{dc} = (0,043 \times 390) \cdot 29$$

$$\ell_{dc} = 486,33 \text{ mm}$$

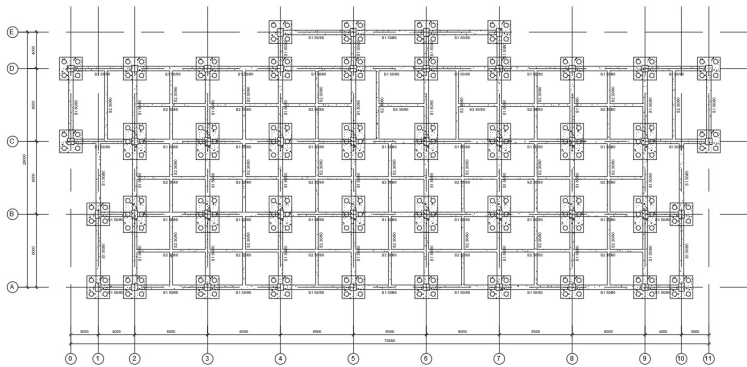
Maka, diambil $\ell_{dc} = 495,58 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$

BAB VI

PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH

6.1 Perencanaan Pondasi

Pada perencanaan struktur pondasi, dimensi dari poer dan jumlah tiang pancang dihitung berdasarkan besarnya gaya yang terjadi pada titik pondasi yang ditinjau, sehingga bisa menghasilkan pondasi yang efektif dan efisien. Berikut denah rencana pondasi.



Gambar 60 Denah rencana pondasi dan sloof

6.1.1 Analisa Struktur Gaya Dalam

Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Data tanah didapatkan dari proses penyelidikan tanah pada lokasi dimana bangunan tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi adalah data tanah Malang dari Testana Engineering.

6.1.2 Spesifikasi Tiang Pancang

Tiang pancang atau *spun pile* menggunakan produk dari PT. Wika Beton dengan tipe *prestressed concrete spun piles* dengan data-data sebagai berikut :

F_c'	$= 30 \text{ MPa}$
F_y	$= 390 \text{ MPa}$
Kedalaman rencana	$= 19 \text{ m}$
Diameter tiang pancang	$= 500 \text{ mm}$
Ketebalan	$= 90 \text{ mm}$
Kelas	$= A1$
<i>Bending momen crack</i>	$= 10 \text{ tm}$
<i>Bending momen ultimate</i>	$= 15,8 \text{ tm}$
<i>Allowable axial</i>	$= 185,3 \text{ ton}$
Pu tiang	$= 371 \text{ ton}$
Panjang tiang	$= 6 - 16 \text{ m}$
Panjang selimut tiang	$= 1,57 \text{ m}$
Luas tiang	$= 0,2 \text{ m}^2$

Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
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	280	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

Gambar 61 Spesifikasi Tiang Pancang

6.1.3 Daya Dukung Tanah

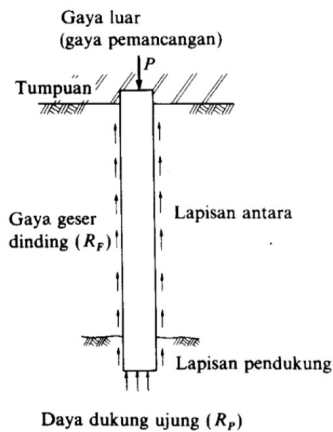
Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung tiang dan tahanan geser pada dinding tiang dan besarnya daya dukung yang diizinkan R_a diperoleh dari persamaan sebagai berikut.

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

(Kazuto Nakazawa, 2000:99)

Dimana,

- n : Faktor keamanan, (SF = 3 dan SF = 2)
 R_u : Daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)
 R_p : Daya dukung terpusat tiang (ton)
 R_f : Gaya gesek dinding tiang (ton)



Gambar 62 Mekanisme Daya Dukung Tanah

Hasil daya dukung yang menentukan dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang kelompok.

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

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

Dimana,

q_d : Daya dukung terpusat tiang (ton)

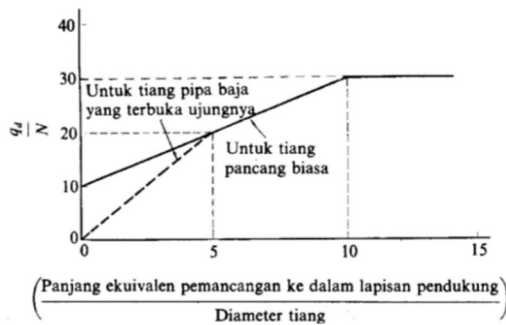
A : Luas ujung tiang (m^2)

U : Panjang keliling tiang

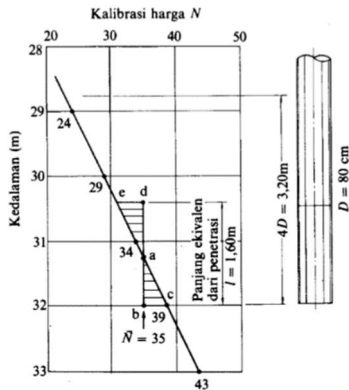
l_i : Tebal lapisan tanah

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 63



Gambar 63 Intensitas Daya Dukung Pada Ujung Tiang



Gambar 64 Penentuan Panjang Ekuivalen

L adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung dan diperoleh seperti contoh dari Gambar 64, D adalah diameter tiang, $\bar{N}$ adalah harga rata-rata N pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan berikut ini:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} (\bar{N} \leq 40)$$

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

Tabel 53 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang

Jenis tiang Jenis tanah pondasi	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 $\frac{N}{2} (\leq 12)$

Besarnya gaya geser maksimum dinding f_i diperkirakan dari tabel 23 sesuai dengan macam tiang yang digunakan dan sifat tanah pondasi. Dimana c dalam tabel intensitas gaya geser dinding tiang adalah kohesi tanah pondasi di sekitar tiang.

Menurut data tanah yang didapatkan dari proses penyelidikan Testana Engineering pada lampiran bahwa daya dukung tiang diperhitungkan sebagai berikut :

- Menentukan Harga N rata-rata
 Kedalaman rencana : 19 m
 Diameter tiang : 500 mm
 Tiang pancang menggunakan jenis *spun pile* biasa
 Harga N pada ujung tiang (N_1) = 18

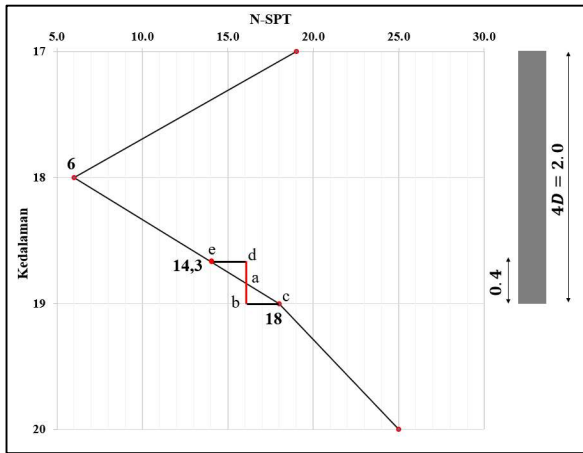
Harga N rata-rata pada jarak $4D$ dari ujung tiang adalah,

$$4D = 4 \times 0,5 = 2 \text{ m}$$

$$\bar{N}_2 = \frac{19+6+18}{3} = 14,33$$

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} = 16,17$$

2. Daya Dukung Pada Ujung Tiang



Gambar 65 Contoh Penentuan Panjang Ekivalen Penetrasi

Sebelumnya dilakukan penentuan panjang ekivalen dari penetrasi (L) adalah $0,4 \text{ m}$, karena tiang merupakan tiang pancang biasa maka didapatkan

$$L/D = \frac{0,4}{0,5} = 0,8$$

Setelah didapatkan L/D dicari nilai q_d/N didapat dari diagram intensitas pada gambar 63.

$$\frac{q_d}{\bar{N}} = 13$$

$$q_d = 13 \times \bar{N}$$

$$q_d = 13 \times 16,67 = 210,17 \text{ ton/m}^2$$

$$R_p = q_d \times A$$

$$R_p = 210,17 \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 41,27 \text{ ton}$$

3. Gaya geser maksimum dinding tiang didapat dari harga rata-rata N dibagi lapisan-lapisan tanah dan f_i yang sesuai dengan harga rata-rata N , Sehingga gaya geser maksimum dinding tiang dapat diperkirakan sebagai berikut.

$$R_f = U \times l_i \times f_i$$

$$R_f = 1,57 \times 1 \times 12 = 18,84 \text{ ton}$$

Sedangkan R_f total pada kedalaman 19 m didapatkan sebesar,

$$\Sigma R_f = 286,93 \text{ ton}$$

4. Kapasitas Daya Dukung Tiang

Daya dukung ultimate (R_u) :

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

$$R_u = 41,27 + 286,93$$

$$R_u = 328,20 \text{ ton}$$

Daya dukung yang diijinkan (R_a) :

$$\text{Waktu normal, } R_a = \frac{R_u}{n} = \frac{328,20}{3} = 109,399 \text{ ton}$$

$$\text{Waktu gempa, } R_a = \frac{R_u}{n} = \frac{328,20}{2} = 164,099 \text{ ton}$$

Daya cabut yang diijinkan (R_{cabut}) :

$$R_{cabut} = \frac{R_f}{n} = \frac{286,93}{4} = 71,733 \text{ ton}$$

5. Periksa bahwa nilai P_{bahan} harus lebih besar daripada nilai P_{maks} yang terjadi yaitu 164,099 ton

$$P_{baha} = 185 \text{ ton} > P_{maks} = 164,099 \text{ ton} \text{ (Memenuhi)}$$

Lapisan ke-1 (m)	Tebal lapisan (ft) (m)	Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	Nilai N-SPT	4D (m)	L (panjang ekivalen) (m)	I/D	q _d N (grafik)	N ₂ (4D dari dasar)	N – (N ₁ +N ₂ ujung)
1	6	0-6	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	12.0	2.00	0.60	0.00	10.00	12.00	12.00
2	6	0-6	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	12.0	2.00	0.50	1.00	11.00	12.00	12.00
3	6	0-6	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	11.0	2.00	0.50	1.00	11.00	11.67	11.33
4	6	0-6	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	10.0	2.00	1.00	2.00	13.00	11.00	10.50
5	6	0-6	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	14.0	2.00	2.00	4.00	16.00	11.67	12.83
6	6	0-6	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff	18.0	2.00	1.00	2.00	13.00	14.00	16.00
7	6	6-12	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	12.0	2.00	1.40	2.80	14.00	14.67	13.33
8	6	6-12	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	10.0	2.00	0.70	1.40	11.40	13.33	11.67
9	6	6-12	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	30.0	2.00	0.40	0.80	11.00	17.33	23.67
10	6	6-12	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	50.0	2.00	0.60	1.20	11.20	30.00	40.00
11	6	6-12	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	42.0	2.00	0.60	1.20	11.20	40.67	40.00
12	6	6-12	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense	34.0	2.00	2.40	4.80	18.00	42.00	38.00
13	3	12-15	Silt, dark grey, some sand, stiff	22.0	2.00	1.50	3.00	13.50	32.67	27.33
14	3	12-15	Silt, dark grey, some sand, stiff	14.0	2.00	1.00	2.00	13.00	23.33	18.67
15	3	12-15	Silt, dark grey, some sand, stiff	28.0	2.00	1.20	2.40	13.40	21.33	24.67
16	1	15-16	silt and sand, brown, little clay, dense	24.0	2.00	1.50	3.00	13.50	22.00	23.00
17	3	16-19	silt and clay, brownish dark grey, inorganic, trace sand, medium	19.0	2.00	0.50	1.00	14.00	23.67	21.33
18	3	16-19	silt and clay, brownish dark grey, inorganic, trace sand, medium	6.0	2.00	0.30	0.60	11.00	16.33	11.17
19	3	16-19	silt and clay, brownish dark grey, inorganic, trace sand, medium	18.0	2.00	0.40	0.80	13.00	14.33	16.17
20	3	19-22	silt and sand, brown, trace clay, medium	25.0	2.00	2.00	4.00	16.00	16.33	20.67
21	3	19-22	silt and sand, brown, trace clay, medium	25.0	2.00	2.00	4.00	16.00	22.67	23.83
22	3	19-22	silt and sand, brown, trace clay, medium	25.0	2.00	2.40	4.80	18.00	25.00	25.00
23	2	22-24	sand and silt, grey, medium	26.0	2.00	1.20	2.40	13.40	25.33	25.67
24	2	22-24	sand and silt, grey, medium	28.0	2.00	1.00	2.00	13.00	26.33	27.17
25	4	24-28	sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense	40.0	2.00	1.00	2.00	13.00	31.33	35.67
26	4	24-28	sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense	50.0	2.00	1.00	2.00	13.00	39.33	40.00
27	4	24-28	sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense	50.0	2.00	1.00	2.00	13.00	46.67	40.00
28	4	24-28	sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense	50.0	2.00	1.00	2.00	13.00	50.00	40.00
29	2	28-30	sand and silt, brown, cemented at some depth, very dense	50.0	2.00	1.00	2.00	13.00	50.00	40.00
30	2	28-30	sand and silt, brown, cemented at some depth, very dense	50.0	2.00	1.00	2.00	13.00	50.00	40.00
Jumlah	30									

qd (ton/m ²)	Rp (ton)	f _i (t/m ²)	f _i Li (t/m)	Σf _i Li (ton)	R _i ¹ - U _i · Σf _i I _i (ton)	R _i - R _p · R _i f _i (ton)	Qallow SF2 (ton)	Qallow cabut SF2 (ton)	Cek (SF=3)	Cek (SF=2)	Cek (Q ₀)
120.00	23.56	12.00	12.00	12.00	18.85	42.41	14.137	5.301	OK	OK	OK
132.00	25.92	12.00	12.00	24.00	37.70	63.62	21.206	31.809	OK	OK	OK
124.67	24.48	11.00	11.00	35.00	54.98	79.46	26.485	39.728	OK	OK	OK
136.50	26.80	10.00	10.00	45.00	70.69	97.49	32.496	48.744	OK	OK	OK
205.33	40.32	12.00	12.00	57.00	89.54	129.85	43.284	64.926	OK	OK	OK
208.00	40.84	12.00	12.00	69.00	108.38	149.23	49.742	74.613	OK	OK	OK
186.67	36.65	3.24	72.24	113.48	150.13	50.044	50.044	75.067	OK	OK	OK
133.00	26.11	5.02	5.02	77.27	121.37	147.48	49.162	73.742	OK	OK	OK
260.33	51.12	6.91	6.91	84.18	132.23	183.34	61.114	91.671	OK	OK	OK
448.00	87.96	7.87	7.87	92.04	144.58	232.55	77.516	116.274	OK	OK	OK
448.00	87.96	7.02	7.02	99.07	155.61	243.58	81.193	121.789	OK	OK	OK
684.00	134.30	5.60	5.60	104.67	164.41	298.71	99.571	149.357	OK	OK	OK
369.00	72.45	12.00	12.00	116.67	183.26	255.71	85.238	127.856	OK	OK	OK
242.67	47.65	12.00	12.00	128.67	202.11	249.76	83.252	124.878	OK	OK	OK
330.53	64.90	12.00	12.00	140.67	220.96	285.86	95.286	142.929	OK	OK	OK
310.50	60.97	12.00	12.00	152.67	239.81	300.77	100.258	150.387	OK	OK	OK
298.67	58.64	12.00	12.00	164.67	258.66	317.30	105.767	158.650	OK	OK	OK
122.83	24.12	6.00	6.00	170.67	268.08	292.20	97.400	146.100	OK	OK	OK
210.17	41.27	12.00	12.00	182.67	286.93	328.20	109.399	164.099	OK	OK	OK
330.67	64.93	12.00	12.00	194.67	305.78	370.71	123.569	185.354	OK	OK	NOK
381.33	74.87	12.00	12.00	206.67	324.63	399.51	133.169	199.753	OK	OK	NOK
450.00	88.36	12.00	12.00	218.67	343.48	431.84	143.946	215.919	OK	OK	NOK
343.93	67.53	12.00	12.00	230.67	362.33	429.86	143.287	214.931	OK	OK	NOK
353.17	69.34	12.00	12.00	242.67	381.18	450.52	150.175	225.262	OK	OK	NOK
463.67	91.04	7.71	7.71	250.38	393.29	484.33	161.444	242.167	OK	OK	NOK
520.00	102.10	8.00	8.00	258.38	405.86	507.96	169.320	253.980	OK	OK	NOK
520.00	102.10	8.00	8.00	266.38	418.43	520.53	173.509	260.263	OK	OK	NOK
520.00	102.10	8.00	8.00	274.38	430.99	533.09	177.698	266.547	OK	OK	NOK
520.00	102.10	8.00	8.00	282.38	443.56	545.66	181.887	272.830	OK	OK	NOK
520.00	102.10	8.00	8.00	290.38	456.12	558.23	186.075	279.113	OK	OK	NOK
Σf _i · Li =				26.00							

Gambar 66 Tabel Perhitungan Daya Dukung Tiang per meter

Untuk daya dukung pondasi grup, terlebih dahulu dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi. 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*

$$\eta = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left(\frac{(m-1).n + (n-1).m}{90.m.n} \right) \right\}$$

(*Principles of Foundation Engineering VII Table 11.17*)

Dimana :

D = Diameter tiang pancang

S = Jarak antar tiang pancang

m = Jumlah baris tiang dalam grup

n = Jumlah kolom tiang dalam grup

Bila diatas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (poer) bekerja beban-bekan vertical (V), horizontal (H), dan momen (M). Maka besarnya beban vertical ekivalen yang bekerja pada sebuah tiang adalah sebagai berikut,

$$P_{maks} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{maks}}{\Sigma y_i^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{maks}}{\Sigma x_i^2}$$

Dimana :

P = Total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

n = Banyaknya tiang pancang yang direncanakan

y_{maks} = Jarak maksimum tiang yang ditinjau arah y

x_{maks} = Jarak maksimum tiang yang ditinjau arah x

Σy_i² = Jumlah kuadrat jarak tiang terhadap as poer arah y

Σx_i² = Jumlah kuadrat jarak tiang terhadap as poer arah x

6.1.4 Perhitungan Pondasi Tipe 1

Pada perencanaan pondasi tipe ini diambil contoh menggunakan gaya-gaya hasil permodelan struktur pada joint 23 yakni sebagai berikut :

- Akibat beban tetap (1D+1L)
 $P = 161,755 \text{ ton}$
 $M_x = 6,26532 \text{ ton.m}$
 $M_y = 5,11505 \text{ ton.m}$
 $V_x = 1,37371 \text{ ton}$
 $V_y = 0,90393 \text{ ton}$
 $\Sigma M_x = M_x + V_y.d$
 $= 6,26532 + 0,90393 \cdot 0,9$
 $= 7,07886 \text{ ton.m}$
 $\Sigma M_y = M_y + V_x.d$
 $= 5,11505 + 1,37371 \cdot 0,9$
 $= 6,35139 \text{ ton.m}$
- Akibat beban sementara arah x (1D+1L+1Ex)
 $P = 338,126 \text{ ton}$
 $M_x = 21,4593 \text{ ton.m}$
 $M_y = 102,565 \text{ ton.m}$
 $V_x = 43,8986 \text{ ton}$
 $V_y = 6,48228 \text{ ton}$
 $\Sigma M_x = M_x + V_y.d$
 $= 21,4593 + 6,48228 \cdot 0,9$
 $= 27,2934 \text{ ton.m}$
 $\Sigma M_y = M_y + V_x.d$
 $= 102,565 + 43,8986 \cdot 0,9$
 $= 164,349 \text{ ton.m}$
- Akibat beban sementara arah y (1D+1L+1Ey)
 $P = 323,584 \text{ ton}$
 $M_x = 88,5668 \text{ ton.m}$
 $M_y = 35,7321 \text{ ton.m}$
 $V_x = 15,0523 \text{ ton}$

$$\begin{aligned}
 V_y &= 23,9788 \text{ ton} \\
 \Sigma M_x &= M_x + V_y \cdot d \\
 &= 88,5668 + 23,9788 \cdot 0,9 \\
 &= 110,148 \text{ ton.m} \\
 \Sigma M_y &= M_y + V_x \cdot d \\
 &= 35,7321 + 15,0523 \cdot 0,9 \\
 &= 49,2792 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

A. Perencanaan Jumlah Tiang

Dalam menentukan jumlah tiang pancang dihitung dari nilai P_i dibagi dengan daya dukung yang diijinkan baik untuk beban tetap dan sementara kemudian diambil hasil yang terbesar.

Akibat beban tetap

$$n = \frac{161,755 \text{ ton}}{109,399 \text{ ton}} = 1,479$$

Akibat beban sementara terbesar

$$n = \frac{338,126 \text{ ton}}{164,099 \text{ ton}} = 2,065$$

Jadi, jumlah tiang pancang yang direncanakan menggunakan *spun pile* sebanyak 4 tiang

B. Perencanaan Dimensi Poer

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam menghitung jarak antar tiang pancang (S) menurut “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa – Jilid 2 (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)” menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$\begin{array}{ccccc}
 2D & \leq & S & \leq & 3D \\
 100 & \leq & S & \leq & 150
 \end{array}$$

Jadi, dipakai $S = 150 \text{ cm}$

Perhitungan jarak tiang ke tepi poer (S')

$$\begin{array}{ccccc} 1D & \leq & S & \leq & 2D \\ 50 & \leq & S & \leq & 100 \end{array}$$

Jadi, dipakai $S = 50 \text{ cm}$

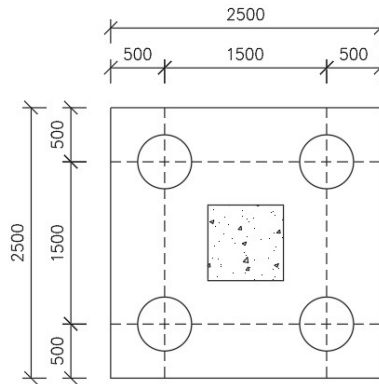
Sehingga dimensi poer direncanakan sebesar :

$$b = 150 \text{ cm} + 50 \text{ cm} + 50 \text{ cm}$$

$$b = 250 \text{ cm} \approx 2,5 \text{ m}$$

$$h = b = 2,5 \text{ m}$$

Tebal poer direncanakan setebal 0,9 m



Gambar 67 Pondasi Tipe 1

C. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Efisiensi

Berdasarkan “Analisa dan Desain Pondasi – Jilid 2 (Joseph E Bowles)”, Perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left(\frac{(m-1) \cdot n + (n-1) \cdot m}{90 \cdot m \cdot n} \right) \right\}$$

(*Principles of Foundation Engineering VII Table 11.17*)

Dimana :

D = 0,5 m
 S = 100 cm = 1 m
 m = 2 tiang
 n = 2 tiang
 Sehingga dapat dihitung,

$$\eta = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{0,5}{1} \right) \left(\frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right) \right\} = 0,7952$$

Kondisi normal

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin kelompok}} &= \eta \times P_{\text{ijin}} \\
 &= 0,7952 \times 109,399 \text{ ton} \\
 &= 86,99 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kondisi gempa atau sementara

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin kelompok}} &= \eta \times P_{\text{ijin}} \\
 &= 0,7952 \times 164,099 \text{ ton} \\
 &= 130,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok

Berikut perhitungan untuk gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang yaitu :

Tabel 54 Perhitungan Jarak Tiang Pancang Dari Titik Pusat

No	x	x ²	y	y ²
1	-0.75	0.563	0.75	0.563
2	0.75	0.563	0.75	0.563
3	-0.75	0.563	-0.75	0.563
4	0.75	0.563	-0.75	0.563
	Σx ² =	2.250	Σy ² =	2.250

- Perhitungan akibat beban tetap

$$P_{maks} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{maks}}{\Sigma y_i^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{maks}}{\Sigma x_i^2}$$

$$P_1 = \frac{161,76}{4} - \frac{6,25 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{5,115 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_1 = 40,055 \text{ ton} < 86,99 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_2 = \frac{161,76}{4} + \frac{6,25 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{5,115 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_2 = 44,232 \text{ ton} < 86,99 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_3 = \frac{161,76}{4} - \frac{6,25 \cdot 0,75}{2,25} - \frac{5,115 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_3 = 36,645 \text{ ton} < 86,99 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_4 = \frac{161,76}{4} + \frac{6,25 \cdot 0,75}{2,25} - \frac{5,115 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_4 = 40,822 \text{ ton} < 86,99 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

- Perhitungan akibat beban sementara arah X

$$P_{maks} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{maks}}{\Sigma y_i^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{maks}}{\Sigma x_i^2}$$

$$P_1 = \frac{338,13}{4} - \frac{21,46 \cdot 0,75}{2,25} - \frac{102,57 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_1 = 43,190 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_2 = \frac{338,13}{4} + \frac{21,46 \cdot 0,75}{2,25} - \frac{102,57 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_2 = 57,496 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_3 = \frac{338,13}{4} - \frac{21,46 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{102,57 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_3 = 111,567 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_4 = \frac{338,13}{4} + \frac{21,46 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{102,57 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_4 = 125,873 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

- Perhitungan akibat beban sementara arah Y

$$P_{maks} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{maks}}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{maks}}{\sum x_i^2}$$

$$P_1 = \frac{323,58}{4} - \frac{88,57 \cdot 0,75}{2,25} - \frac{35,732 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_1 = 39,463 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_2 = \frac{323,58}{4} + \frac{88,57 \cdot 0,75}{2,25} - \frac{35,732 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_2 = 98,508 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

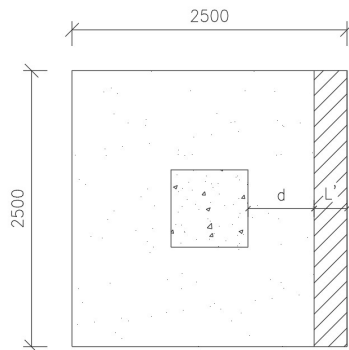
$$P_3 = \frac{323,58}{4} - \frac{88,57 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{35,732 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_3 = 63,284 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

$$P_4 = \frac{323,58}{4} + \frac{88,57 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{35,732 \cdot 0,75}{2,25}$$

$$P_4 = 122,329 \text{ ton} < 130,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

E. Cek Perhitungan Geser Satu Arah Pada Poer Akibat Kolom



Gambar 68 Bidang kritis geser satu arah akibat kolom

Apabila digunakan tulangan D25 untuk tulangan lentur arah X :

$$d = h - t - D_{tulangan\ poer} - D_{tulangan\ poer}/2$$

$$d = 900 - 75 - 25 - 25/2$$

$$d = 787,5 \text{ mm}$$

Apabila digunakan tulangan D25 untuk tulangan lentur arah Y :

$$d = h - t - D_{\text{tulangan poer}}/2$$

$$d = 900 - 75 - 25/2$$

$$d = 812,5 \text{ mm}$$

Didapatkan dari program bantu permodelan struktur, beban terpusat terbesar kolom akibat beban terfaktor (1,2D+1,6L)

$$Pu = 542,3 \text{ ton}$$

$$Qu = \frac{Pu}{b \cdot h} = \frac{542,3 \text{ ton}}{2,5 \cdot 2,5} = 86,76 \text{ ton/m}^2 \approx 0,87 \text{ N/mm}^2$$

Gaya geser yang terjadi pada poer, V_u (arah x)

$$V_u = Qu \times b \times Lx'$$

$$Lx' = (0,5 \cdot b_{\text{poer}}) - (0,5 \cdot b_{\text{kolom}}) - d$$

$$Lx' = (0,5 \cdot 2500) - (0,5 \cdot 700) - 787,5 \text{ mm}$$

$$Lx' = 112,5 \text{ mm}$$

$$V_{u_x} = 0,87 \times 2500 \times 112,5 = 244018,9665 \text{ N}$$

Gaya geser yang terjadi pada poer, V_u (arah y)

$$V_u = Qu \times b \times Ly'$$

$$Ly' = (0,5 \cdot b_{\text{poer}}) - (0,5 \cdot b_{\text{kolom}}) - d$$

$$Ly' = (0,5 \cdot 2500) - (0,5 \cdot 700) - 812,5 \text{ mm}$$

$$Ly' = 87,5 \text{ mm}$$

$$V_{u_y} = 0,7174 \times 2500 \times 87,5 = 189792,5295 \text{ N}$$

Gaya geser yang mampu dipikul beton, V_c (arah x)

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

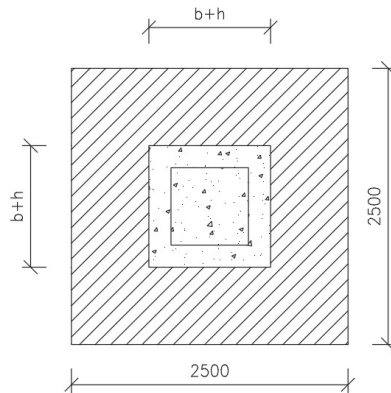
$$= 0,17 \cdot \sqrt{30} \cdot 2500 \cdot 787,5$$

$$= 1833158,935 \text{ N} > V_u = 244018,9665 \text{ N (OK)}$$

Gaya geser yang mampu dipikul beton, V_c (arah y)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot \sqrt{30} \cdot 2500 \cdot 812,5 \\
 &= 1891354,456 \text{ N} > V_u = 189792,5295 \text{ N (OK)}
 \end{aligned}$$

F. Cek Perhitungan Geser Dua Arah Pada Poer Akibat Kolom dan Tiang Pancang

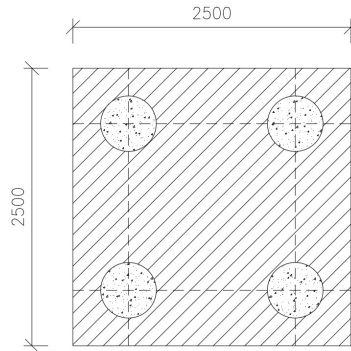


Gambar 69 Bidang kritis geser dua arah akibat kolom

Menghitung gaya geser dua arah yang terjadi pada poer (V_u) :

$$\begin{aligned}
 A_t &= (b_{poer} \cdot h_{poer}) - [(b_{kolom} + d) \times (h_{kolom} + d)] \\
 &= (2500 \cdot 2500) - [(700 + 787,5) \times (700 + 812,5)] \\
 &= 4000156,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= Q_u \times A_t \\
 &= 0,87 \text{ N/mm}^2 \times 4000156,25 \text{ mm}^2 \\
 &= 3470627,534 \text{ N} \approx 3470,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 70 Bidang kritis geser dua arah akibat tiang pancang

Diketahui beban terpusat maksimal pada tiang pancang yaitu :

$$P_u = 338,13 \text{ ton}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{338,13 \text{ ton}}{2,5 \times 2,5} = 54,1 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \approx 0,54 \text{ N/mm}^2$$

Menghitung gaya geser dua arah yang terjadi pada poer (V_u) :

$$\begin{aligned} A_t &= (b_{poer} \cdot h_{poer}) - n \times A_{tiang} \\ &= (2500 \cdot 2500) - 4 \times 196428,57 \\ &= 5464601,837 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= Q_u \times A_t \\ &= 0,54 \text{ N/mm}^2 \times 5464601,837 \text{ mm}^2 \\ &= 2956361,222 \text{ N} \approx 2956,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai V_u yang dipakai adalah yang terbesar diantara V_u akibat kolom dan V_u akibat tiang pancang, sehingga didapatkan nilai V_u sebesar 3470,6 kN

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1 (a), (b), dan (c), untuk perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, nilai V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil :

- $V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$

Dimana,

$$\beta = \text{Rasio sisi panjang kolom dan sisi pendek kolom} \\ = 700/700 = 1$$

$$b_o = \text{Keliling penampang kritis} \\ = 2 \cdot (b_{kolom} \cdot h_{kolom}) + 4d$$

$$b_o (x) = 2 \cdot (700 \cdot 700) + 4 \cdot 787,5 \\ = 5950 \text{ mm}$$

$$b_o (y) = 2 \cdot (700 \cdot 700) + 4 \cdot 812,5 \\ = 6050 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

Maka besarnya V_c dapat dihitung sebagai berikut,

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 5950 \cdot 787,5 \\ = 13088,8 \text{ kN} \rightarrow \text{arah } x$$

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 6050 \cdot 812,5 \\ = 13731,2 \text{ kN} \rightarrow \text{arah } y$$

- $V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{a_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$

Dimana,

$$a_s = 40 \text{ (kolom tengah)}$$

$$= 30 \text{ (kolom tepi)}$$

$$= 20 \text{ (kolom sudut)}$$

Maka besarnya V_c dapat dihitung sebagai berikut,

$$V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{40 \cdot 787,5}{5950} + 2\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 5950 \cdot 787,5 \\ = 15537,4 \text{ kN} \rightarrow \text{arah } x$$

$$V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{40 \cdot 812,5}{6050} + 2\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 6050 \cdot 812,5 \\ = 16400 \text{ kN} \rightarrow \text{arah } y$$

- $V_c = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$

$$V_c = 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 5950 \cdot 787,5$$

$$\begin{aligned}
 &= 8469,19 \text{ kN} \rightarrow \text{arah } x \\
 V_c &= 0,33.1.\sqrt{30}.6050.812,5 \\
 &= 8738,06 \text{ kN} \rightarrow \text{arah } y
 \end{aligned}$$

Maka dari ketiga persamaan yang telah dihitung, diambil nilai terkecil sehingga didapatkan nilai $V_c = 8469,19 \text{ kN}$ kemudian digunakan untuk kontrol sebagai berikut,

$$V_u = 3470,63 \text{ kN} < V_c = 8469,19 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

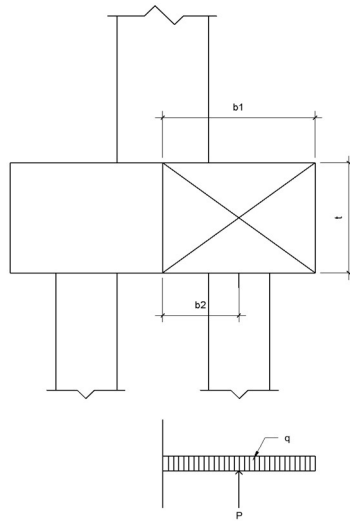
G. Perencanaan Tulangan Lentur Poer

Pada perencanaan tulangan lentur poer, nantinya poer diasumsikan sebagai balok kantilever sengan perletakan jepit paada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 b_{poer} &= 2500 \text{ mm} \\
 h_{poer} &= 2500 \text{ mm} \\
 t_{poer} &= 900 \text{ mm} \\
 Decking &= 75 \text{ mm} \\
 D_{lentur} &= 25 \text{ mm} \\
 dx &= t_{poer} - decking - D_{lentur} - D_{lentur}/2 \\
 &= 900 - 75 - 25 - 25/2 = 788 \text{ mm} \\
 dy &= t_{poer} - decking - D_{lentur}/2 \\
 &= 900 - 75 - 25/2 = 813 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Poer Arah X



Gambar 71 Mekanika Gaya Pada Poer Arah X

Diketahui nilai untuk jarak-jarak tersebut sebagai berikut :

b_1 = Jarak dari ujung poer ke tepi kolom

$$= (2,5 - (2,5/2)) = 1,25 \text{ m}$$

b_2 = Jarak dari as tiang ke tepi kolom

$$= 1,25/2 = 0,625 \text{ m}$$

q_u = Berat poer pada daerah yang ditinjau

$$= 1,25 \times 2,5 \times 0,9 \times 2400$$

$$= 6750 \text{ kg}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah :

$$P_u = 125,873 \text{ ton}$$

Maka, momen yang terjadi pada poer adalah :

$$M_u = -Mq + Mp$$

$$= -(0,5 \times q_u \times b_1^2) + (P \times b_2)$$

$$= -(0,5 \times 6750 \times 1,25^2) + (125873 \times 0,625)$$

$$= 73397,3 \text{ kg.m} \approx 73397253,65 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{73397253,65}{0,8} = 91746567,1 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{91746567,1}{2500 \times 788^2} = 0,1479 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,3 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1}{15,3} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,1479}{390}}\right)$$

$$= 0,00513$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0036$$

Jadi, karena nilai $\rho > \rho_{min}$ maka $\rho = 0,00513$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00513 \times 1000 \times 788$$

$$= 4042,1099 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan D25 – 100 mm

$$As_{pakai} = \frac{As \times b}{s} = \frac{1/4 \times \pi \times 25 \times 1000}{100}$$

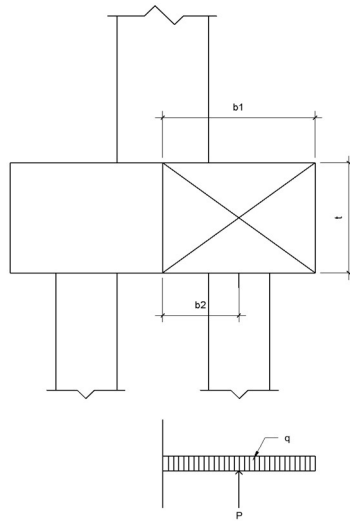
$$= 4908,7385 \text{ mm}^2$$

Periksa apakah $As_{pakai} > As_{perlu}$

$$As_{pakai} = 4908,7385 \text{ mm}^2 > As_{perlu} \text{ (OK)}$$

Jadi, untuk penulangan poer arah x digunakan tulangan D25 dengan jarak 100 mm

- Penulangan Poer Arah Y



Gambar 72 Mekanika Gaya Pada Poer Arah Y

Diketahui nilai untuk jarak-jarak tersebut sebagai berikut :

b_1 = Jarak dari ujung poer ke tepi kolom

$$= (2,5 - (2,5/2)) = 1,25 \text{ m}$$

b_2 = Jarak dari as tiang ke tepi kolom

$$= 1,25/2 = 0,625 \text{ m}$$

q_u = Berat poer pada daerah yang ditinjau

$$= 1,25 \times 2,5 \times 0,9 \times 2400$$

$$= 6750 \text{ kg}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah :

$$P_u = 125,873 \text{ ton}$$

Maka, momen yang terjadi pada poer adalah :

$$M_u = -Mq + Mp$$

$$= -(0,5 \times q_u \times b_1^2) + (P \times b_2)$$

$$= -(0,5 \times 6750 \times 1,25^2) + (125873 \times 0,625)$$

$$= 73397,3 \text{ kg.m} \approx 73397253,65 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{73397253,65}{0,8} = 91746567,1 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{91746567,1}{2500 \times 813^2} = 1,3898 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,3 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{15,3} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 1,3898}{390}}\right) \\ &= 0,00357 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0036$$

Jadi, karena nilai $\rho < \rho_{min}$ maka $\rho = 0,0036$

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 1000 \times 813 \\ &= 2904,400351 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D25 – 150 mm

$$\begin{aligned} As_{pakai} &= \frac{As \times b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 25 \times 1000}{150} \\ &= 3272,49235 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa apakah $As_{pakai} > As_{perlu}$

$$As_{pakai} = 3272,49235 \text{ mm}^2 > As_{perlu} \text{ (OK)}$$

Jadi, untuk penulangan poer arah y digunakan tulangan D25 dengan jarak 150 mm

6.2 Perencanaan Penulangan Sloof

Balok pengikat sloof direncanakan untuk menahan gaya aksial, lentur dan geser. Gaya aksial yang dibebankan pada sloof adalah gaya 10% gaya aksial yang terjadi pada kolom di atasnya. Penulangan sloof dianalisa menggunakan program bantu spColumn setelah ditentukan tulangan yang akan digunakan.

A. Data Perencanaan

Tipe sloof	= S1
Bentang sloof (L)	= 8000 mm
Lebar sloof (b)	= 500 mm
Tinggi sloof (h)	= 800 mm
Gaya aksial P kolom	= 620,97 ton
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan (f_y)	= 390 MPa
Diameter tulangan lentur	= 25 mm
Diameter tulangan geser	= 10 mm
Selimut beton (decking)	= 75 mm
Tinggi efektif (d)	= $800 - 75 - 10 - 25/2$ = 699,5 mm

B. Dimensi Sloof

Penentuan dimensi sloof dilakukan dengan memperhitungkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan ijin beton (modulus keruntuhan) yaitu sebesar :

$$\begin{aligned}f_{r \text{ ijin}} &= 0,7 \times \sqrt{f_c'} \\&= 0,7 \times \sqrt{30} = 3,8341 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Sedangkan tegangan tarik yang terjadi,

$$\begin{aligned}P_u &= 10\% \times P_{kolom} \\&= 10\% \times 620,97 \text{ ton} \\&= 62,097 \text{ ton} \approx 620968,74 \text{ N}\end{aligned}$$

$$f_r = \frac{Pu}{0,85 \times b \times h} = \frac{620968,74 \text{ N}}{0,85 \times 500 \times 800} \\ = 1,8264 \text{ MPa}$$

$$f_r = 1,8264 \text{ MPa} < f_{r \text{ ijin}} = 3,8341 \text{ MPa (OK)}$$

C. Penulangan Lentur Sloof

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.12.3.2 balok sloof yang didesain sebagai pengikat horizontal antara poer harus diproposikan sedemikian hingga penampang terkecil harus sama dengan atau lebih besar jarak antar kolom yang disambung dibagi menjadi 20, tetapi tidak perlu lebih besar dari 450 mm. Penulangan sloof didasarkan atas kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur, sehingga penulangannya diidealisasikan seperti penulangan kolom. Adapun beban yang bekerja pada sloof adalah :

$$\text{Berat aksial Nu} = 10\% \times 620,97 \text{ ton} \\ = 62,097 \text{ ton}$$

Berat yang diterima oleh sloof yaitu terdiri dari berat sendiri sloof dan berat pelat yaitu,

$$q_{trap} = q_{pelat} \times \frac{1}{2} \times l_x \\ = 927 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} \times 8 \text{ m} = 3708,96 \text{ kg/m}$$

$$q_{Ekw} = \frac{1}{3} \times q_{trap} \times \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\ = \frac{1}{3} \times 3708,96 \times \left\{ 3 - \left(\frac{8}{8} \right)^2 \right\} = 2472,64 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat pelat total untuk dua arah $2 \times q_{Ekw}$ menjadi $4945,28 \text{ kg/m} \approx 4,945 \text{ t/m}$

$$q_{sloof} = 0,5 \times 0,8 \times 2,4 = 0,96 \text{ t/m}$$

$$q_{total} = 4,945 + 0,96 \\ = 5,91 \text{ t/m}$$

$$Q_u = 1,4 \times q_{total}$$

$$= 1,4 \times 5,91 \text{ t/m}$$

$$= 8,27 \text{ t/m} \approx 82,67 \text{ kN/m}$$

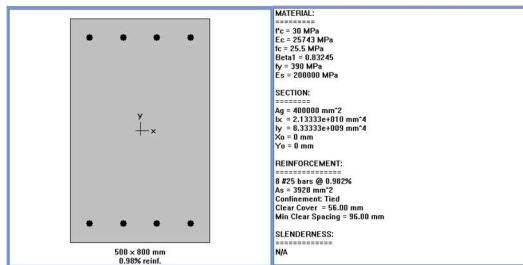
Konstruksi sloof merupakan termasuk balok menerus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3

$$Mu = \frac{1}{12} \times Q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 82,67 \text{ kN/m} \times (8 \text{ m})^2$$

$$= 440,93 \text{ kN.m}$$

Momen dari permodelan struktur sebesar 158,88 kNm
Direncanakan dengan menggunakan tulangan 4D25 yang kemudian dilakukan cek pada program bantu spColumn.



Gambar 73 Input parameter desain spColumn sloof

Dari analisis program spColumn didapatkan ρ tulangan sebesar 0,98% dan hasil seperti berikut

	Pu	Mux	Muy	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}
↓	kN	kNm	kNm	kNm	kNm
	621.00	440.93	158.88	587.41	211.66

Gambar 74 Output spColumn kapasitas sloof S1

Berdasarkan Output dari spColumn

$$Mu_x = 440,93 \text{ kNm} < Mu_{x \text{ maks}} = 587,41 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

$$Mu_y = 158,88 \text{ kNm} < Mu_{y \text{ maks}} = 211,66 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Kontrol jarak spasi antar tulangan

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{decking} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1} > 25 \text{ mm}$$

$$s = \frac{500 - 2 \cdot 75 - 4 \cdot 25}{4 - 1} = 83,3 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

D. Penulangan Geser Sloof

Dari diagram interaksi aksial dan momen sloof, didapatkan momen balance M_{pr} yaitu,

$$M_{pr} = 482,93 \text{ kNm}$$

Kemudian gaya geser rencana dapat dihitung (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{pr} + M}{l_n} \\ &= \frac{482,93 + 482,93}{8 \text{ m}} = 120,7325 \text{ kN} \end{aligned}$$

Periksa syarat kuat tekak beton bahwa nilai $\sqrt{f'c'}$ tidak boleh melebihi 8,3 MPa

$$\sqrt{f'c'} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,47 < 8,3 \text{ MPa (OK)}$$

Hitung besar kuat geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \\ &= 676201,4302 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser ($V_{s \min}$ & $V_{s \max}$)

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= 1/3 \times b \times d \\ &= 1/3 \times 500 \times 699,5 \\ &= 117083,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \max} &= 1/3 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 1/3 \times \sqrt{30} \times 500 \times 699,5 \\ &= 641291,8277 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \cdot V_{s \max} &= 2 \times 641291,8277 \text{ N} \\ &= 1282583,655 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi geser tulangan geser :

1. Kondisi Geser Satu (Tidak memerlukan tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$120732,5 \text{ N} \leq 253575,5 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka penulangan geser cukup dipasang minimum dengan rencana tulangan dua kaki D10 jarak 150 dan dilakukan pemeriksaan terhadap jarak tulangan geser minimum

$$A_v = n \times \pi \times 0,25 \times D$$

$$= 157,1 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{3 \times f_y \times A_v}{b_w} = 367,566 \text{ mm}$$

Tetapi tidak boleh lebih dari $1/2d$

$$s_{maks} = 1/2 \cdot 699,5 \text{ mm}$$

$$= 351,25 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan sengkang 2 kaki D10 – 150

E. Rekapitulasi Penulangan Sloof

Tabel 55 Rekapitulasi Penulangan Sloof

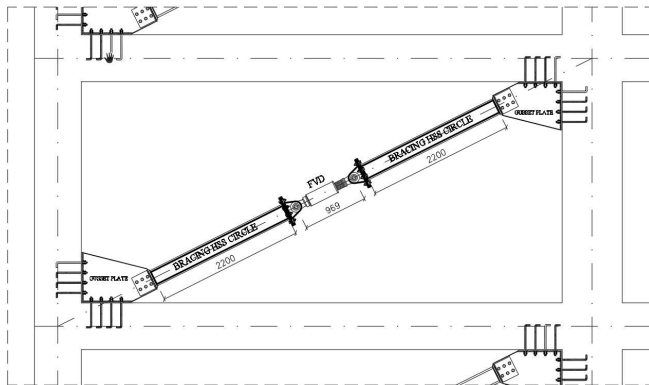
REKAPITULASI PENULANGAN SLOOF								
Tipe Sloof	L	b	h	Tulangan terpasang		Torsi	Sengkang Tumpuan	Sengkang Lapangan
				Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan			
		(mm)			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
S1	8000	500	800	Atas		-	2 D10 - 150	2 D10 - 250
				4 D25	4 D25			
				Bawah				
				4 D25	4 D25			
S2	8000	300	500	Atas		-	2 D10 - 250	2 D10 - 250
				3 D25	3 D25			
				Bawah				
				3 D25	3 D25			

BAB VII

SAMBUNGAN DAN ANGKUR *FLUID VISCOUS DAMPER*

7.1 Perhitungan Breising HSS

Untuk pemasangan *Fluid Viscous Damper* (FVD) pada struktur bangunan dilakukan seperti memasang breising, Namun karena panjang damper hanya ± 1 m, maka damper diekstensi menggunakan frame *Hollow Structural Section* (HSS) guna mencapai panjang diagonal seperti pada Gambar 75, Desain profil direncanakan mampu menahan gaya aksial tarik maupun tekan, Maka harus diperhitungkan gaya-gaya yang bekerja sesuai SNI 1729-2015.



Gambar 75 Skema pemasangan FVD

7.2.1 Perhitungan Kapasitas Tarik Penampang

Berikut parameter yang digunakan :

Profil baja	= HSS Circle (GRP)
Diameter (D)	= 254 mm
Tebal (t)	= 12,7 mm
Luas penampang (Ag)	= 9627,4 mm ²
Material profil baja	= A500GrB42
Tegangan leleh tarik (fy)	= 300 MPa

Tegangan putus tarik (f_u)	= 400 MPa
Panjang breising (L)	= 3,4 m
Momen inersia (I)	= 7026,47 cm ²
Modulus penampang (S)	= 553,265 cm ²
Radius girasi (r)	= 85,4 mm
Modulus plastis (Z)	= 740,15 cm ²

Dari hasil output Etabs diperoleh gaya dalam terbesar yang bekerja pada *fluid viscous damper* akibat kombinasi envelope yaitu :

Gaya aksial tekan maksimum = 28,0878 kN

Gaya aksial tarik maksimum = 25,0033 kN

A. Menghitung Kapasitas Tekan Penampang

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 1729-2015 tabel B4,1a, yakni sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{254}{12,7} = 20$$

$$\lambda_r = 0,11 \frac{E}{f_y} = 0,11 \times \frac{200000}{300} = 73,33$$

$$\lambda_r > \lambda \text{ (OK)}$$

Berdasarkan SNI 1729 - 2015 pasal B4,1, jika nilai yang didapatkan $\lambda_r > \lambda$ maka penampang yang dipakai termasuk elemen non-langsing, Sehingga untuk perhitungan tekan nominal mengikuti SNI 1729-2015 pasal E3 (tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing),

- a. Cek kelangsingan batang (SNI 1729 : 2015 Ps. E2)

Faktor panjang tekuk, $k = 1,0$ (sendi-sendu)

$$k.L = 1,0 \times 3400 = 3400 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{3400}{85,4} = 39,813 < 200 \text{ (OK)}$$

- b. Kekuatan nominal tekan terfaktor batang

$$4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200000}{300}} = 121,61$$

Karena nilai $\frac{KL}{r} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, maka untuk nilai f_{cr} dipakai:

$$c. f_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e} \right] f_y \quad (\text{SNI 1729 : 2015 Ps. E3-2})$$

$$\text{Dimana nilai } f_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(39,813)^2} = 1245,3 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$f_{cr} = \left[0,658^{\frac{300}{1245,3}} \right] \cdot 300 = 271,2266 \text{ MPa}$$

$$P_n = f_{cr} \times A_g \quad (\text{SNI 1729 : 2015 Ps. E3-1})$$

$$= 271,2266 \times 9627,44 = 2611217,9 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,9 \times 2611217,9 = 2350096,1 \text{ N}$$

Maka untuk kuat tekan nominal batang, diambil nilai yang paling kecil, sehingga didapatkan:

$$\phi P_n = 2350,0961 \text{ kN}$$

$$P_u = 28,0878 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 2350,0961 \text{ kN} \geq P_u = 28,0878 \text{ kN} \rightarrow (OK)$$

B. Menghitung Kapasitas Tarik Penampang

Kekuatan tarik desain, ϕN_n , dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto,

- a. Cek kelangsingan batang (SNI 1729 : 2015 Ps. D1)

Faktor panjang tekuk, $k = 1,0$ (sendi-sendu)

$$k \cdot L = 1,0 \times 3400 = 3400 \text{ mm}$$

$$\frac{kL}{r} = \frac{3400}{85,4} = 39,813 < 300 \text{ (OK)}$$

- b. Kekuatan tarik nominal terfaktor batang (leleh menentukan)

$$A_g = 9627,44 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$N_n = f_y \times A_g \quad (\text{SNI 1729 : 2015 Ps. D2.1})$$

$$= 300 \times 9627,44 = 2888232,6 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,9 \times 2888232,6 = 2599410,4 \text{ N}$$

Maka untuk kuat tarik nominal batang, diambil nilai yang paling kecil, sehingga didapatkan:

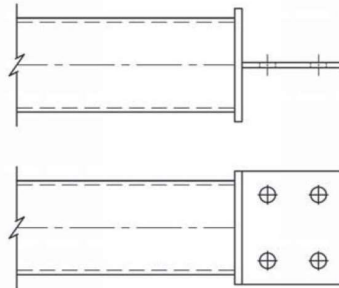
$$\phi N_n = 2,599,41 \text{ kN}$$

$$N_u = 1951,6 \text{ kN}$$

$$\phi N_n = 2599,41 \text{ kN} \geq N_u = 1951,6 \text{ kN}$$

7.2 Perhitungan Sambungan Gusset Plate

Desain sambungan dirancang mampu menahan gaya aksial tarik maupun tekan, maka harus diperhitungkan gaya-gaya yang bekerja yang mengacu pada *AISC Design Guide 24 Hollow Structural Sections Connection* memakai desain *end tee bolted connection* seperti pada gambar berikut.

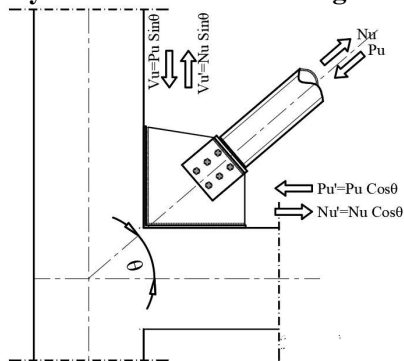


Gambar 76 Sambungan tipe *end tee bolted connection* (*AISC Design Guide 24*)

7.2.1 Data Perencanaan Sambungan

- Profil baja = CHS
- Diameter (D) = 254 mm
- Tebal (t) = 12,7 mm
- Luas penampang (A_g) = 129 cm²
- Material Profil Baja = A500GradeB42
- Tegangan leleh tarik (f_y) = 300 Mpa
- Tegangan putus tarik (f_u) = 400 Mpa
- Profil sambungan = Pelat baja
- Dimensi Kepala Pelat = 300/300 mm
- Tebal kepala pelat (t_p) = 25 mm
- Tebal pelat penyambung (t_p) = 25 mm
- Tebal pelat buhul (t_{pg}) = 20 mm
- Material Profil Baja = A36
- Tegangan leleh tarik (f_{yp}) = 240 Mpa
- Tegangan putus tarik (f_{up}) = 400 Mpa
- Material Baut = A325
- Diameter Lubang Baut = M27
- Kuat Tarik Baut = 620 MPa
- Kuat Geser Baut = 372 MPa
- Material Las = E70xx
- Tegangan leleh tarik las (f_y) = 490 Mpa

7.2.2 Analisa Gaya Dalam Pada Sambungan



Gambar 77 Gaya dalam pada sambungan

Untuk sistem struktur portal tahan gempa maka kekuatan sambungan tidak boleh lebih lemah dari batang yang disambungannya (Wiryanto Dewobroto,2016:594), Maka semua gaya yang bekerja diambil dari kapasitas gaya nominal yang mampu dipikul breising HSS.

Gaya P_u maupun N_u diganti dengan gaya nominal yang telah dihitung pada sub bab sebelumnya (breising),

$$\text{Gaya tekan nominal } \phi P_n = 2599,4094 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tarik nominal } \phi N_n = 2350,0961 \text{ kN}$$

A. Gaya Aksial Pada Pelat Landas

Gaya tekan maksimum pelat landasan P'_u

$$\begin{aligned} P'_u &= P_u \cos \alpha \\ &= 2599,4094 \text{ kN} \times \cos 27^\circ \\ &= 2316,0907 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik maksimum pelat landasan N'_u

$$\begin{aligned} N'_u &= N_u \cos \alpha \\ &= 2350,0961 \times \cos 27^\circ \\ &= 2093,9509 \text{ kN} \end{aligned}$$

B. Gaya Geser Pada Pelat Landas

Gaya geser dari proyeksi tekan

$$\begin{aligned} V_u &= P_u \sin \alpha \\ &= 2599,4094 \times \sin 27^\circ \\ &= 1180,1072 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser dari proyeksi tarik

$$\begin{aligned} V'_u &= N_u \sin \alpha \\ &= 2350,0961 \times \sin 28^\circ \\ &= 1066,9213 \text{ kN} \end{aligned}$$

7.2.3 Kuat Las yang Tersedia Kepala Pelat ke HSS

Kekuatan las nominal ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = f_w \times A_w \quad (\text{SNI 1729 : 2015 Ps. J2.3})$$

Karena gaya tidak berada dalam bidang pengelompokan, maka persamaan J2-5 dari Spesifikasi AISC 360-16 tidak berlaku,

$$f_w = 0,60f_{EXX} = 0,60 \times 490 \text{ MPa} = 294 \text{ MPa}$$

Mengacu tabel SNI 1729:2015 tabel J2.4 Ukuran Minimum Las Sudut tebal las sudut w diambil 10mm

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

$$l = \pi \cdot D = \pi \times 254 = 797,96 \text{ mm}$$

$$A_w = l \frac{w}{\sqrt{2}} = 797,95 \times \frac{10}{\sqrt{2}} = 5642,46 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 294 \times 5642,46 = 1658883,63 \text{ N} = 1658,89 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,8 \times 1658,89 = 1327,1069 \text{ kN}$$

Kontrol apakah $\phi R_n > \phi P_n$ gaya aksial terbesar yang terjadi

$$\phi R_n = 1327,1069 \text{ kN} > \phi P_n = 1299,7 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

7.2.4 Kuat Las yang Tersedia Menghubungkan Pelat Sambung ke Kepala Pelat

Kekuatan las nominal ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = f_w \times A_w \quad (\text{SNI 1729 : 2015 Ps. J2.3})$$

Karena gaya tidak berada dalam bidang pengelompokan, maka persamaan J2-5 dari Spesifikasi AISC 360-16 tidak berlaku,

$$f_w = 0,60f_{EXX} = 0,60 \times 490 \text{ MPa} = 294 \text{ MPa}$$

Di sini panjang las yang efektif, l , sama dengan panjang kepala pelat, di kedua sisi batang, Karenanya:

$$l = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

$$A_w = l \frac{w}{\sqrt{2}} = 600 \times \frac{15}{\sqrt{2}} = 6363,96 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 294 \times 6363,96 = 1871004,5 \text{ N} = 1871,01 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,8 \times 1871,01 = 1496,8036 \text{ kN}$$

Kontrol apakah $\phi R_n > \phi P_n$ gaya aksial terbesar yang terjadi

$$\phi R_n = 1496,8036 \text{ kN} > \phi P_n = 1299,7 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

7.2.5 Kuat Geser Leleh Kepala Pelat

Dari AISC 360-16 pasal J4.2 bahwa kekuatan geser leleh nominal ditentukan sebagai berikut,

$$R_n = 0,6 \times f_y \times A_g \quad (\text{SNI 1729 : 2015 Persamaan J4.2})$$

Dimana:

$$f_y = f_{yp} = 240 \text{ MPa}$$

Perhatikan bahwa luas geser total adalah dua kali panjang kepala pelat dikali ketebalan kepala pelat, Setengah dari beban dilawan pada setiap bidang geser yang berdekatan dengan las, Total area geser adalah:

$$A_g = 2 \times L \times t_p = 2 \times 300 \times 20 = 12000 \text{ mm}^2$$

Maka

$$\phi R_n = 0,6 \times 240 \times 12000 = 1728000 \text{ N} = 1728 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 1728 \text{ kN}$$

7.2.6 Kuat Geser Fraktur Kepala Pelat

Dari AISC 360-16 pasal J4.2, kekuatan geser fraktur nominal ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv}$$

Dimana:

$$A_g = 2 \times L \times t_p = 2 \times 300 \times 20 = 12000 \text{ mm}^2$$

$$f_u = f_{up} = 400 \text{ MPa}$$

$$A_{nv} = A_g = 12000 \text{ mm}^2$$

Maka

$$R_n = 0,6 \times 400 \times 12000 = 2880000 \text{ N}$$

$$R_n = 2880 \text{ kN}$$

7.2.7 Kuat Geser Baut

Dari AISC *Manual* tabel 7-1, kuat geser baut yang tersedia sebagai berikut:

$$r_n = 372 \text{ N/mm}^2$$

Kemudian direncanakan menggunakan baut dengan diameter M24 sebanyak 6 buah

$$A_{baut} = 452,39 \text{ mm}^2$$

Sehingga kuat geser baut dapat dihitung,

$$R_n = n \times A_{baut} \times r_n$$

$$= 6 \times 452,39 \times 372 = 1009733 \text{ N} \approx 1009,733 \text{ kN}$$

$$R_n = 1009,733 \text{ kN} > V_u = 590,05 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

7.2.8 Kuat Tumpu Baut

Dari AISC 360-16 pasal J3.10(a)(i), kekuatan tumpu nominal baut di lubang standar ketika deformasi pada lubang baut pada beban servis adalah pertimbangan desain:

$$R_n = 1,2L_c t f_u \leq 2,4dt f_u$$

Dimana

$$t = t_s = 25 \text{ mm}$$

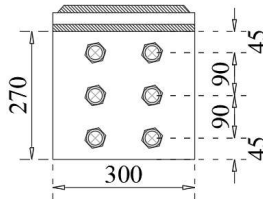
$$\text{M24 dh} = 30 \text{ mm, dt} = 24 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729-2015 Tabel J3.3M})$$

$$f_u = f_{up} = 400 \text{ MPa}$$

$$s = 1,5 \times dt = 36 \text{ mm}$$

Untuk baut terakhir

$$L_c = 36 - \frac{30}{2} = 21 \text{ mm}$$



Gambar 78 Skema baut pada plat sambung

Maka untuk sisi terluar plat dari persamaan J3-6a adalah:

$$1,2L_c t f_u = 1,2 \times 21 \times 25 \times 400 = 252000 \text{ N}$$

Sedangkan untuk baut sisi terluar adalah:

$$2,4dt f_u = 2,4 \times 24 \times 25 \times 400 = 576000 \text{ N}$$

$$1,2L_c t f_u = 252000 \text{ N} < 2,4dt f_u = 576000 \text{ N}$$

Maka pakai $R_n = 252000 \text{ N} \approx 252 \text{ kN}$

Dengan AISC 360-16 pasal J3.10 untuk baut luar dan AISC *Manual* tabel 7-5 untuk baut dalam, kuat tumpu yang tersedia ditentukan sebagai berikut:

Untuk baut luar:

$$\phi R_n = 0,75 \times 252 = 189 \text{ kN}$$

Untuk baut dalam:

$$\phi r_n = 17,7 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$\phi R_n = 24 \times 17,7 = 424,8 \text{ kN}$$

Maka untuk 6 baut, kuat tumpu sebagai berikut:

$$\phi R_n = 4 \times (189 \text{ kN}) + 2 \times (424,8 \text{ kN}) = 1605,6 \text{ kN}$$

7.2.9 Kuat Tarik Leleh Pelat Sambung

Dari AISC 360-16 pasal J4.1(a), kuat tarik leleh nominal pelat penyambung adalah:

$$\phi R_n = f_y \times A_g$$

Dimana:

$$f_y = f_{yp} = 240 \text{ MPa}$$

$$A_g = W \times t_s = 300 \times 25 = 7500 \text{ mm}^2$$

Dimana:

$$\phi R_n = 0,9 \times 240 \times 7500 = 1620000 \text{ N} = 1620 \text{ kN}$$

7.2.10 Kuat Tarik Fraktur Pelat Sambung

Dari AISC 360-16 pasal J4.1(b), kuat tarik fraktur nominal pelat penyambung adalah:

$$\phi R_n = f_u \times A_e$$

Dimana:

$$f_u = f_{up} = 400 \text{ MPa}$$

$$A_e = A_n \times U$$

Dimana:

$U = 1,0$ Dari AISC *Specification* tabel D3,1,

$$A_n = A_g - 2(d_h)t_s \leq 0,85A_g$$

$$A_n = 7500 - 2(30) \times 25 \leq 0,85 \times 7500$$

$$A_n = 6000 \leq 6375$$

$$A_n = 6000 \text{ mm}^2$$

Maka kuat Tarik fraktur dapat dihitung

$$\phi R_n = 0,9 \times 400 \times 6000 = 2160000 \text{ N} = 2,160 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 2160 \text{ kN}$$

7.2.11 Perhitungan Keruntuhan Geser Blok Pelat Penyambung

Menurut AISC 360-16 pasal J4.3, kuat nominal pelat penyambung berdasarkan keadaan batas dari keruntuhan geser blok adalah:

$$R_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt}$$

Dimana:

$$A_{gv} = 3L_{gv}t_s$$

$$L_{gv} = 90 \text{ mm}$$

$$L_{gt} = 120 \text{ mm}$$

$$A_{gv} = 3 \times 90 \times 25 = 6750 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 2,5d_h t_s$$

$$A_{nv} = 6750 - 2,5 \times (30) \times 25 = 4875 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (L_{gt} \times t_s) - (d_h \times t_s)$$

$$A_{nt} = (125 \times 25) - (30 \times 25) = 2250 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1,0 \text{ (jika gaya tarik merata)}$$

Maka:

$$0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt}$$

$$0,6 \cdot 400 \cdot 4875 + 1 \cdot 400 \cdot 2250 = 2070000 \text{ N} = 2070 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt}$$

$$0,6 \cdot 240 \cdot 6750 + 1 \cdot 400 \cdot 2250 = 2115000 \text{ N} = 2115 \text{ kN}$$

Karena $2070 \text{ kN} < 2115 \text{ kN}$, maka dipakai

$$R_n = 2070 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 2070 = 1552,5 \text{ kN}$$

Oleh karena itu kekuatan tegangan tarik yang tersedia dikontrol oleh kekuatan las yang tersedia yang menghubungkan pelat penyambung ke kepala pelat,

$$\phi R_n = 1552,5 \text{ kN}$$

7.2.12 Perhitungan Kuat Tarik Leleh Pelat Buhul

Dari AISC 360-16 pasal J4.1(a), kuat tarik leleh nominal pelat buhul adalah:

$$\phi R_n = f_y \times A_g$$

Dimana:

$$f_y = f_{yp} = 240 \text{ MPa}$$

$$A_g = W \times t_s = 600 \times 20 = 12000 \text{ mm}^2$$

Dimana:

$$\phi R_n = 0,9 \times 240 \times 12000 = 2592000 \text{ N} = 2592 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 2592 \text{ kN}$$

7.2.13 Perhitungan Kuat Tarik Fraktur Pelat Buhul

Dari AISC 360-16 pasal J4.1(b), kuat tarik fraktur nominal pelat buhul adalah:

$$\phi R_n = f_u \times A_e$$

Dimana:

$$f_u = f_{up} = 400 \text{ MPa}$$

$$A_e = A_n \times U$$

Dimana:

$$U = 1,0 \text{ Dari AISC Specification tabel D3,1,}$$

$$A_n = A_g - 2(d_h)t_s \leq 0,85A_g$$

$$A_n = 12000 - 2(30) \times 20 \leq 0,85 \times 12000$$

$$A_n = 10800 \geq 10200$$

Maka area efektif yang diambil adalah

$$A_n = 10200 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0,9 \times 400 \times 10200 = 3672000 \text{ N} = 3672 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 3672 \text{ kN}$$

7.2.14 Kuat Las yang Tersedia Menghubungkan Pelat Buhul ke Pelat Landas

Kekuatan las nominal ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = f_w \times A_w$$

$$f_w = 0,60 f_{EXX} = 0,60 \times 490 \text{ MPa} = 294 \text{ MPa}$$

Di sini panjang las yang efektif, l , sama dengan panjang pelat buhul, di kedua sisi batang, Karenanya:

$$w = 15 \text{ mm}$$

$$l = 600 \text{ mm}$$

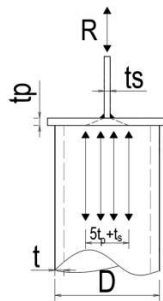
$$A_w = l \frac{w}{\sqrt{2}} = 600 \times \frac{15}{\sqrt{2}} = 6364 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 294 \times 6364 = 1871005 \text{ N} = 1871,005 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,8 \times 1871,005 = 1496,8036 \text{ kN}$$

7.2.15 Keadaan Batas Leleh Lokal dari Beban Aksial CHS

Menurut AISC 360-16 tabel K1,1, kuat tekan nominal berdasarkan kondisi batas dinding HSS melumpuhkan, untuk satu dinding, adalah:



Gambar 79 Penyebaran Gaya Melalui Kepala Pelat

$$R_n = 2 \times f_y \times t(5t_p + t_s) \leq f_y \times A_g \text{ HSS}$$

$$R_n = 2 \times 300 \times 12,7(5 \times 20 + 25) \leq 300 \times 9267,44$$

$$R_n = 2 \times 300 \times 12,7(5 \times 25 + 25) \leq 300 \times 9267,44$$

$$R_n = 1395445 \text{ N} \leq 1482119 \text{ N (OK)}$$

Maka:

$$\phi R_n = 1,0 \times 1395,445 = 1395,445 \text{ kN}$$

7.2.16 Sambungan Breising dengan Pelat Landasan

1. Pengecekan Pelat Landasan Terhadap Kuat Tumpu Beton

Direncanakan ukuran pelat landasan adalah 650×300 ,

Perhitungan kuat tumpu beton sebagai berikut:

$$f_{p(max)} = \phi \times 0,85 \times f'_c = 0,65 \times 0,85 \times 30 \\ = 16,575 \text{ MPa}$$

$$f_p = \frac{P'_u}{BN} = \frac{1158045,4}{650 \times 300} = 5,94 \text{ MPa} < 16,58 \text{ MPa (OK)}$$

2. Penentuan Tebal Pelat Landasan

Kuat perlu pelat landasan ditentukan sebagai berikut,

$$M_{pl} = 0,5 \times f_p \times m^2$$

Dimana m ditentukan sebagai berikut:

$$m = \frac{N - 0,9d}{2} = \frac{650 - 0,9 \times 600}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$M_{pl} = 0,5 \times 5,939 \times 55^2 = 8982,2749 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

Untuk kondisi batas leleh maka tebal minimum yang diperlukan untuk pelat landasan adalah:

$$t_{bp} \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi f_y}}$$

$$t_{bp} = \sqrt{\frac{4 \times 8982,2749}{0,9 \times 240}} = 12,897 \text{ mm} \cong 15 \text{ mm}$$

7.3 Perhitungan Baut Angkur

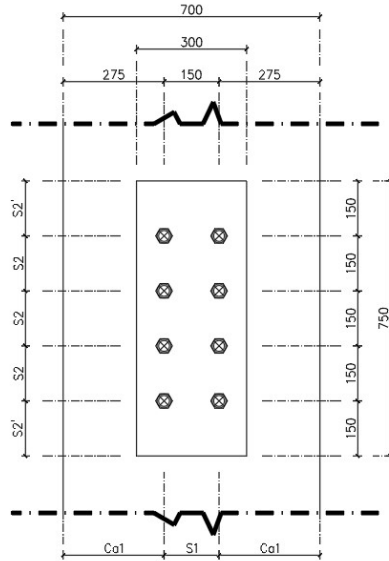
Perhitungan baut angkur terhadap tarik dan geser mengacu pada ACI 318-14M pasal 17 sesuai pada Tabel ,

Tabel 56 Kuat Baut Angkur Berdasarkan Pola Keruntuhan
(ACI 318M-14 Chapter 17)

Failure mode	Single anchor	Anchor group ^[1]	
		Individual anchor in a group	Anchor as a group
Steel strength in tension (17.4.1)	$\phi N_{sa} \geq N_{ua}$	$\phi N_{sa} \geq N_{ua,i}$	
Concrete breakout strength in tension (17.4.2)	$\phi N_{cb} \geq N_{ua}$		$\phi N_{cbg} \geq N_{ua,g}$
Pullout strength in tension (17.4.3)	$\phi N_{pn} \geq N_{ua}$	$\phi N_{pn} \geq N_{ua,i}$	
Concrete side-face blowout strength in tension (17.4.4)	$\phi N_{sf} \geq N_{ua}$		$\phi N_{sf} \geq N_{ua,g}$
Bond strength of adhesive anchor in tension (17.4.5)	$\phi N_a \geq N_{ua}$		$\phi N_a \geq N_{ua,g}$
Steel strength in shear (17.5.1)	$\phi V_{sa} \geq V_{ua}$	$\phi V_{sa} \geq V_{ua,i}$	
Concrete breakout strength in shear (17.5.2)	$\phi V_{cb} \geq V_{ua}$		$\phi V_{cbg} \geq V_{ua,g}$
Concrete pryout strength in shear (17.5.3)	$\phi V_{cp} \geq V_{ua}$		$\phi V_{cpg} \geq V_{ua,g}$

Direncanakan angkur dengan spesifikasi berikut,

- Diameter (Ø) = M33
- Panjang benam (hef) = 500 mm
- Material angkur = A36
- Tegangan leleh tarik (fy) = 250 Mpa
- Tegangan putus tarik (fu) = 400 Mpa
- Jarak horizontal angkur (S₁) = 150 mm
- Jarak vertikal angkur (S₂) = 150 mm
- Jarak angkur ke tepi kolom (C₁) = 275 mm
- Dimensi plat landas (b/h) = 300/650 mm
- Mutu beton tumpu (fc') = 30 MPa



Gambar 80 Skema Pemasangan Baut Angkur

7.3.1 Kuat Baut Angkur Terhadap Tarik

Direncanakan baut angkur M33 dengan pitch untuk M30

$$P = 3,5 \frac{mm}{ulir} \quad (\text{Tabel Ulir ISO Metrik, terlampir})$$

$$\text{Maka } n_t = \frac{1}{P} = \frac{0,285 ulir}{mm}$$

Kuat angkur baut terhadap tarik

$$\begin{aligned} A_{se,N} &= \frac{\pi}{4} (33 - 0,9382 \times n_t)^2 & (\text{A-3-6M AISC}) \\ &= \frac{\pi}{4} (33 - 0,9382 \times 0,285)^2 = 841,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$\phi = 0,75$ (untuk baja daktail A36)

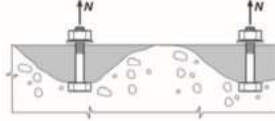
$$\begin{aligned} \phi N_{sa} &= \phi A_{se,N} \cdot f_{uta} = 0,75 \times 694,28 \times 400 \\ &= 252,44 \text{ N} \end{aligned}$$

Jika terdapat 8 buah baut angkur

$$\phi N_{sa} = 8 \times 252,44 = 2.019.500 \text{ N} = 2019,50 \text{ kN}$$

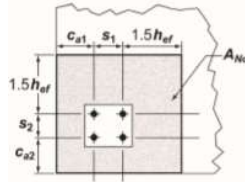
7.3.2 Kuat Jebol (Breakdown) Beton Akibat Tarik

Posisi angkur tepi $c_{a1} = 275\text{mm} < 1,5h_{ef} = 750\text{mm}$, maka pengaruh jebol beton perlu dievaluasi,



Gambar 81 Visualisasi Jebol (Breakout) Baut Sisi Tepi

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times 500^2 = 2.250.000\text{ mm}^2$$



Gambar 82 Skema Pengambilan Nilai A_{Nc}

Angkur Kelompok :

$c_{a1} < 1,5h_{ef}, s_1 < 3h_{ef}, s_2 < 3h_{ef}$ Maka

$$\begin{aligned} A_{Nc} &= (2 \times 1,5h_{ef} + 3 \times s_2) \times (2 \times c_{a1} + s_1) \\ &= (2 \times 750 + 3 \times 150) \times (2 \times 275 + 150) \\ &= 1365000\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} = \frac{1365000}{2250000} = 0,6067$$

Untuk $c_{a,min} < 1,5h_{ef}$, maka:

$$\Psi_{ed,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c_{a,min}}{1,5h_{ef}} = 0,7 + 0,3 \frac{275}{750} = 0,81$$

(ACI 318M-14 Ch. 17.4.2.5b)

$\Psi_{c,N} = 1,25$ (angkur cor ditempat)

(ACI 318M-14 Ch. 17.4.2.6(a))

$\Psi_{cp,N} = 1,0$ (untuk kasus lainnya)

(ACI 318-14M Ch. 17.4.2.7)

$\lambda_a = 1,0$ (beton normal angkur cor ditempat)

$$N_b = 10 \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{5/3}$$

(ACI 318-14M Ch. 17.4.2.2(b))

$$N_b = 10 \times 1 \times \sqrt{30} \times 500^{5/3} = 3391012,57 \text{ N}$$

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot \Psi_{ed,N} \cdot \Psi_{c,N} \cdot \Psi_{cp,N} \cdot N_b$$

(ACI 318-14M Ch. 17.4.2.1(b))

$$N_{cb} = 0,61 \times 0,81 \times 1 \times 1,25 \times 3391012,57$$

$$N_{cb} = 2082929,47 \text{ N} \approx 2082,93 \text{ kN}$$

$$\Psi_{ec,N} = 1,0 \text{ (gaya tarik di pusat berat kelompok angkur)}$$

$$N_{cbg} = \Psi_{ec,N} \times 2082,93 \text{ kN} = 2082,93 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (kondisi beton dengan tulangan)}$$

$$\phi N_{cbg} = 0,75 \times 2082,93 \text{ kN} = 1562,197 \text{ kN}$$

7.3.3 Kuat Cabut Baut Angkur Dari Beton

Kuat cabut terhadap tarik, N_p baut angkur tipe cor di tempat (baut-L atau baut-J) dapat dihitung sebagai berikut:

$$N_p = 0,9 \times f'_c \times e_h \times d_a$$

(ACI 318-14M Ch. 17.4.3.1)

Dimana:

$$e_h = 4,5d_a = 4,5 \times 33 = 148,5 \text{ mm}$$

$$\Psi_{c,p} = 1,4 \text{ beton dalam kondisi service belum retak}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (kondisi beton dengan tulangan)}$$

Maka:

$$N_p = 0,9 \times 30 \times 148,5 \times 33 = 132313 \text{ N} \approx 132,313 \text{ kN}$$

$$\phi N_{pn} = 0,75 \times 1,4 \times 132,313 = 138,93 \text{ kN}$$

$$\phi N_{pn} = 138,93 \text{ kN}$$

Jika terdapat 8 baut angkur sebagai berikut

$$\phi N_{pn} = 8 \times 138,93 = 1111,4334 \text{ kN}$$

7.3.4 Kuat Ambrol (Blowout) Muka Tepi Beton Akibat Tarik

Karena panjang benam $h_{ef} = 500 \text{ mm} < 2,5C_{a1} = 687,5 \text{ mm}$ maka menurut ACI 318-M Ch.17.4.4l pengaruh ambrol muka tepi beton tidak perlu dilakukan evaluasi.

7.3.5 Kuat Baut Angkur Akibat Geser

Kuat angkur akibat geser direncanakan sebagai berikut:

$$A_{se,V} = A_{se,N} = 841,46 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset = 0,65 \text{ (untuk baja daktail terhadap geser A36)}$$

$$f_{uta} = 400 \text{ MPa}$$

$$V_{sa} = 0,6 \times A_{se,V} \times f_{uta}$$

(ACI 318-14M Ch. 17.5.1.2b)

$$= 0,6 \times 841,46 \times 400 = 201950,39 \text{ N}$$

$$\emptyset V_{sa} = 0,65 \times 201.950,39 = 131267,75 \text{ N}$$

$$n \cdot \emptyset V_{sa} = 8 \times 131.267,75 = 1050142,02 \text{ N}$$

$$= 1.050,14 \text{ kN}$$

7.3.6 Kuat Jebol Beton Terhadap Geser

Karena $s = 150 \text{ mm} < c_{a1,1} = c_{a1} = 275 \text{ mm}$ sehingga semua gaya geser dipikul baut angkur terdapat pada luas bidang proyeksinya

$$A_{vc} = (2 \times c_{a1} + s_2)1,5c_{a1}$$

$$A_{vc} = (2 \times 275 + 150) \times 275 = 288750 \text{ mm}^2$$

$$A_{vco} = 4,5c_{a1}^2 = 4,5 \times 275^2 = 340312,5 \text{ mm}^2$$

(ACI 318-14M Ch. 17.5.2.1c)

$$\frac{A_{vc}}{A_{vco}} = \frac{288750}{340312,5} = 0,85$$

Untuk $c_{a2} \geq 1,5c_{a1}$ maka $\Psi_{ed,V} = 1,0$

$\Psi_{c,V} = 1,4$ beton dalam kondisi service belum retak

$$l_e = h_{ef} < 8d_a \text{ maka } l_e = 8d_a = 264 \text{ mm}$$

$$V_b = 0,6 \cdot \left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0,2} \cdot \sqrt{d_a} \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot C_{a1}^{1,5}$$

(ACI 318-14M Ch. 17.5.2.2a)

$$V_b = 0,6 \left(\frac{264}{33}\right)^{0,2} \times \sqrt{33} \times 1 \times \sqrt{30} \times 275^{1,5}$$

$$= 130492,6 \text{ N}$$

$\Psi_{ec,V} = 1,0$ (gaya geser di pusat berat kelompok angkur)

$\Psi_{h,V} = 1,0$ (tidak dibatasi oleh ketebalan beton)

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \times \Psi_{ec,v} \times \Psi_{ed,v} \times \Psi_{c,v} \times \Psi_{h,v} \times V_b$$

(ACI 318-14M Ch. 17.5.2.1b)

$$V_{cb} = 0,55 \times 1 \times 1 \times 1,4 \times 1 \times 130492,6 = 155009,39 \text{ N}$$

$$\phi V_{cb} = 0,75 \times 155009,39 = 116257,04 \text{ N} = 116,257 \text{ kN}$$

$$n, \phi V_{cb} = 8 \times 116,257 \text{ kN} = 930,056 \text{ kN}$$

7.3.7 Kuat Rompal (*Pryout*) Beton Terhadap Geser

$k_{cp} = 2,0$ (untuk $h_{ef} > 65 \text{ mm}$)

$$V_{cp} = k_{cp} \times N_{cp}$$

(ACI 318-14M Ch. 17.5.3.1b)

Dimana:

$$N_{cpg} = N_{cbg} = 1562197,1 \text{ N}$$

$$V_{cp} = 2 \times 1562197,1 = 3124394,2 \text{ N}$$

$$\phi V_{cp} = 0,75 \times 3124394,2 = 2343295,7 \text{ N} \approx 2343,296 \text{ kN}$$

7.3.8 Rekapitulasi Kuat Batas Angkur

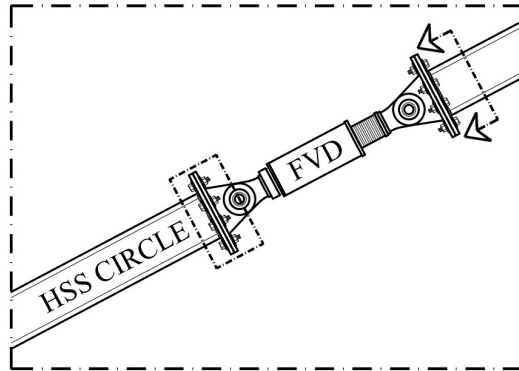
Berikut tabel rekapitulasi kuat batas angkur akibat tarik dan gaya geser yang terjadi

Tabel 57 Rekapitulasi kuat batas desain sambungan

Tipe Kapasitas Kuat Baut Angkur	Kuat Batas (kN)	Gaya Terproyeksi (kN)	Rasio
Kuat baut angkur akibat tarik	2019.50	1046.98	0.52
Kuat jebol (<i>breakout</i>) beton akibat tarik	1562.20	1046.98	0.67
Kuat cabut (<i>pullout</i>) baut angkur dari beton	1111.43	1046.98	0.94
Kuat ambrol (<i>blowout</i>) muka tepi beton akibat tarik	8650.93	2201.42	0.25
Kuat baut angkur akibat geser	1050.14	590.05	0.56
Kuat jebol (<i>breakout</i>) beton akibat geser	930.06	590.05	0.63
Kuat rompal (<i>pryout</i>) beton akibat geser	2343.30	590.05	0.25

7.4 Perhitungan Baut Angkur

Desain sambungan untuk breising *Hollow Structural Section (HSS) Circle* yang disambung pada *end plate* mengacu *AISC Design Guide 24* pasal 5.4.



Gambar 83 Skema *end plate connector* HSS-FVD

Data perencanaan yang dibutuhkan sebagai berikut :

- Diameter HSS, D = 254 mm
- Tebal HSS, t = 12,7 mm
- Diameter baut, db = M30
- Jarak baut ke tepi, b = 50 mm
- Kuat leleh end plate, F_{yp} = 240 MPa
- Kuat las, F_{Exx} = 490 MPa
- Kuat tarik baut, Rc = 400 MPa
- Gaya aksial, Pt = 1147,57 kN
- Faktor reduksi, $(c=\phi)$ = 0,9

Hitung parameter yang dibutuhkan,

$$r_1 = \frac{D}{2} + 2b = \frac{254}{2} + 2 \cdot 50 = 277 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{D}{2} + b = \frac{254}{2} + 50 = 177 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{D - t}{2} = \frac{254 - 12,7}{2} = 120,65 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln r_2/r_3 = \ln 177/120,65 = 0,383$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 2,383$$

$$f_3 = \frac{1}{2 \cdot k_1} \cdot \left(k_3 + \sqrt{k_3^3 - 4 \cdot k_1} \right) = 5,766$$

7.4.1 Tebal Minimum End Plate (tp)

$$tp \geq \sqrt{\frac{2 \cdot Pt}{c \cdot F_{yp} \cdot \pi \cdot f_3}}$$

$$tp \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 2599,41}{0,9 \cdot 240 \cdot \pi \cdot 5,766}}$$

$$tp \geq 1,153$$

Maka direncanakan pasang,

$$tp = 20 \text{ mm} \geq 1,153 \text{ mm}$$

7.4.2 Jumlah Baut (n)

$$n \geq \frac{Pt}{Rc} \cdot \left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)} \right)$$

$$n \geq \frac{2599,41}{400} \cdot \left(1 - \frac{1}{5,766} + \frac{1}{5,766 \cdot \ln(277/177)} \right)$$

$$n \geq 9,902 \text{ bh}$$

Maka direncanakan baut dipasang,

$$n = 11 \text{ bh} \geq 9,902 \text{ bh (OK)}$$

7.4.3 Tebal las minimum (w)

$$w \geq \frac{Pt \cdot \sqrt{2}}{F_{wt} \cdot \pi \cdot D}$$

$$w \geq \frac{2599,41 \cdot \sqrt{2}}{(0,6 \cdot F_{Ex}) \cdot \pi \cdot 254}$$

$$w \geq 0,016 \text{ mm}$$

Maka direncanakan menggunakan,

$$w = 10 \text{ mm} \geq 0,016 \text{ mm}$$

BAB VIII PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis Perencanaan struktur bangunan gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) yang direncanakan sesuai dengan metodologi, mempunyai kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *fluid viscous damper* dapat mereduksi gaya geser dasar yang terjadi dari kondisi eksisting yaitu untuk arah x dari 16612,94 kN menjadi 15975,89 kN, sedangkan untuk arah y dari 15285,49 kN menjadi 14727,41 kN. Penambahan damper juga dapat mereduksi simpangan antar lantai yang terjadi yaitu untuk arah x dari 86,267 mm menjadi 84.134 mm, serta untuk arah y dari 97,693 mm menjadi 90,878 mm.
2. Hasil analisa dan perhitungan mendapatkan *fluid viscous damper* yang digunakan yaitu tipe FVD-H-500-150 ITT Series dengan kapasitas 500 kN. Alat peredam ini dipasang secara diagonal atau *diagonal brace* pada sumbu lemah bangunan arah y sebanyak 20 buah yaitu di as 2 dan 9 dari lantai satu sampai enam. FVD dipasang pada frame bangunan dengan menggunakan sambungan HSS Circle untuk mendukung panjangnya yang terbatas yaitu hanya 969 mm.
3. Hasil perhitungan struktur bangunan gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang (UM) menggunakan *fluid viscous damper* adalah sebagai berikut :

Tabel 58 Rekapitulasi Penulangan Balok

Tipe	Dimensi		Tulangan Terpasang				Sengkang Terpasang		Torsi
	(mm)		Tumpuan		Lapangan				
	b	h	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	Tumpuan	Lapangan	
B1	400	800	10D25	3D25	6D25	3D25	2D13-100	2D13-150	4D13
B2	350	700	9D25	3D25	5D25	3D25	2D13-100	2D13-150	4D13
B3	300	600	4D19	2D19	3D19	2D19	2D10-200	2D10-200	2D13
B4	200	400	3D16	3D16	3D16	3D16	2D10-150	2D10-200	-
B Bordes	300	400	3D16	3D16	3D16	3D16	2D10-150	2D10-200	-
B Lift	300	500	4D19	2D19	5D19	3D19	2D10-150	2D10-150	-

Tabel 59 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe	Dimensi		Tulangan Terpasang		Lap Splice
	(mm)				
	b	h	Longitudinal	Transversal	(mm)
K1	700	700	28D25	D10-100	850
K2	600	900	32D25	D10-100	850
K3	300	300	8D19	D10-150	800

Tabel 60 Rekapitulasi Penulangan Pile Cap

REKAPITULASI PENULANGAN PONDASI							
Tipe Pondasi	Tebal Pile Cap	Dimensi Pile Cap		Tulangan Lentur Poer		Jumlah Tiang Pancang	Diameter tiang pancang
				arah X	arah Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
P1	900	2500	2500	D25-150	D25-150	4	500
P2	900	2500	4000	D25-150	D25-150	6	500

Tabel 61 Rekapitulasi Penulangan Sloof

Tipe	Dimensi		Tulangan Terpasang				Sengkang Terpasang		Torsi
	(mm)		Tumpuan		Lapangan				
	b	h	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	Tumpuan	Lapangan	
S1	400	800	4D25	4D25	4D25	4D25	2D10-200	2D10-200	-
S2	300	500	3D25	3D25	3D25	3D25	2D10-250	2D10-250	-

- Adanya alat *fluid viscous damper* serta perubahan sistem struktur dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menjadi Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) membuat perilaku bangunan menjadi lebih elastis, bangunan mampu menerima gaya gempa yang lebih besar dan kerusakan pasca gempa hanya terjadi pada bagian non strukturnya saja. Sehingga alat peredam gempa *fluid viscous damper* tetap terjaga kondisinya dan gedung masih bisa digunakan kembali.

5. Meskipun adanya perubahan sistem struktur yang cukup signifikan dari kondisi eksisting, ternyata berdasarkan analisa struktur dengan adanya penambahan alat peredam *fluid viscous damper* dalam perencanaan elemen struktur bangunan, tetap dapat menggunakan dimensi elemen struktur eksisting. Sehingga, dengan ukuran dimensi bangunan yang sama namun dengan menambah alat *fluid viscous damper* dapat membuat bangunan lebih kuat dalam menerima gaya lateral yang lebih besar.

8.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa dalam proses penyusunan Tugas Akhir Terapan ini, saran yang dapat penulis sampaikan demi kemajuan dan menambah informasi mengenai penulisan Tugas Akhir selanjutnya tentang topik ini yaitu :

1. Dilakukan analisis struktur secara dinamik *non-linear* agar dapat menentukan letak-letak kerusakan yang akan terjadi pada struktur bangunan. Sehingga dapat mempermudah dalam menentukan letak FVD dipasang agar lebih efektif dan efisien.
2. Diperlukan studi literatur dan penelitian lebih lanjut untuk menentukan model pemasangan FVD yang paling cocok digunakan pada suatu bangunan.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, Anil K. 1995. *Dynamics of Structures*. New Jersey: Prentice Hall.
- Haskell, G. dan Lee, D. (2016). *Fluid Viscous Damping as an Alternative to Base Isolation*.
- Laode Azan M. 2018. *Pengaruh Pemasangan Peredam Getaran Eksternal Tipe Viscous terhadap Kinerja Struktur Gedung*.
- Nakazawa, Kazuto. 1981. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Nur Laeli H. 2018. *Kajian Kinerja Struktur Gedung Simetris Menggunakan Peredam Tipe Fluid Viscous Dsampler*.
- 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 Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 2847, 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Paz, Mario. 1987. *Dinamika Struktur*. Jakarta : Erlangga.
- Sugeng, P.B. 2010. *Dinamika Struktur*
- Taylor, D. P. dan Duflo, P 16, 2018. *Fluid Viscous Dampers Used for Seismic Energy Dissipation in Structures*.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Denny Eric Frianto. Lahir di Surabaya pada tanggal 5 bulan Juni tahun 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kerembangan Utara II Surabaya, SMPN 2 Surabaya dan SMAN 8 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2016, penulis mengikuti tes ujian seleksi program diploma dan diterima di DIV Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS, terdaftar dengan NRP. 10111610013068. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Struktur Bangunan Gedung. Penulis sempat aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yaitu sebagai anggota Departemen *Media and Information* (MEDFO) Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) pada tahun 2017-2018 serta Ketua Departemen *Public Relation* (PR) Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Billiard pada tahun 2018-2019. Penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan kegiatan organisasi mahasiswa seperti staff *Media and Creative* (MAC) Dvillage 7-8 Edition hingga menjadi Koor publikasi dokumentasi Turnamen Mahasiswa Billiard se-Jatim dan Bali 2018. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, penulis juga aktif berwirausaha dalam bidang kuliner yaitu Katering Restu Ibu yang sering membantu memenuhi kebutuhan konsumsi kegiatan-kegiatan mahasiswa. Penulis dapat dihubungi melalui email : dennyeric56@gmail.com

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

A. Lampiran A (Data Tanah)

TESTANA ENGINEERING, Inc.

A.1.3. BORING LOG

BOREHOLE # : BH-3

PROJECT : Hotel Design.

LOCATION : Jln. Dr. Cipto No. 11, Malang.

DEPTH : -30 m

GROUND WATER LEVEL : ± 7.20 m

GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m

DEPTH m	SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST					STRENGTH TEST				ATTERBERG LIMITS					γ	Gs	eo	
		0	10	20	30	40	TYPE	c	φ	qu	0	20	40	60	80				100
0	Fill, sand, brown, trace silt.																		
1																			
2																			
3	Silt and clay, dark brown, inorganic, little sand, stiff.						UU	0.25	19	-		36	46	50			1.65	2.59	1.32
4																			
5							UU	0.30	18	-		35	46	54			1.67	2.80	1.27
6																			
7																			
8																			
9	Sand and silt, brown, little clay, loose to very dense.						QT	0.90	32	-		30	41	48			1.76	2.56	1.05
10																			
11																			
12																			
13	Silt, dark grey, some sand, stiff.																		
14																			
15																			
16	Silt and sand, brown, little clay, dense.																		
17																			
18	Silt and clay, brownish dark grey, inorganic, trace sand, medium.																		
19																			
20	Silt and sand, brown, trace clay, medium.																		
21																			
22																			
23	Sand and silt, grey, medium.																		
24																			
25																			
26	Sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense.																		
27																			
28																			
29	Sand and silt, brown, cemented at some depth, very dense.																		
30	End of Boring																		

NOTE:

0 to 10 % = Trace
10 to 20 % = Little
20 to 35 % = Some
35 to 50 % = And

 = Thin Wall
 = SPT
 = Core Sample
c = Cohesion intercept, kg/cm²
φ = Internal friction angle, deg

UU = Unconsolidated undrained
CU = Consolidated undrained
Vane = Vane shear test
SPT = Standard penetration test (blows / ft)
qu = Unconfined compression strength, kg/cm²

W = Moisture content, %
wp = Plastic limit, %
wl = Liquid limit, %
γ = Bulk density, t/m³
Gs = Specific gravity
eo = Void ratio

B. Lampiran B (Brosur Material & Alat)

- Tabel C3 ASCE 2002 untuk Berat beton

Component	Load (kN/m ²)	Component	Load (kN/m ²)
FLOORS AND FLOOR FINISHES		Clay brick wythes:	
Asphalt block (51 mm), 13 mm mortar	1.44	102 mm	1.87
Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill	1.53	203 mm	3.78
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13 mm mortar bed	0.77	305 mm	5.51
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25 mm mortar bed	1.10	406 mm	7.42
Concrete fill finish (per mm thickness)	0.023		
Hardwood flooring, 22 mm	0.19	Hollow concrete masonry unit wythes:	
Linoleum or asphalt tile, 6 mm	0.05	Wythe thickness (in mm)	102 152 203 254 305
Marble and mortar on stone-concrete fill	1.58	Density of unit (16.49 kN/m ³)	
Slate (per mm thickness)	0.028	No grout	1.05 1.29 1.68 2.01 2.35
Solid flat tile on 25 mm mortar base	1.10	1219 mm	1.48 1.92 2.35 2.78
Subflooring, 19 mm	0.14	1016 mm grout	1.58 2.06 2.54 3.02
Terrazzo (38 mm) directly on slab	0.91	813 mm spacing	1.63 2.15 2.68 3.16
Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill	1.53	610 mm	1.77 2.35 2.92 3.45
Terrazzo (25 mm), 51 mm stone concrete	1.53	406 mm	2.01 2.68 3.35 4.02
Wood block (76 mm) on mastic, no fill	0.48	Full grout	2.73 3.69 4.69 5.70
Wood block (76 mm) on 13 mm mortar base	0.77	Density of unit (125 pcf):	
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)		No grout	1.25 1.34 1.72 2.11 2.39
DOUBLE WOOD FLOOR		1219 mm	1.58 2.11 2.59 2.97
Joist sizes	305 mm 406 mm 610 mm	1016 mm grout	1.63 2.15 2.68 3.11
(mm):	spacing spacing spacing	813 mm spacing	1.72 2.25 2.78 3.26
51 × 152	0.29 0.24 0.24	610 mm	1.87 2.44 3.02 3.59
51 × 203	0.29 0.29 0.24	406 mm	2.11 2.78 3.50 4.17
51 × 254	0.34 0.29 0.29	Full grout	2.82 3.88 4.88 5.89
51 × 305	0.38 0.34 0.29	Density of unit (21.21 kN/m ³)	
FRAME PARTITIONS		No grout	1.39 1.68 2.15 2.59 3.02
Movable steel partitions	0.19	1219 mm	1.58 2.39 2.92 3.45
Wood or steel studs, 13 mm gypsum board each side	0.38	1016 mm grout	1.72 2.54 3.11 3.69
Wood studs, 51 × 102, unplastered	0.19	813 mm spacing	1.82 2.63 3.26 3.83
Wood studs, 51 × 102, plastered one side	0.57	610 mm	1.96 2.82 3.50 4.12
Wood studs, 51 × 102, plastered two sides	0.96	406 mm	2.25 3.16 3.93 4.69
FRAME WALLS		Full grout	3.06 4.17 5.27 6.37
Exterior stud walls:		Solid concrete masonry unit wythes (incl. concrete brick):	
51 mm × 102 mm @ 406 mm, 16 mm gypsum,	0.53	Wythe thickness (in mm)	102 152 203 254 305
insulated, 10 mm siding		Density of unit (16.49 kN/m ³):	1.53 2.35 3.21 4.02 4.88
51 mm × 152 mm @ 406 mm, 16 mm gypsum,		Density of unit (19.64 kN/m ³):	1.82 2.82 3.78 4.79 5.79
insulated, 10 mm siding	0.57	Density of unit (21.21 kN/m ³):	1.96 3.02 4.12 5.17 6.27
Exterior stud walls with brick veneer	2.30		
Windows, glass, frame and sash	0.38		

* Weights of masonry include mortar but not plaster. For plaster, add 0.24 kN/m² for each face plastered. Values given represent averages. In some cases, there is a considerable range of weight for the same construction.

- Berat dinding Bata ringan brosur (CITICON)

CITICON BATA RINGAN	
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/m ³
Berat jenis normal, [ρ]	: 600 kg/m ³
Kuat tekan, [σ]	: ≥ 4.0 N/mm ²
Konduktivitas termal, [λ]	: 0.14 w/mK
Tebal	mm 75 100 125 150 175 200
Luas Dinding / m ²	m ² 13.33 10.00 8.00 6.67 5.71 5.00
Isi / m ³	Dok 111.11 83.33 66.67 55.56 47.62 41.67
Citicon Light Concrete Technical Specifications	
Length, L [mm]	: 600
Height, H [mm]	: 200; 400
Thick, T [mm]	: 75; 100; 125; 150; 175; 200
Dry Density, [ρ]	: 530 kg/m ³
Field Density, [ρ]	: 600 kg/m ³
Compressive Strength, [σ]	: ≥ 4.0 N/mm ²
Thermal Conductivity, [λ]	: 0.14 w/mK
Track	mm 75 100 125 150 175 200
Wall Area / m ²	m ² 13.33 10.00 8.00 6.67 5.71 5.00
Contents / m ³	Block 111.11 83.33 66.67 55.56 47.62 41.67

- Beban Keramik dari Arwana Ceramics tipe AR 3867 BK

Technical Data

Description	Unit	Tile Size 40 x 40	Tile Size 50 x 50	Tile Size 100 x 100	Tile Size 150 x 150	Tile Size 200 x 200	Tile Size 300 x 300
Size Tolerance	%	-0.4 +0.3	-0.13 +0.07	max ± 0.5	-0.4 +0.3	-0.4 +0.3	max ± 0.5
Thickness Tolerance	%	-2.0 +0.1	-1.0 +1.5	max ± 5.0	-4.5 +5	-2.8 +2.8	max ± 10
Rectangularity	%	-0.1 +0.2	-0.3 +0.3	max ± 0.4	-0.3 +0.3	-0.3 +0.3	max ± 0.5
Straightness of Side	%	-0.3 +0.1	-0.3 +0.1	max ± 0.5	-0.3 +0.1	-0.3 +0.3	max ± 0.3
Surface Flatness a. Center Curvature	%	+0.2	+0.3	max ± 0.5	+0.3	-0.3 +0.5	max ± 0.5
b. Edge Curvature	%	+0.2	+0.3	max ± 0.5	+0.3	-0.3 +0.5	max ± 0.3
c. Wapsize	%	-0.2 +0.2	-0.2 +0.3	max ± 0.5	+0.5	-0.5 +0.5	max ± 0.5
Modulus of Rupture	N/mm ²	38.33	28.06	min 8	25	21	min 15
Breaking Strength							
a. Thickness < 7.5 mm	N	-	833	min 500	>200	500	min 300
b. Thickness > 7.5 mm	N	585	-	-	-	-	-
Water Absorption	%	0 ± 1 ± 10	0 ± 1 ± 10	0 ± 1 ± 10	0 ± 1 ± 10	0 ± 10	0 ± 10
Abrasion Resistance		class 3 1200 cycles passed	class 3 1200 cycles passed	class 3 1500 cycles passed	class 3 1500 cycles passed		
Grading Resistance		required 15 bar	required 15 bar	there must be no tracing	required 15 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 GMS GA	GLA GMS GA	GLA GMS GA	class 4 GLA GMS	GLA GMS	
Coefficient of Friction							
a. FR		0.20	0.60				
b. FAL		0.40	0.40				
c. FDL		0.00	0.60				
d. FWH		0.40	0.40				

ARWANA Ceramic Tiles Pricing Information

Size (mm)	QTY. PER BOX	M ² /BOX	Wt./KG/BOX
30 X 30	25	1	13 - 14
30 X 30	30	1	13
30 X 30	33	1	14 - 15
40 X 40	6	1	15.5 - 16.5

- Beban Plafon Kalsiboard dari Brosur GRC Board

Data Teknis

Kriteria standar yang digunakan: **GRC board** dan **PERPARAK**

Jenis Tipe	Tebal	Massa Tipe
Puang Densit	2 - 100'	1,2
Kapasitas Lembar	kg / m ²	180
Merkuri Elastisitas	kg / m ²	3 - 8 x 10 ³
Kelembutan	mm	150
Impact	2 x 8 mm	110
Pergerakan Air	%	50
Pergerakan Benda	%	0,15
Pergerakan Panas	kg / m ² / °C	0,20
Ketahanan Api	-	tidak

Ukuran:

Kategori	Kategori	Berat (kg)	Dimensi (mm)	Dimensi (mm)
1	1 0 0	180	1200 x 2400	1200 x 2400
2	2 0 0	200	1200 x 2400	1200 x 2400
3	3 0 0	240	1200 x 2400	1200 x 2400
4	4 0 0	300	1200 x 2400	1200 x 2400
5	5 0 0	400	1200 x 2400	1200 x 2400

Kriteria standar yang digunakan: **PERPARAK** dan **PERPARAK**

Jenis Tipe	Tebal	Massa Tipe
Puang Densit	2 - 100'	1,2
Kapasitas Lembar	kg / m ²	180
Merkuri Elastisitas	kg / m ²	3 - 8 x 10 ³
Kelembutan	mm	150
Impact	2 x 8 mm	110
Pergerakan Air	%	50
Pergerakan Benda	%	0,15
Pergerakan Panas	kg / m ² / °C	0,20
Ketahanan Api	-	tidak

Ukuran:

Kategori	Kategori	Berat (kg)	Dimensi (mm)	Dimensi (mm)
1	1 0 0	180	1200 x 2400	1200 x 2400
2	2 0 0	200	1200 x 2400	1200 x 2400
3	3 0 0	240	1200 x 2400	1200 x 2400
4	4 0 0	300	1200 x 2400	1200 x 2400
5	5 0 0	400	1200 x 2400	1200 x 2400

Kelebihan & Keuntungan:

- Hemat dalam pemasangan
- Tidak perlu dipaku
- Permukaan rata/halus
- Mudah dipaku & disekrup
- Tingkat kestabilan dimensi baik
- Hemat waktu pemasangan

Hubungi :

PASTIKAN ADANYA STEMPER DAN LOGO PADA SETIAP PRODUK KAMI

GRC board
Ahlunya Papan Semen

Diproduksi oleh : PT. Bangunpasta Adhiantas

- Beban partisi Plafon tipe 8 dari brosur Kalsipart 8

Aplikasi partisi

KalsiPart 8®

Informasi umum produk

KALSIPart 8 adalah papan untuk aplikasi dinding dalam / partisi dengan ketebalan 8 mm. Sambungan antara papan KALSIPart 8 diaplikasikan dengan sistem sambungan terbuka atau sambungan tertutup dengan menggunakan KALSIPart 8 Kompon IN-F dan KALSIPart 8 FG-50. KALSIPart 8 diaplikasikan pada rangka baja KALSIFrame MT-51 dan KALSIFrame MS-51 yang dipasang sesuai rekomendasi KALSIPart 8 sehingga didapat suatu sistem partisi lengkap yang memiliki daya tahan yang baik. Sistem partisi KALSIPart 8 adalah sistem partisi yang memiliki kualitas yang tinggi dan kokoh karena telah lulus uji tes laboratorium berstandar internasional untuk performa akustik, kekuatan mekanis, dan ketahanan akan api. KALSIPart 8 juga tersedia dalam varian sudut reses 2 dan 4 (KALSIPart 8-R2 & KALSIPart 8-R4). Pastikan Anda mendapatkan produk KALSIPart 8 yang asli dengan memeriksa label printing KALSIPart 8 di tiap sisinya.

Ukuran standar KALSIPart 8

*Berat rata-rata 1 m² adalah 11,4 kg

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)
8	1220	2440	33,8
8	1200	2400	32,2
* 8	1200	2700	36,8
8	1200	3000	40,9

*Ukuran yang diproduksi berdasarkan pesanan

- Beban plester dan acian dari brosur DRYMIX



DINDING

◆ Plester D200

- Digunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan batu.
- Ketebalan aplikasi 8-10 mm.
- Menawarkan daya rekat dan workability yang baik.
- Daya rekat rata-rata 0,8-0,9 N/mm².



40kg

Acian dinding dan plester

◆ Acian S100

- Alternatif untuk mudi.
- Cocok untuk interior interior.
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut.
- Daya rekat rata-rata 10-12 N/mm².



30kg

◆ Acian NP S430

- Semen instan.
- Cat putih instan.
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut.
- Daya rekat rata-rata 10-12 N/mm².
- 5,7 hari bisa langsung di cat.



30kg

Acian dinding plester dan beton

◆ SKIMCOAT S200

- Dapat rekat tinggi untuk beton dengan permukaan kasar.
- Mengurangi retak.
- Daya rekat rata-rata 10-12 N/mm².



30kg

◆ SKIMKOT PUTIH S300

- Acian putih untuk plester dan beton dengan kasar.
- Mengurangi retak.
- Tahan panas dan dingin.
- Menghemat cat.
- Daya rekat rata-rata 10-12 N/mm².



30kg

◆ Thinbed 101 TB101

- Produk bata ringan dengan sekatan.
- Waktu pengeringan 2-3 hari.
- Menawarkan daya rekat yang baik.
- Daya rekat rata-rata 10-12 N/mm².
- Dapat digunakan untuk pasangan.



40kg

◆ Plester Ringan 1.6 S130

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (pink coat) dengan daya rekat rata-rata 10-12 N/mm².
- Plester aci instan.
- Daya rekat rata-rata 4,5-5,5 N/mm².
- Waktu pengeringan 2-3 hari.
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan.



50kg



◆ Concrete Fill R300

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perambatan dinding plester untuk permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi rongga pada beton, celah, atau panel.
- Ketebalan aplikasi 3-15 mm.



25kg / 40kg

◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia 115, 4.225, 4.100.



50kg

◆ Bonding Agent

Bonding untuk beton dan mortar



1L

www.drymix.co.id

- Beban acian dari brosur DRYMIX NPS45



DATA TEKNIS

SPESIFIKASI TEKNIS (EN 998-1)

Bentuk	Bubuk
Compressive Strength @ 28 days (BS EN 1015-11)	4-10 Mpa
Pull Off Strength (BS EN 1015-12)	> 0,3 N/mm ²
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

1. Dinding Eksterior dan dinding Interior.
2. Permukaan Beton dan plester.

PENYIMPANAN

Simpan selalu di tempat yang kering dan jauh dari genangan air serta udara yang lembab.



PENGEPAKAN

Dikemas dengan berat 30kg.



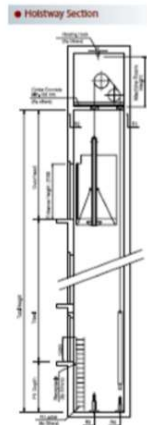
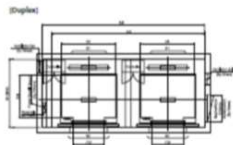
DIPRODUKSI OLEH: PT. DRYMIX INDONESIA - JAKARTA
Ph : (021) 8379 3738 | Made in Indonesia

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

- Brosur Lift

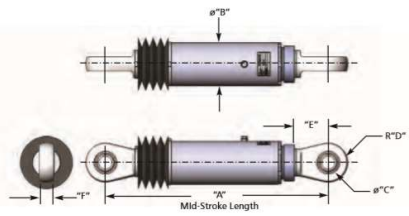


- Brosur *Fluid Viscous Damper* (FVD)

Fluid Viscous Damper
FVD-H Series

Technical Data

The FVD-H Series dampers are typically utilized on building applications, mounted indoors, where the damper is not under constant vibration or movement.



Catalog No./Model	Max. Damping Force (kN)	Stroke ±5 (mm)	Pin-Pin or Mid-Stroke ±5 (mm)	Max. O.D. "B" (mm)	Mounting Pin Diameter "C" (mm)	Clearance Radius "D" (mm)	Clears Depth "E" (mm)	Clears/Flange Width "F" (mm)	Unit Weight (kg)
FVD-H-500-150	500	75	969	147	51	70	89	48	80
FVD-H-750-150	750	75	1020	178	64	86	112	58	125
FVD-H-1000-150	1000	75	1070	201	77	104	134	67	172
FVD-H-1500-150	1500	75	1140	248	89	120	156	77	274
FVD-H-2000-150	2000	75	1210	286	102	125	178	86	385

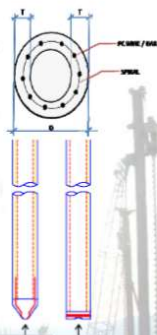
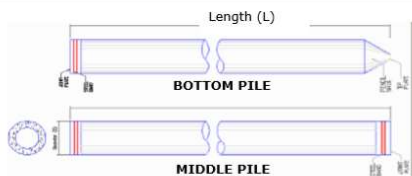
Note 1: Various stroke lengths available. The Pin-Pin or mid-stroke position can be determined by adding 1 to the stroke length design.
 Note 2: Velocity exponent is available from 1.1 to 1.8.
 Note 3: Weight and dimensions are for reference only. Consult FVD Industries Inc. for detailed information before placing order.
 Note 4: Additional designs and configurations are available based on project specifications.

Damping Characteristics $F = CV^n$

F: Damping Force, kN
 V: Relative Velocity, m/sec
 C: Damping Coefficient, kN/(m/sec)ⁿ
 n: Velocity Exponent

- Brosur Tiang Pancang

Shape and Dimension



Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.00
		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	18.80	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	35.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50
800	120	A1	2564	641	6 - 24	40.70	63.60	415.00
		A2				46.20	84.40	406.20
		A3				51.00	97.80	398.20
		B				55.70	108.20	390.80
		C				70.60	129.80	367.60
1000	140	A1	3872	948	6 - 24	75.00	117.90	614.00
		A2				82.30	139.80	604.80
		A3				93.30	170.90	590.60
		B				105.70	198.70	575.00
		C				123.60	229.90	552.90
1200	150	A1	4948	1237	6 - 24	120.00	180.00	802.40
		A2				130.00	195.00	794.00
		A3				145.00	217.50	776.10
		B				170.00	306.00	751.50
		C				200.00	400.00	721.10

- Katalog HSS (*GRP Steel*)

Outside Diameter		Thickness																					
inch	mm	6	8	9	10	11	12	12.7	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22					
8	203.2	29.18	38.51	43.10	47.64	52.14	56.58	59.66	60.97	65.32	69.62	73.86	78.06	82.21	86.31	90.35	-	-					
10	254	36.69	48.53	54.38	60.17	65.92	71.61	75.57	77.26	82.86	88.41	93.91	99.36	104.21	110.11	115.41	-	-					
12	304.8	44.21	58.55	65.65	72.70	79.70	86.61	91.48	93.55	100.40	107.2	113.95	120.65	127.30	133.91	140.46	-	-					
14	355.6	51.73	68.57	76.92	85.22	93.48	101.68	107.39	109.83	117.93	125.99	133.99	141.95	149.85	157.71	165.52	-	-					
16	406.4	59.24	78.60	88.20	97.75	107.26	116.71	123.30	126.12	135.47	144.78	154.04	163.24	172.40	181.51	190.57	-	-					
18	457.2	66.76	88.62	99.47	110.28	121.04	131.74	139.21	142.40	153.01	163.57	174.08	184.54	194.95	205.31	215.63	-	-					
20	508	74.28	98.64	110.75	122.81	134.82	146.78	155.12	158.69	170.55	182.36	194.12	205.84	217.50	229.12	240.68	-	-					
22	558.8	81.79	108.66	122.02	135.33	148.60	161.81	171.03	174.97	188.09	201.15	214.17	227.13	240.05	252.92	265.74	-	-					
24	609.6	89.31	118.68	133.30	147.86	162.38	176.84	186.94	191.26	205.62	219.94	234.21	248.43	262.60	276.72	290.79	-	-					
26	660.4	96.83	128.71	144.57	160.39	176.16	191.87	202.85	207.54	223.16	238.73	254.25	269.73	285.15	300.52	315.85	-	-					
28	711.2	104.34	138.73	155.85	172.92	189.94	206.91	218.76	223.83	240.70	257.52	274.30	291.02	307.70	324.32	340.90	-	-					
30	762	111.86	148.75	167.32	185.44	203.72	221.94	234.67	240.11	258.24	276.32	294.34	312.32	330.25	348.13	365.95	-	-					
32	812.8	119.37	158.77	178.40	197.97	217.50	236.97	250.58	256.40	275.78	295.11	314.39	333.62	352.80	371.93	391.01	-	-					
34	863.6	126.89	168.79	189.67	210.50	231.28	252.01	266.49	272.69	293.32	313.90	334.43	354.91	375.34	395.73	416.06	-	-					
36	914.4	134.41	178.81	200.94	223.03	245.06	267.04	282.40	288.97	310.85	332.69	354.44	376.21	397.89	419.53	441.12	-	-					
38	965.2	141.92	188.84	212.22	235.55	258.84	282.07	298.31	305.26	328.38	351.48	374.52	397.50	420.44	443.33	466.17	-	-					

Weight/M (Kg/M) = (OD-T)xTx0.2466

■ Not Available Size

OD = Outside Diameter (mm)

T = Thickness (mm)