

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN STRUKTUR ATAS
GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Disusun Oleh :

Annisa Kusumaningrum
NIM : 3.02.018.00022

Elok Durrotunnaimah
3.02.018.00055

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2022



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp.(024)6583584 Ext.507 Semarang 50112

**HALAMAN PENGESAHAN
PERANCANGAN STRUKTUR ATAS
GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

Diajukan Oleh :



Annisa Kusumaningrum
NIM : 3.02.018.00022



Elok Durrotunnaimah
NIM : 3.02.018.00055

Telah disetujui dan disahkan di Semarang **27** Januari 2022

Tim Penguji

1. Dr. Ir. H. Sumirin, MS
2. Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D
3. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp.(024)6583584 Ext.507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor : 07 / A.2 / SA – T / IX / 2021

Pada hari ini, Senin tanggal Januari 2022 berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, MS
Jabatan Akademik : Lektor
2. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

Nama : Annisa Kusumaningrum Nama : Elok Durrotunnaimah
NIM : 3.02.018.00022 NIM : 3.02.018.00055

Judul : Perancangan Struktur Atas Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dengan Tahapan Sebagai Berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	9 September 2021	ACC
2	Proposal		ACC
3	Pengumpulan data		ACC
4	Analisis data		ACC
5	Penyusunan laporan		ACC
6	Selesai laporan	17 Januari 2022	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. H. Sumirin, MS

Dosen pembimbing II

Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : ANNISA KUSUMANINGRUM

NIM : 30201800022

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **Perancangan Struktur Atas Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Dengan surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, 27 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Annisa'.

Annisa Kusumaningrum

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : ELOK DURROTUNNAIMAH

NIM : 30201800055

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **Perancangan Struktur Atas Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Dengan surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, 27 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

Elok Durrotunnaimah

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : ANNISA KUSUMANINGRUM
NIM : 30201800022
JUDUL : PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG FAKULTAS
KEDOKTERAN GIGI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 27 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



Annisa Kusumaningrum

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : ELOK DURROTUNNAIMAH
NIM : 30201800055
JUDUL : PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG FAKULTAS
KEDOKTERAN GIGI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 27 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



Elok Durrotunnaimah

MOTTO

- Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan (QS. Al Insyirah : 5–6).
- Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kemampuannya (QS. Al Baqarah : 286).
- Janganlah kamu bersikap lemah, dan janganlah (pula) kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang-orang yang beriman (QS. Ali ‘Imran : 139).
- “Yakinlah ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran (yang kau jalani) yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa pedihnya rasa sakit” (Iman Ali Bin Abu Thalib AS).



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Sumar Sutrisno dan Ibu Dyah Wiranti Purwaningrum, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Adik saya, Rakhmawati Puspaningrum yang telah memberikan semangat, motivasi, dukungan dan do'a agar terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS. dan Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., PH.D selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini, aplikasi ETABS dan perhitungan struktur.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Elok Durrotunnaimah selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman saya Mar'atul Ulya, Grace Amelia, Ersya Prasetyati, Distya Fitriani, Diah Putri Nugraheni, Mashithoh Qurrata A'yun, Muhammad Farid Azza, Muhammad Habiburrahman, Nurusy Syabbab, Ananda Widitomo Puntoadi yang telah membantu dan memberikan semangat dalam berbagai hal.
7. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2018 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Annisa Kusumaningrum

30201800022

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Nadhiri dan Ibu Kholifah, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Kakak saya, Taufik Ziaul Haq dan Puji Astutik serta adik saya, Wafa Ainul Yaqin yang telah memberikan semangat, motivasi, dukungan dan do'a agar terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS. dan Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., PH.D selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini, aplikasi ETABS dan perhitungan struktur.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Annisa Kusumaningrum selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Mas Pinter Pilih Utomo yang telah membantu dan memberikan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman saya Ersya Prasetyati, Distya Fitriani, yang telah membantu dan memberikan semangat dalam berbagai hal.
8. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2018 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Elok Durrotunnaimah

30201800055

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Strata 1 (S-1) Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama menyelesaikan tugas akhir dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua kami yang telah banyak memberikan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini serta senantiasa memberikan doa, semangat dan dukungan moral, material maupun spiritual dengan penuh kasih sayang dan pengorbanan.
3. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Yth. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin., MS, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
6. Yth. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semarang, Januari 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xx
ABSTRAK	xxiii
ABSTRACT	xxiv
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Tugas Akhir	2
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Persyaratan Struktur Tahan Gempa	4
2.2.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan	4
2.2.2 Klasifikasi Situs	8
2.2.3 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget	8
2.2.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain	10
2.2.5 Spektrum Respon Desain	10

2.2.6	Kategori Desain Seismik	12
2.2.7	Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah yang Berbeda	12
2.2.8	Batasan Periode Fundamental	13
2.2.9	Geser Dasar (<i>Base Shear</i>) Seismik	15
2.2.10	Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai	15
2.2.11	Klasifikasi Struktur Ketidakberaturan	18
2.2.12	Analisis Spektrum Respon Ragam	21
2.2.13	Kombinasi Pembebanan	22
2.2.14	Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa	22
2.3	Struktur Rangka Pemikul Momen	23
2.3.1	Sistem Lentur Rangka Momen	23
2.4	Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	25
2.5	Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	27
2.6	Pelat	28
2.7	Dinding Geser	29
2.8	<i>Joint</i> Rangka Momen Khusus (Hubungan Kolom – Balok)	31
2.9	Persyaratan <i>Tie Beam</i> (<i>Sloof</i>) Sebagai Pengikat Fondasi	31

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

3.1	Pengumpulan Data	32
3.2	Langkah–Langkah Perancangan	32
3.3	Diagram Alir	34
3.4	Standar yang Digunakan	35
3.5	<i>Software</i> yang Digunakan	35

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Mutu Bahan Struktur	36
4.2	Pra Dimensi dan Permodelan Struktur	36
4.2.1	Pra Dimensi Elemen Struktur	36
4.2.2	Permodelan Struktur	40
4.2.3	Permodelan Menggunakan ETABS V18	43
4.3	Formulasi Pembebanan Struktur	57

4.4 Analisis Beban Seismik	57
4.4.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa	57
4.4.2 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan	58
4.4.3 Klasifikasi Situs	58
4.4.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget	58
4.4.5 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain	59
4.4.6 Spektrum Respon Desain	59
4.4.7 Kategori Desain Seismik	60
4.4.8 Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai	60
4.4.9 Analisa Dinamik Getaran	61
4.4.10 Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa	63
4.5 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat	69
4.6 Pengecekan P – Delta	70
4.7 Pengecekan Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal	71
4.7.1 Ketidakberaturan Horizontal	71
4.7.2 Ketidakberaturan Vertikal	72
4.8 Perancangan Pelat	75
4.8.1 Identifikasi Pelat Lantai	75
4.8.2 Cek Ketebalan Pelat Lantai	76
4.8.3 Perhitungan Momen dan Penulangan Pelat Lantai	81
4.9 Perancangan Balok	87
4.9.1 Perhitungan Tulangan Balok	87
4.9.2 Perhitungan Tulangan Torsi	111
4.9.3 Perhitungan Tulangan Geser	116
4.10 Perancangan Kolom	121
4.10.1 Diagram Gaya–Gaya dalam Kolom	121
4.10.2 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Longitudinal	123
4.10.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal	125
4.10 Perancangan Dinding Geser	131
4.11 Hubungan Balok – Kolom	139
4.12 Perancangan <i>The Beam (Sloof)</i>	141

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	144
5.2 Saran	145

DAFTAR PUSTAKA	146
-----------------------------	------------

DAFTAR LAMPIRAN	147
------------------------------	------------



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum Respon Desain	11
Gambar 2.2 Menentukan Waktu Getar Alami Struktur	15
Gambar 2.3 Simpangan Antar Tingkat	16
Gambar 2.4 Ketidakberaturan Horizontal	19
Gambar 2.5 Ketidakberaturan Vertikal	21
Gambar 2.6 Syarat Dimensi Balok SRPMK	25
Gambar 2.7 Syarat Tulangan Transversal Balok SRPMK	26
Gambar 2.8 Konsep <i>Strong Column Weak Beam</i>	27
Gambar 2.9 Detail Penulangan Kolom	28
Gambar 2.5 Ketidakberaturan Vertikal	27
Gambar 3.1 Diagram Alir	35
Gambar 4.1 Gambar 3D Permodelan Struktur	40
Gambar 4.2 Permodelan Lantai 1	40
Gambar 4.3 Permodelan Lantai 2	41
Gambar 4.4 Permodelan Lantai 3	41
Gambar 4.5 Permodelan Lantai 4	42
Gambar 4.6 Permodelan Lantai 5	42
Gambar 4.7 Permodelan Lantai Atap	43
Gambar 4.8 <i>Input Material Properties</i>	44
Gambar 4.9 <i>Input Balok G1 400 x 800</i>	45
Gambar 4.10 <i>Input Balok G2 400 x 700</i>	45
Gambar 4.11 <i>Input Balok G3 300 x 700</i>	46
Gambar 4.12 <i>Input Balok G4 300 x 500</i>	46
Gambar 4.13 <i>Input Balok G5 300 x 400</i>	47
Gambar 4.14 <i>Input Balok B1 250 x 600</i>	47
Gambar 4.15 <i>Input Balok B2 250 x 500</i>	48
Gambar 4.16 <i>Input Balok B3 250 x 400</i>	48
Gambar 4.17 <i>Input Balok B4 200 x 400</i>	49
Gambar 4.18 <i>Input Balok B5 150 x 300</i>	49

Gambar 4.19 <i>Input Stiffness Modification Factors Balok</i>	50
Gambar 4.20 <i>Input Kolom K1 700 x 700</i>	50
Gambar 4.21 <i>Input Kolom K2 600 x 600</i>	51
Gambar 4.22 <i>Input Kolom K3 500 x 500</i>	51
Gambar 4.23 <i>Input Stiffness Modification Factors Kolom</i>	52
Gambar 4.24 <i>Input Pelat 120 mm</i>	52
Gambar 4.25 <i>Input Stiffness Modification Factors Pelat</i>	53
Gambar 4.26 <i>Input Dinding Geser (Shear Wall)</i>	53
Gambar 4.27 <i>Input Stiffness Modification Factors Dinding Geser</i>	54
Gambar 4.28 Penambahan Fungsi Respons Spektrum	55
Gambar 4.29 Penambahan <i>Load Case Data</i> Respon Spektrum Arah X	56
Gambar 4.30 Penambahan <i>Load Case Data</i> Respon Spektrum Arah Y	56
Gambar 4.31 Grafik Nilai Spektrum Respon Desain	60
Gambar 4.32 <i>Shear Comparisson to X Axis</i>	68
Gambar 4.33 <i>Shear Comparisson to Y Axis</i>	69
Gambar 4.34 Panjang Pelat Lantai yang Direncanakan	75
Gambar 4.35 Perencanaan Inersia Balok dan Pelat Lantai	76
Gambar 4.36 Distribusi Regangan dan Tegangan Pelat Lantai	82
Gambar 4.37 Detail Penulangan Pelat Lantai	87
Gambar 4.38 Denah Balok Lantai 1	87
Gambar 4.39 <i>Mu dan Vu Tumpuan Kiri Balok Pada ETABS</i>	89
Gambar 4.40 <i>Mu dan Vu Tumpuan Kanan Balok Pada ETABS</i>	89
Gambar 4.41 <i>Mu dan Vu Lapangan Balok Pada ETABS</i>	90
Gambar 4.42 Torsi Pada ETABS	111
Gambar 4.43 Detail Penulangan Balok 40 x 80 cm	114
Gambar 4.44 Geser Tumpuan Kiri Pada ETABS	116
Gambar 4.45 Geser Tumpuan Kanan Pada ETABS	116
Gambar 4.46 <i>Output Aksial Pada ETABS</i>	121
Gambar 4.47 <i>Output Momen M3 Pada ETABS</i>	121
Gambar 4.48 <i>Output Momen M2 Pada ETABS</i>	122
Gambar 4.49 <i>Output Geser Pada ETABS</i>	122
Gambar 4.50 Diagram Interaksi <i>P – M3</i> Pada Kolom	123

Gambar 4.51 <i>Output</i> Diagram Interaksi Kolom Bawah	124
Gambar 4.52 <i>Output</i> Diagram Interaksi Kolom Desain	124
Gambar 4.53 <i>Output</i> Diagram Interaksi Kolom Atas	125
Gambar 4.54 Diagram Interaksi $P_n - M$ SP <i>Column</i> Kolom Bawah 1,25 F_y	128
Gambar 4.55 Hasil Analisis Interaksi $P_n - M$ SP <i>Column</i> Kolom Bawah 1,25 F_y	128
Gambar 4.56 Hasil Analisis Interaksi $P_n - M$ SP <i>Column</i> Kolom Atas 1,25 F_y	128
Gambar 4.57 Detail Penulangan Kolom 70 x 70 cm	130
Gambar 4.58 Hasil <i>Output</i> Analisis Program SP <i>Column</i> Dinding Geser	134
Gambar 4.59 Diagram Interaksi <i>The Beam (Sloof)</i>	142



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	5
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa	7
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs	8
Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a	9
Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v	10
Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	12
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	12
Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	13
Tabel 2.9 Koefisien Pembatas Periode Getar Struktur	14
Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	14
Tabel 2.11 Simpangan Antar Tingkat Izin	17
Tabel 2.12 Ketidakberaturan Horizontal	18
Tabel 2.13 Ketidakberaturan Vertikal	20
Tabel 2.14 Tebal Minimum Pelat Dua Arah	29
Tabel 2.15 Tulangan Minimum Dinding Geser	30
Tabel 3.1 Tulangan Minimum Dinding Geser	35
Tabel 4.1 Dimensi Balok yang Digunakan Pada Struktur Gedung	36
Tabel 4.2 Dimensi Kolom yang Digunakan Pada Struktur Gedung	38
Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah	38
Tabel 4.4 Dimensi Pelat yang Digunakan Pada Struktur Gedung	39
Tabel 4.5 Dimensi Dinding Geser yang Digunakan Pada Struktur Gedung	39
Tabel 4.6 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan	58
Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget	59
Tabel 4.8 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain	59
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Beban Tiap Lantai	61
Tabel 4.10 Bentuk Ragam dan Periode Getar ETABS	62
Tabel 4.11 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan	63

Tabel 4.12 <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Statik	66
Tabel 4.13 <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Dinamik	66
Tabel 4.14 Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik	67
Tabel 4.15 <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Setelah Pembesaran Gaya Gempa	67
Tabel 4.16 <i>Output</i> Gaya Geser Gempa Arah X	68
Tabel 4.17 <i>Output</i> Gaya Geser Gempa Arah Y	68
Tabel 4.18 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah X	70
Tabel 4.19 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah Y	70
Tabel 4.20 Pengecekan P – Delta Arah X	71
Tabel 4.21 Pengecekan P – Delta Arah Y	71
Tabel 4.22 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah X	72
Tabel 4.23 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah Y	72
Tabel 4.24 Ketidakberaturan Vertikal (Tipe 1a) Arah X	73
Tabel 4.25 Ketidakberaturan Vertikal (Tipe 1a) Arah Y	73
Tabel 4.26 Ketidakberaturan Vertikal (Tipe 1b) Arah X	74
Tabel 4.27 Ketidakberaturan Vertikal (Tipe 1b) Arah Y	74
Tabel 4.28 Ketidakberaturan Berat (Massa)	74
Tabel 4.29 Dimensi Perencanaan Inersia Lebar Efektif Balok	76
Tabel 4.30 Dimensi Perencanaan Inersia Pelat Lantai	76
Tabel 4.31 Detail Penulangan Pelat Lantai Tumpuan dan Lapangan	86
Tabel 4.32 Besaran Gaya–Gaya Dalam Balok 40 x 80 cm	90
Tabel 4.33 Momen Tumpuan dan Lapangan Balok 40 x 80 cm	110
Tabel 4.34 Detail Penulangan Balok 40 x 80 cm	114
Tabel 4.35 Detail Penulangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi	115
Tabel 4.36 Gaya Geser Dalam Balok 40 x 80 cm	117
Tabel 4.37 Gaya Aksial dan Momen Kolom 70 x 70 cm	122
Tabel 4.38 Detail Penulangan Kolom 70 x 70 cm	131
Tabel 4.39 Detail Penulangan Kolom Gedung Fakultas Kedokteran Gigi	131
Tabel 4.40 Data Rencana Dinding Geser	131
Tabel 4.41 Gaya Aksial dan Momen Dinding Geser Hasil Analisis Program	132
Tabel 4.42 Gaya Geser Dinding Geser Hasil Analisis Program	132
Tabel 4.43 Penulangan Kolom Sejajar Dinding Geser Gedung Fakultas Kedokteran Gigi	139
Tabel 4.44 Penulangan Badan Dinding Geser Gedung Fakultas Kedokteran Gigi	139

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\emptyset$	= Faktor Reduksi
δ	= Defleksi yang terjadi
δ_u	= Defleksi Ultimate yang terjadi
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang diisyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis
λ	= Angka kelangsingan
Δx	= Simpangan antar lantai
ρ	= Rasio tulangan
ρ_t	= Rasio penulangan arah horizontal
A_{cv}	= Luas penampang total dinding struktural
A_g	= Luasan dimensi kolom (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik (mm^2)
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm^2)
A_{st}	= Luas tulangan
b	= Lebar balok (mm)
C	= Koefisien respon gempa yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur
C_t	= Koefisien rangka beton pemikul momen
C_u	= Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung
C_v	= Koefisien respon gempa vertikal
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
DL	= Beban mati
d	= Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan (mm)
d_b	= Diameter batang tulangan (mm)
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
EX	= Beban gempa dinamis arah X
EY	= Beban gempa dinamis arah Y
F_c'	= Kuat tekan beton (MPa)

f_y	= Kekuatan leleh tulangan (MPa)
g	= Besaran gravitasi
h	= Tinggi balok (mm)
h_n	= Ketinggian struktur (m)
h_x	= Spasi horizontal maksimum untuk kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada muka kolom
I_e	= Faktor keutamaan gempa
L_n	= Panjang sisi terpanjang
L_o	= Panjang minimum
L	= Panjang balok (mm)
L_x	= Panjang bentang arah x
L_y	= Panjang bentang arah y
LL	= Beban hidup
L_u	= Tinggi kolom
L_w	= Lebar dinding geser
MCE_R	= Spektrum respons gempa minimum yang mempertimbangkan resiko tertarget
M_{nb}	= Kekuatan lentur nominal balok
M_{nc}	= Kekuatan lentur nominal kolom
M_n	= Kekuatan lentur nominal pada penampang (kN.m)
M_u	= Momen terfaktor penampang (kN.m)
M_{pr}	= Momen lentur dari suatu komponen struktur dengan atau tanpa beban aksial (kN.m)
M_u	= Momen yang terjadi pada penampang
M_x	= Momen arah x (ton.m)
M_y	= Momen arah y (ton.m)
n	= Jumlah tulangan
P_n	= Gaya tekan nominal (N)
u	= Gaya aksial terfaktor (N)
P	= Beban aksial yang bekerja pada kolom
q	= Beban yang bekerja
R	= Faktor reduksi gempa
r	= Radius grasi penampang komponen struktur kolom

- s = Jarak antar tulangan geser
 S_1 = Parameter respon spektral percepatan gempa mcer terpetakan untuk periode 1 detik
 S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek
 S_{D1} = Parameter repon spektral percepatan desain pada periode 1 detik
 S_s = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetokan untuk periode pendek
 SF = *Safety factor* = 2,5
 T = Nilai *time period*
 ΔT = Selisih *time period*
 V = Beban gempa dasar nominal
 V_c = Gaya geser yang dipikul beton
 V_e = Gaya geser yang terjadi pada struktur
 V_s = Gaya geser yang dipikul tulangan baja
 W_t = Berat total struktur bangunan



PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Oleh :

Annisa Kusumaningrum ¹⁾, Elok Durrotunnaimah ¹⁾, Sumirin ²⁾, Prabowo Setiyawan ²⁾

ABSTRAK

Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang memiliki 5 lantai dirancang dengan menggunakan struktur rangka beton bertulang dan memiliki fungsi sebagai tempat belajar mahasiswa dengan mengetahui kondisi struktur tanah di bawahnya adalah tanah lunak dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Metodologi yang digunakan dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini adalah mulai dari pengumpulan data, analisis perancangan, diagram alir, standar yang digunakan, dan *software* yang digunakan. *Software* yang digunakan antara lain ETABS V18 yang berfungsi untuk perancangan permodelan, pembebanan, pelat, balok, kolom, dinding geser. Perancangan kolom dilakukan juga dengan menggunakan *software* SP Column.

Hasil dari perancangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang menggunakan prinsip *Strong Column Weak Beam* dikarenakan kolom lebih kuat dalam menahan kuat lentur dibandingkan dengan balok. Kolom memiliki nilai kuat lentur 1782 kN.m. Sedangkan balok memiliki kuat lentur 1125 kN.m. Jadi rasio kuat lentur antara kolom dan balok sebesar 1,6.

Kata Kunci : Desain ; Gedung ; Gempa

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

²⁾ Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

STRUCTURAL DESIGN OF THE FACULTY OF DENTAL BUILDING, ISLAMIC UNIVERSITY OF SULTAN AGUNG SEMARANG

By :

Annisa Kusumaningrum ¹⁾, Elok Durrotunnaimah ¹⁾, Sumirin ²⁾, Prabowo Setiyawan ²⁾

ABSTRACT

The Faculty of Dentistry building, Sultan Agung Islamic University, Semarang, which has 5 floors, is designed using a reinforced concrete frame structure and has a function as a place for student learning by knowing the condition of the soil structure underneath is soft soil with a Special Moment Resistant Frame System (SRPMK).

The methodology used in making this Final Project Report is starting from data collection, design analysis, flow diagrams, standards used, and software used. The software used includes ETABS V18 which functions for modeling design, loading, plates, beams, columns, shear walls. Column design is also done using SPsoftware Column.

The results of the design of the Faculty of Dentistry, Sultan Agung Islamic University, Semarang, which uses the principle, Strong Column Weak Beam because the column is stronger in resisting flexural strength than the beam. The column has a flexural strength value of 1782 kN.m. While the beam has a flexural strength of 1125 kN.m. So the flexural strength ratio between columns and beams is 1.6.

Keywords: Design; Building ; Earthquake

¹⁾ Student of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Study Program

²⁾ Lecturer of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Study Program

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perancangan pembangunan gedung di Indonesia menjadi hal yang sangat penting, karena Indonesia merupakan wilayah yang rawan terjadinya gempa. Pelaksanaan dan perancangan pembangunan untuk struktur atas gedung bertingkat tinggi ini menggunakan sistem rangka gedung atau *Building Frame System* yang terdiri dari portal balok dan kolom yang mampu meminimalisir risiko ketika terjadi gempa.

Sistem struktur yang dipilih pada proses perancangan struktur atas gedung bertingkat harus bisa menghasilkan kekuatan yang optimal dengan massa bangunan yang seminimal mungkin. Karena semakin tinggi suatu bangunan maka beban gaya lateral yang terjadi akan semakin besar, sehingga kekuatan dan kekakuan struktur bangunan sangat menentukan dalam proses perancangan gedung bertingkat. Dengan demikian akan dihasilkan sistem struktur rangka ringan namun kuat dalam menahan gaya-gaya lateral yang bekerja. Perancangan struktur tahan gempa harus berdasarkan kriteria pada peraturan yang berlaku.

Pada bangunan gedung 5 lantai Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang dirancang menggunakan *software* ETABS V18 dengan menggunakan struktur rangka beton bertulang dan memiliki fungsi sebagai tempat belajar mahasiswa dengan mengetahui kondisi struktur tanah di bawahnya adalah tanah lunak. Sistem yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena sistem ini mempunyai komponen struktur yang mampu menahan gaya-gaya yang bekerja untuk daerah dengan risiko gempa tinggi. Gedung perkuliahan tersebut dirancang sesuai dengan peraturan perencanaan untuk ketahanan gempa bangunan gedung SNI 1726–2019 dan tata cara untuk perhitungan struktur beton bangunan gedung SNI 2847–2019.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari perancangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang ini adalah :

1. Merancang struktur bangunan bertingkat terhadap beban gempa dengan standar SNI 1726–2019.
2. Merancang struktur atas yang meliputi pendimensian serta penulangan pelat, balok, kolom, dinding geser, hubungan balok dengan kolom (*joint*), serta perancangan *tie beam (sloof)* berdasarkan peraturan SNI 1726–2019.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan–batasan masalah dari penyusunan Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Gedung yang berlokasi di Semarang dengan kondisi tanah lunak yang menggunakan struktur beton bertulang yang beraturan dengan struktur daktil penuh.
2. Struktur gedung yang difungsikan sebagai gedung perkuliahan.
3. Struktur yang dirancang yaitu struktur atas gedung tanpa merencanakan struktur bawah (fondasi).
4. Pembebanan gedung meliputi :
 - a. Beban mati (beban sendiri struktur).
 - b. Beban hidup (beban akibat fungsi bangunan sesuai dengan SNI 1727–2020).
 - c. Beban lateral (beban gempa sesuai SNI 1726–2019). Tentang Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung tanpa memperhitungkan beban angin.

1.4 Sistematika Tugas Akhir

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam sistematika yang terdiri dari 5 BAB sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian BAB I ini menjelaskan tentang latar belakang masalah yang diambil, maksud dan tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian BAB II ini menjelaskan tentang konsep analisis beban seismik, persyaratan struktur tahan gempa.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

Pada bagian BAB III ini menjelaskan tentang pengumpulan data, analisis dan perhitungan, diagram alir, standar yang digunakan, *software* yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bagian BAB IV ini menjelaskan tentang formulasi pembebanan struktur, mutu bahan struktur, analisis beban seismik, perancangan pelat, perancangan balok, perancangan kolom, perancangan dinding geser, perancangan hubungan balok – kolom Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus, perancangan *tie beam (sloof)*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian BAB V ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran untuk Laporan Tugas Akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Indonesia merupakan negara rawan gempa dikarenakan Indonesia terletak di pertemuan antara 3 lempeng tektonik yang besar di dunia. Oleh karena itu Indonesia membutuhkan bangunan yang tahan terhadap gempa. Bangunan ini harus dirancang pada sistem struktur yang baik untuk menahan beban-beban yang ada seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Pada perancangan gedung ini dibutuhkan peraturan yang dapat digunakan sebagai acuan agar perancangan yang dihasilkan sesuai dan aman untuk digunakan. Peraturan yang akan digunakan sebagai acuan dalam perancangan ini yaitu :

- a. SNI 2847–2019, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- b. SNI 1726–2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- c. SNI 1727–2020, Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

2.2 Persyaratan Struktur Tahan Gempa

Perancangan struktur gempa di Indonesia dibuat berdasarkan peraturan dan tata cara yang tercantum pada SNI 1726–2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Untuk menentukan risiko gempa maksimum MCE_R dapat digunakan gempa dengan periode ulang kurang lebih 2500 tahun atau ekuivalen gempa yang terjadi kemungkinan terlewat besarnya sepanjang umur struktur bangunan itu 50 tahun sebesar 2 %.

2.2.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan

Kategori risiko struktur bangunan gedung dan faktor keamanan dapat ditentukan sesuai dengan mengacu pada Tabel 3 SNI 1726–2019 Pasal 4.1.2, setelah itu untuk pengaruh beban rencana terhadap gempa dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) seperti yang tercantum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung
dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

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 industri - 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 - 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 ke dalam kategori risiko 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 risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, 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.	III
Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - 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, trunami, angin badai, dan tempat 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 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.	IV
--	----

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 3)

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 4)

2.2.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs tanah ditentukan berdasarkan Tabel 5 SNI 1726–2019 Pasal 5.3 dengan memakai SPT rata-rata ($\bar{N}$).

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	N atau N_{ch}	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik–situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 5)

2.2.3 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Penyesuaian parameter respon spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dengan pengaruh klasifikasi situs yaitu dengan rumus :

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.2)$$

Keterangan :

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

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Koefisien situs F_a dan F_v berdasarkan peraturan SNI 1726–2019 Pasal 6.2 Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>SC</i>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SE</i>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<i>SF</i>	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 6)

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko–tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SC</i>	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
<i>SD</i>	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
<i>SE</i>	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
<i>SF</i>	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 7)

2.2.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Menentukan parameter respon spektral percepatan gempa desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik S_{D1} , harus melalui perumusan sebagai berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

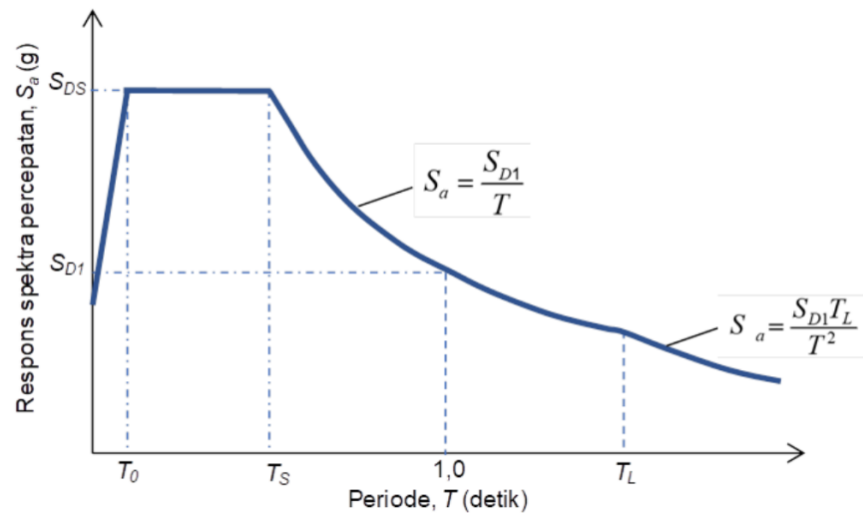
Keterangan :

S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan desain periode pendek

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

2.2.5 Spektrum Respon Desain

Kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan yang ada apabila spektrum respons desain diperlukan untuk tata cara dan prosedur gerak tanah dari spesifik–situs tidak digunakan.



Gambar 2.1 Spektrum Respon Desain

(Sumber : SNI 1726–2019)

Ketentuan–ketentuan berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 6.4 :

1. Nilai $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

2. Nilai $T_0 < T < T_s$

$$S_a = S_{DS} \quad (2.6)$$

3. Nilai $T > T_s$

$$(2.7)$$

4. Nilai T_s dan T_0 dihitung menggunakan rumus :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan desain periode pendek

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

T = Periode getar fundamental struktur

2.2.6 Kategori Desain Seismik

Sesuai dengan SNI 1726–2019 Pasal 6.5 Tabel 2.6 dan 2.7 mengenai ketentuan suatu kategori desain seismik. Untuk menentukan kategori desain seismik harus mengacu pada peraturan tersebut.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 8)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

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

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 9)

2.2.7 Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah yang Berbeda

Gaya seismik ditahan pada masing–masing arah kedua sumbu ortogonal struktur dengan menggunakan sistem pemikul gaya seismik yang berbeda. Apabila sistem yang berbeda dipakai, masing–masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus ditetapkan pada tiap sistem berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 7.2.2.

Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^p	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^a	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 12)

2.2.8 Batasan Periode Fundamental

Hasil dari koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) tabel 17 SNI 1726–2019 Pasal 7.8.2 harus lebih besar dari periode fundamental struktur. Periode fundamental pendekatan (T_a). Nilai T_a ditentukan menggunakan rumus :

$$T_{\max} = C_u T_a \quad (2.10)$$

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.11)$$

Keterangan :

T = Periode getar struktur (detik)

C_u = Koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung

T_a = Periode pendekatan (detik)

H_n = Ketinggian struktur (m)

C_t dan x ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726–2019

Tabel 2.9 Koefisien Pembatas Periode Getar Struktur

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

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 17)

Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α

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

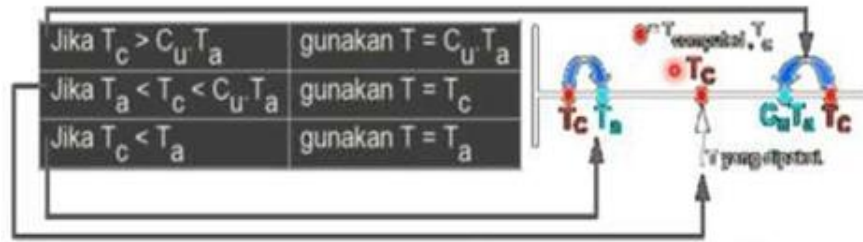
(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 18)

Persamaan yang digunakan untuk periode getar alami struktur yang akan diambil (T) jika periode alami struktur yang didapatkan melalui hasil analisis *software* (T_c) yaitu :

$T_c < T_a$, maka diambil dari perhitungan manual T_a

$T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka diambil dari perhitungan *software* T_c

$C_u \times T_a < T_c$, maka diambil dari perhitungan pendekatan $C_u \times T_c$



Gambar 2.2 Menentukan Waktu Getar Alami Struktur

2.2.9 Geser Dasar (*Base Shear*) Seismik

Berdasarkan peraturan SNI 1726–2019 Pasal 7.8.1 tentang gaya geser dasar seismik dalam arah menggunakan rumus :

$$V = C_s W \quad (2.12)$$

$$C_s = \frac{(S_{DS})}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.13)$$

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.14)$$

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e > 0,01 \quad (2.15)$$

Untuk struktur $S_1 > 0,6 \text{ g}$ maka nilai C_s dihitung menggunakan rumus :

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.16)$$

2.2.10 Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain (Δ) ditentukan dengan menghitung sebagai perbedaan simpangan di pusat massa yang berada di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Persamaan yang harus digunakan untuk simpangan pusat massa pada tingkat $-x$ (δ_x) (mm) sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.17)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran defleksi simpangan lateral pada tabel SNI 1726–2019

δ_{xe} = Defleksi simpangan pada tingkat $-x$ yang diisyaratkan dan ditentukan menggunakan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa



Gambar 2.3 Simpangan Antar Tingkat

(Sumber : SNI 1726 – 2019)

Nilai simpangan antar tingkat izin harus lebih besar dari nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) sesuai dengan ketentuan SNI 1726–2019 Pasal 7.12.1 Tabel 2.11 untuk semua tingkat.

Tabel 2.11 Simpangan Antar Tingkat Izin

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 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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 20)

P–Delta mempunyai pengaruh pada momen dan gaya elemen pada struktur yang dihasilkan, geser tingkat dan momen, dan simpangan yang terjadi antar tingkat yang disebabkan tidak perlu dianalisis apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10 sesuai pada SNI 1726–2019 Pasal 7.8.7 sebagai berikut :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.18)$$

Keterangan :

- P_x = Beban desain vertikal total di atas tingkat x
- Δ = Simpangan antar tingkat desain
- I_e = Faktor keutamaan gempa
- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x–1
- H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x
- C_d = Faktor pembesaran defleksi pada SNI 1726–2019 Tabel 12

2.2.11 Klasifikasi Struktur Ketidakberaturan

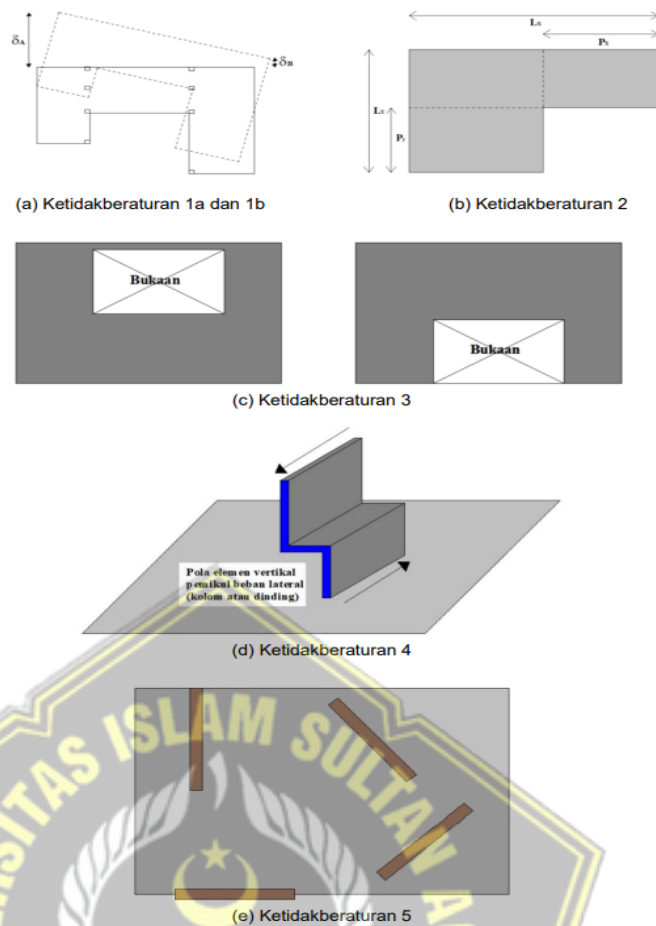
1. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan struktur horizontal merupakan struktur yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan berdasarkan Tabel 13. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan dalam pasal yang terdapat pada tabel tersebut.

Tabel 2.12 Ketidakberaturan Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 13)



Gambar 2.4 Ketidakberaturan Horizontal

(Sumber : SNI 1726–2019)

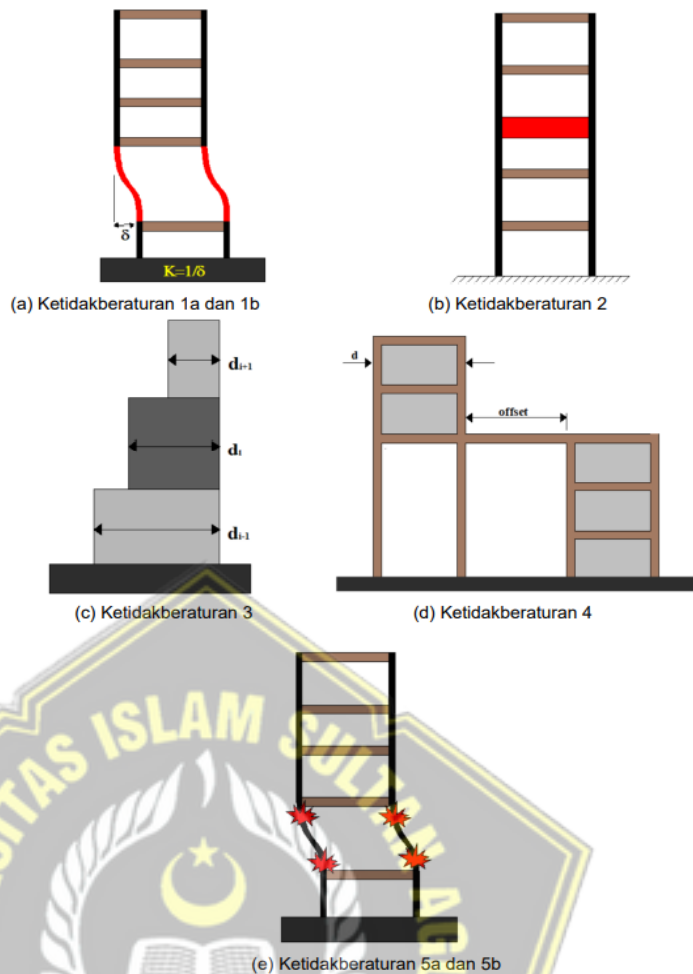
2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan struktur vertikal merupakan struktur yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan berdasarkan Tabel 14. Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan dalam pasal yang terdapat pada tabel tersebut.

Tabel 2.13 Ketidakberaturan Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

(Sumber : SNI 1726–2019 Tabel 14)



Gambar 2.5 Ketidakberaturan Vertikal

(Sumber : SNI 1726–2019)

2.2.12 Analisis Spektrum Respon Ragam

1. Jumlah Ragam

Untuk menentukan jumlah ragam getar alami pada struktur harus dilakukan dengan menganalisisnya. Untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur maka harus mencantumkan jumlah ragam yang mencukupi.

2. Parameter Respons Ragam

Spektrum respons diartikan dalam 0 atau dibagi dengan kuantitas yang ada (R / I_e). Hasil yang digunakan harus dikalikan dengan (C_d / I_e).

2.2.13 Kombinasi Pembebanan

Elemen struktur dan komponen struktur harus dirancang sampai kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban yang terfaktor dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 4.2.2 :

$$1,4 D \quad (2.19)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L r \text{ atau } R) \quad (2.20)$$

$$1,2 D + 1,6 (L r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.21)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L r \text{ atau } R) \quad (2.22)$$

$$0,9 D + 1,0 W \quad (2.23)$$

Faktor pada beban L yang terdapat pada kombinasi 3,4 diperbolehkan untuk diambil dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila diketahui L_0 terkecil atau sama dengan 4,78 kN/m² kecuali pada ruang pertemuan publik dan garasi.

2.2.14 Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa

Jika pada suatu struktur mendapatkan pengaruh dari beban gempa, maka kombinasi beban yang ada ini seharusnya diperhitungkan bersamaan dengan kombinasi yang ada pada beban dasar. Pengaruh dari beban gempa yang paling mempengaruhi harus dilihat kembali tanpa perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin. Kombinasi beban yang ada berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 4.2.2.3 sebagai berikut :

$$1,2 D + E_v + E_h + L \quad (2.24)$$

$$0,9 D - E_v + E_h \quad (2.25)$$

$$1,2 D + E_v + E_{mh} + L \quad (2.26)$$

$$0,9 D - E_v + E_{mh} \quad (2.27)$$

Faktor pada beban L yang terdapat pada kombinasi 6 diperbolehkan untuk diambil dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang jika diketahui L_0 terkecil

atau sama dengan $4,78 \text{ kN/m}^2$ kecuali pada ruang pertemuan publik dan garasi.

2.3 Struktur Rangka Pemikul Momen

2.3.1 Sistem Lentur Rangka Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SPRM) merupakan suatu sistem struktur yang pada dasarnya mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara kompleks dan sebagai penahan gempa yang menitik beratkan kekuatan portal. Mekanismenya lentur yang menahan gaya lateral. Beban gravitasi merupakan beban mati struktur dan beban hidup struktur yang terdapat pada gedung itu sendiri. Sedangkan untuk beban angin dan beban gempa ini termasuk ke dalam kategori beban lateral. Beban lateral merupakan beban yang dipikul rangka pemikul momen terutama pada saat melalui mekanisme lentur. Ketentuan ini sesuai dengan SNI 1726–2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Sistem Rangka Pemikul Momen (SPRM) mempunyai tiga tingkatan :

1) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SPRMB)

Sistem rangka ini digunakan untuk kategori desain seismik A dan B. Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SPRMB) ini mempunyai hal-hal yang harus diperhitungan, yaitu :

- a. Pada balok yang dihitung harus mempunyai minimal adalah 2 batang tulangan longitudinal menerus sepanjang kedua muka atas & bawah dari penampang. Tulangan bawah menerus harus mempunyai luas tidak kurang dari $1/4$ luas maksimum tulangan bawah. Untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik F_y pada muka tumpuan maka tulangan ini harus diberi angkur. Ketentuan ini sesuai dengan SNI 2847–2019 Pasal 18.3.2.
- b. Pada kolom yang dihitung harus memiliki tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi C_1 (dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen) harus didesain untuk gaya geser. Ketentuan ini sesuai dengan SNI 2847–2019 Pasal 18.3.3.

2) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM)

Sistem rangka ini dipakai untuk KDS C. Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM) ini mempunyai ketentuan–ketentuan yang mengacu pada SNI 2847–2019, yaitu :

- a. Ketentuan yang digunakan untuk rangka momen menengah yang menjadi bentuk bagian sistem penahan gaya gempa adalah SNI 2847–2019.
- b. Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 18.4.2.4 pada detail tulangan balok yang mempunyai gaya tekan aksial yang terdapat pada komponen struktur tidak melebihi $A_g \times \frac{F_{c'}}{10}$. Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.4.5 Tentang slab 2 arah tanpa balok jika konstruksi pelat dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem penahan gaya gempa maka detail penulangan pada sembarang batang yang menahan momen akibat pengaruh gempa maka harus memenuhi peraturan tersebut.

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM) adalah sistem rangka yang komponen–komponen struktur yang ada dapat menahan berbagai gaya seperti gaya lentur, geser, dan aksial yang memiliki ketentuan seperti di atas.

3) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK)

Sistem rangka ini digunakan untuk kategori desain seismik D dan E. Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK) mempunyai komponen–komponen struktur rangka berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6, yaitu :

- a. Rangka momen khusus yang membentuk sistem tahan gempa diatur berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6.
- b. Pada komponen struktur gaya tekan aksial terfaktor (P_u)

$$P_u < A_g \times \frac{F_{c'}}{10} \quad (2.24)$$

- c. Bentang bersih komponen struktur (l_n) dan tinggi efektif (d)

$$l_n > 4d \quad (2.25)$$

- d. Lebar komponen (b_w)

$$b_w > 0,3h \quad (2.26)$$

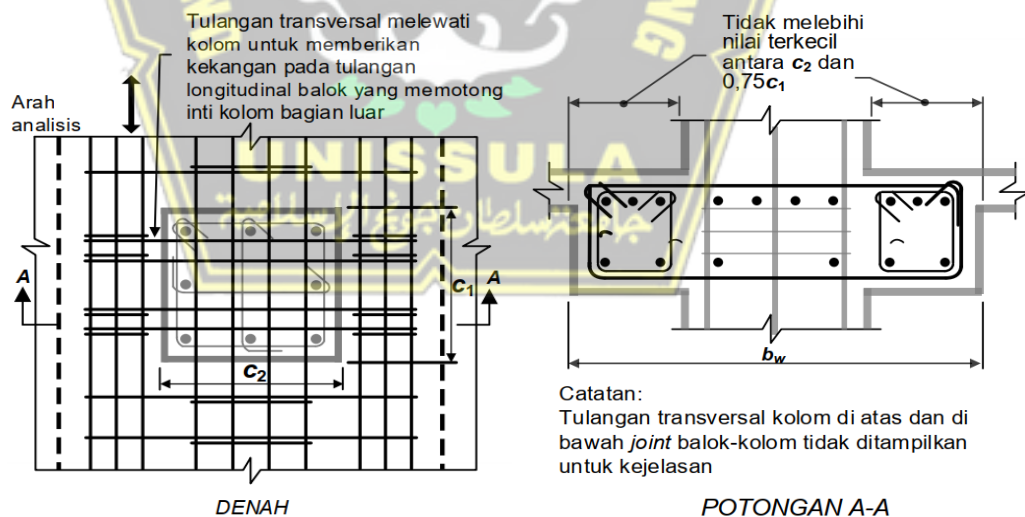
$$e. \quad 250 \text{ mm} < b_w < c + 2 \left(\frac{3}{4} h \right) \quad (2.27)$$

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan desain pada struktur beton bertulang dengan detail yang menghasilkan struktur yang fleksibel. Struktur fleksibel mempunyai daktilitas yang tinggi.

2.4 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Balok pada sistem rangka pemikul momen khusus merupakan sistem yang dirancang untuk menahan beban lentur dan beban geser. Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6.2.1 komponen tersebut memiliki kriteria, yaitu :

- Panjang dari bentang bersih (l_n) minimal $4d$.
- Lebar dari penampang b_w paling sedikit adalah nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
- Proyeksi dari lebar balok yang melebihi lebar dari kolom penumpu tidak diperbolehkan lebih dari nilai terkecil C_2 dan $0,75C_1$ di masing-masing sisi kolom.



Gambar 2.6 Syarat Dimensi Balok SRPMK

Pada balok jumlah tulangan longitudinal harus minimal 2 batang tulangan menerus yang berada pada sisi atas dan sisi bawah dari penampang. Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 9.6.1.2 pada sebarang penampang jumlah tulangan longitudinal

tidak diperbolehkan kurang dari yang sudah ditetapkan dan rasio tulangan longitudinal (ρ) tidak diperbolehkan melebihi 0,025 yang digunakan untuk tulangan atas dan bawah.

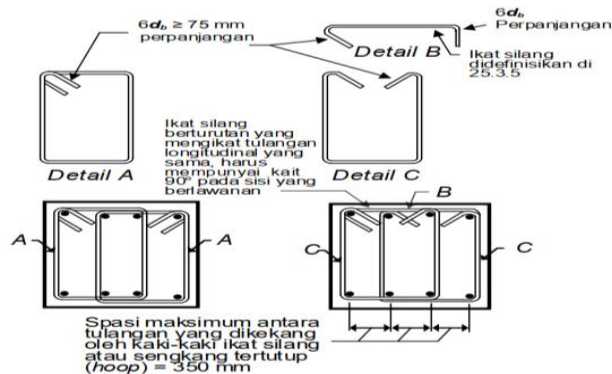
Tulangan longitudinal pada balok mempunyai sambungan lewatan yang diizinkan apabila sengkang pengekat atau sengkang spiral dipasang sesuai panjang sambungan lewatan. Spasi tulangan melingkupi batang tulangan tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil $d / 4$ dan 100 mm.

Tulangan transversal pada balok digunakan untuk kekangan beton dan untuk mempertahankan pendukung gaya lateral pada batang yang terjadi kelelahan. Pada tulangan transversal sengkang pengekat harus dipasang pada beberapa daerah balok yaitu :

- Pada kedua ujung balok yang berada di sepanjang jarak yang sama dengan 2 kali tinggi dari balok yang akan diukur dari muka kolom penumpu menuju arah tengah bentang balok.
- Pada sepanjang jarak yang sama dengan 2 kali tinggi dari balok yang berada di kedua sisi penampang. Pada bagian itu terjadi pelelehan lentur yang kemungkinan akan terjadi karena adanya deformasi lateral yang melebihi perilaku elastik.

Penempatan sengkang pengekat pertama tidak diperbolehkan lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Sengkang pengekat mempunyai spasi yang tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil dari :

- $\frac{d}{4}$
- Enam kali diameter paling kecil dari batang tulangan lentur utama. Tidak termasuk tulangan longitudinal samping
- 150 mm



Gambar 2.7 Syarat Tulangan Transversal Balok SRPMK

2.5 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.7.1.1 kolom sistem rangka pemikul momen khusus dirancang untuk menahan gaya lentur, gaya geser, dan gaya aksial. Kolom harus memenuhi batas dimensi sesuai dengan SNI 2847–2019 Pasal 18.7.2.1 yaitu :

- Dimensi penampang paling kecil yang diukur pada garis lurus yang melewati pusat geometri. Besarnya lebih dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang paling kecil terhadap dimensi yang tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.7.3 kekuatan lentur minimum kolom harus memenuhi Pasal 18.7.3.2 yaitu :

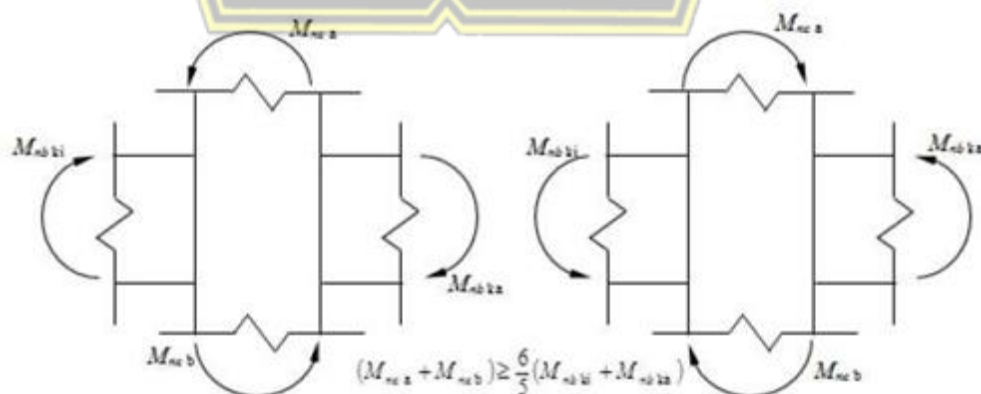
$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2.28)$$

Keterangan :

$\sum M_{nc}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom

$\sum M_{nb}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal balok

Kekuatan lentur kolom dihitung karena untuk mengurangi terjadinya kelelahan pada kolom sebagai pemikul gaya seismik dan agar kolom lebih kuat terhadap balok (*Strong Column Weak Beam*).



Gambar 2.8 Konsep *Strong Column Weak Beam*

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.7.4 tulangan longitudinal pada kolom mempunyai batas bawah luas tulangan yaitu untuk mengecek deformasi jangka panjang dan digunakan untuk mempunyai momen leleh yang melebihi momen retak. Luas tulangannya A_{st} tidak diperbolehkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak diperbolehkan lebih dari $0,064A_g$. Pada tulangan longitudinal kolom yang mempunyai sengkang bundar jumlah batang tulangannya paling sedikit 6.

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.7.5 tulangan transversal pada balok digunakan untuk pengekan beton dan penyediaan dukungan lateral untuk tulangan longitudinal. Panjang minimum tulangan transversal sesuai dengan Pasal 18.7.5.2 yaitu tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari masing–masing tumpuan dan di kedua sisi sebarang penampang yang terjadi kelelahan lentur. Panjang l_0 tidak diperbolehkan kurang dari tinggi kolom pada tumpuan, seperenam tinggi bersih kolom, 450 mm.



Gambar 2.9 Detail Penulangan Kolom SRPMK

2.6 Pelat

Perancangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang ini menggunakan pelat dua arah. Pelat dua arah merupakan pelat yang mempunyai tumpuan pada kedua sisinya. Ketebalan dari pelat harus memenuhi batasan sesuai dengan SNI 2847–2019 :

Tabel 2.14 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

$\alpha_{fm}^{[1]}$	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{l_n \left(0,08 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) ^{[2],[3]}
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{l_n \left(0,08 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d) ^{[2],[3]}
		90	(e)

(Sumber : SNI 2847–2019)

2.7 Dinding Geser

Perancangan dinding geser khusus pada Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang ini menggunakan dinding geser beton bertulang khusus yang terdapat pada SNI 2847–2019 Pasal 18.10. Dinding geser ini dirancang untuk menahan beban gravitasi maupun beban lateral pada gedung dikarenakan memiliki kekuatan yang lebih untuk menahan beban gempa. Beban geser atau beban lateral pada dinding ini maksimum 75 %.

Dinding struktural ini harus dirancang dengan baik sesuai dengan persyaratan yang ada. Ujung–ujung dinding ini diberi komponen batas dengan tulangan longitudinal dan tulangan transversal. Syarat tulangan geser yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Apabila $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{F_c'}$ diisyaratkan tulangan minimal yang harus diambil adalah 0,0025 untuk tulangan longitudinal dan transversal.
- Jarak tulangan tidak diperbolehkan lebih dari 450 mm dengan rasio yang sudah ditentukan.
- Dinding geser harus memakai minimal 2 lapis tulangan sesuai dengan SNI 2847–2019 Pasal 10.2.2 apabila :

$$V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{F_c'} \quad (2.29)$$

$$\frac{H_w}{l_w} > 2 \quad (2.30)$$

Keterangan :

H_w = Tinggi Dinding

l_w = Panjang Dinding

Tabel 2.15 Tulangan Minimum Dinding Geser

Tipe Dinding	Tulangan Non Prategang	Ukuran Tulangan	F_y , MPa	Longitudinal Minimum, ρ_l	Transversal Minimum, ρ_t
Cor di tempat	Batang Ulir	$\leq D16$	≥ 420	0,0012	0,0020
			< 420	0,0015	0,0025
		$> D16$	Semua	0,0015	0,0025
Pracetak	Batang Ulir atau Tulangan Kawat Las	Semua	Semua	0,0010	0,0010

(Sumber : SNI 2847–2019)

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.10.4.1 kuat dinding geser dapat dihitung dengan rumus :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{F_c'} + \rho_t f_y) \quad (2.31)$$

Keterangan :

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } \frac{H_w}{l_w} \leq 1,5$$

$$= 0,17 \text{ untuk } \frac{H_w}{l_w} \geq 2,0$$

= Interpolasi linier antara 0,25 dan 0,17 apabila $\frac{H_w}{l_w}$ ditengah

H_w = Tinggi Dinding

L_w = Panjang Dinding

2.8 Joint Rangka Momen Khusus (Hubungan Kolom – Balok)

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6.1 sistem rangka pemikul momen khusus yang terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh *joint* balok–kolom. Balok dan kolom dipasang secara miring selama sebagai rangka. Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 15.2 daerah *joint* balok–kolom pada interior bangunan tidak membutuhkan tulangan geser apabila *joint* dikekang secara lateral pada keempat sisi balok. Pada *joint* ini membutuhkan tulangan transversal yang digunakan untuk mencegah tekuk pada tulangan longitudinal kolom.

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 15.4.2 luas kaki tulangan transversal pada *joint* balok–kolom diambil dari :

$$0,062 \sqrt{F_c'} \frac{b_s}{f_{yt}} \quad (2.32)$$

$$0,35 \frac{b_s}{f_{yt}} \quad (2.33)$$

Dimana b merupakan dimensi bagian kolom yang tegak lurus terhadap arah yang pantau. Untuk *joint* balok–kolom spasi tulangan transversal (s) tidak diperbolehkan lebih dari setengah tinggi balok dengan tinggi paling kecil.

2.9 Persyaratan Tie Beam (Sloof) Sebagai Pengikat Fondasi

Berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 7.13.6.2 pengikat dengan tiang penutup fondasi (*pile cap*) individu, tiang bor, atau kaisan harus berhubungan satu sama lainnya. Pengikat yang ada harus memiliki kuat tarik atau kuat tekan perancangan minimal sama seperti gaya yaitu 10 % S_{DS} yang dikali dengan nilai terbesar beban mati terfaktor ditambahkan dengan beban hidup terfaktor yang berada di tiang penutup fondasi atau kolom yang lebih besar. Hal ini terkecuali apabila ekuivalen kekangan disediakan oleh balok beton bertulang yang berada dalam pelat di atas tanah atau pelat beton bertulang yang berada di permukaan tanah. Begitu juga dengan pengekanan oleh batu yang telah memenuhi syarat yang sudah ditentukan, tanah berbutir yang sangat padat, tanah kohesif yang keras, atau dengan cara yang lainnya sudah diperbolehkan.

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang mempunyai ketinggian gedung 5 lantai yang berada di daerah Semarang. Fungsi dari pengumpulan data ini adalah sebagai proses dari perancangan dan analisis perhitungan struktur. Pengumpulan data dan informasi dilakukan dengan data primer maupun data sekunder tentang gedung tersebut yang akan diolah dan dijadikan objek penelitian pada Tugas Akhir ini. Data yang dikumpulkan sebagai berikut :

- 1) Gambar Arsitektur Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung.
- 2) Data Seismik Wilayah Semarang

3.2 Langkah–Langkah Perancangan

Analisis perancangan struktur Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung yang akan dilaksanakan memiliki beberapa tahapan, yaitu :

1) Permodelan Struktur Gedung

Permodelan pada struktur Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung ini menggunakan aplikasi ETABS V18 berdasarkan gambar arsitektur yang ada dan telah dirancang. Program ETABS tersebut membantu untuk menentukan gaya internal dan gaya eksternal akibat dari pembebanan.

2) Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada struktur Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung yaitu beban mati (*Dead Load*) berdasarkan perhitungan *software dead* = 1, beban hidup (*Live Load*) berdasarkan perhitungan *software live* = 0. Perhitungan pembebanan ini sesuai dengan SNI 1727–2019 tentang beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain.

3) Desain Elemen Struktur Atas

Hasil analisis perancangan elemen struktur atas seperti balok, kolom, pelat, dinding geser, dan *tie beam (sloof)* yaitu diperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja, setelah itu dapat menentukan perancangan penulangan yang akan dipakai untuk menahan gaya yang terjadi.

4) Perancangan dan Permodelan Elemen Struktur

Perancangan dan permodelan struktur ini hanya fokus pada struktur atas saja. Perancangan struktur atas meliputi :

a. Perancangan Balok

- Menentukan dimensi balok.
- Membuat permodelan pada ETABS V18.
- Mengumpulkan data gaya momen, gaya geser, dan torsi.
- Mengecek syarat lentur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
- Membuat desain penulangan lentur, penulangan transversal, dan torsi.

b. Perancangan Kolom

- Mengumpulkan data gaya aksial, gaya lateral dari ETABS V18.
- Menentukan dimensi kolom dengan tulangan.
- Menghitung diagram interaksi P-M dengan menggunakan aplikasi SP Column.
- Membuat desain tulangan longitudinal.
- Menghitung momen kapasitas kolom.
- Mengontrol *Strong Column Weak Beam*.
- Menghitung tulangan transversal .
- Menghitung gaya geser desain (V_e).

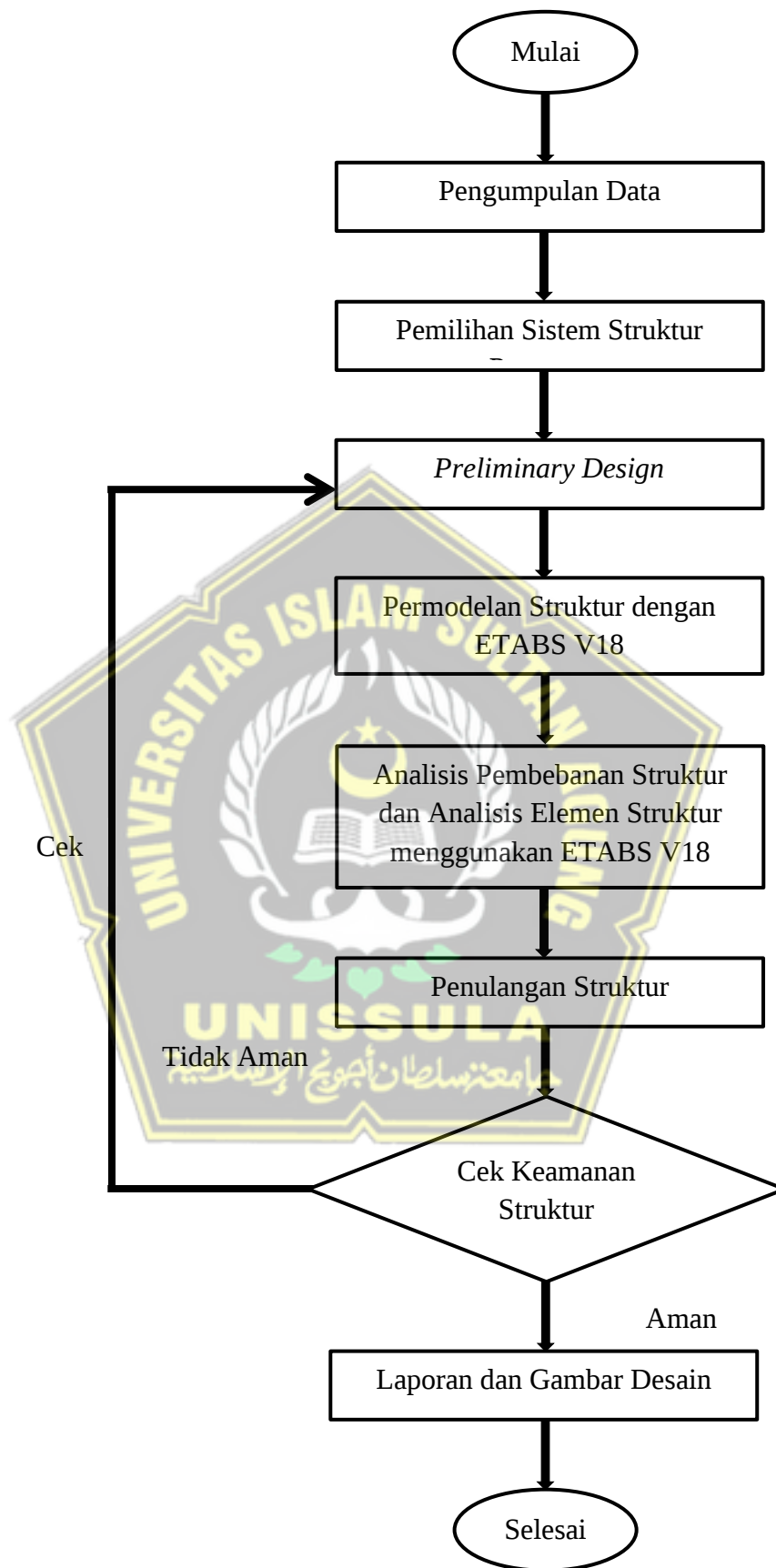
c. Perancangan Pelat

- Menghitung momen M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} , dan M_{ty} .
- Merencanakan tulangan pelat.
- Beban pelat lantai berdasarkan SNI sesuai dengan fungsi ruangnya.

d. Perancangan Hubungan Balok dan Kolom (*Joint*)

- Menghitung gaya geser yang terdapat pada *joint*
- Menghitung tulangan transversal

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.4 Standar yang Digunakan

Perancangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung menggunakan beberapa peraturan untuk menentukan pembebanan dan analisa perhitungan seperti yang terdapat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Peraturan Standar Perancangan

No	Nama Peraturan	Tentang
1	SNI 1726:2019	Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
2	SNI 1727:2019	Peraturan Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya
3	SNI 2847:2019	Peraturan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
4	Standar peraturan lain yang berlaku di Indonesia	

3.5 Software yang Digunakan

1. ETABS V18

Perancangan dan permodelan elemen struktur menggunakan *software* ETABS V18. *Software* ini digunakan untuk menganalisis permodelan dan mengumpulkan data gaya aksial, gaya lateral pada pelat, balok, kolom dan dinding geser.

2. SP Column

Perhitungan diagram interaksi P–M pada kolom menggunakan *software* SP Column.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Mutu Bahan Struktur

Mutu dan bahan struktur yang digunakan pada perencanaan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung sebagai berikut :

1. Mutu Beton

Digunakan untuk pelat, kolom, dan balok yaitu :

$$F_c' = 24,9 \text{ MPa (K-300)}$$

2. Mutu Baja Tulangan

$$f_y = 420 \text{ MPa (ulir, } d \geq 10 \text{ mm)}$$

$$f_y = 280 \text{ MPa (polos, } d \leq 10 \text{ mm)}$$

4.2 Pra Dimensi dan Permodelan Struktur

4.2.1 Pra Dimensi Elemen Struktur

1) Balok

Pradimensi balok dapat ditentukan menggunakan SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 pada. Oleh sebab itu, didapatkan ukuran balok sebagai berikut :

$$- \quad B1 \quad H_{min} = \frac{L1}{16} = \frac{6000}{16} = 375 \text{ mm}$$

$$- \quad B1 \quad B_{min} = 0,5 H = 187,5 \text{ mm}$$

Dimensi balok yang diperlukan ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi Balok yang Digunakan Pada Struktur Gedung

BALOK	L terpanjang (cm)	H (cm)	B (cm)
G1	800	80	40
G2	800	70	40
G3	800	70	30
G4	600	50	30

G5	370	40	30
B1	800	60	25
B2	300	50	25
B3	430	40	25
B4	400	40	20
B5	400	30	15

2) Kolom

Untuk menentukan dimensi kolom menggunakan persamaan :

$$A_g \geq \frac{P}{0,25 \text{ hingga } 0,35 F_c'} \quad (4.1)$$

Perhitungan beban total yang bekerja pada kolom menggunakan metode *tributary area*. Dengan metode ini, P dapat di hitung dengan cara mengalikan beban per meter persegi yang bekerja diatas kolom yang menggunakan *tributary area* paling besar dengan luas daerah pengaruh dalam meter persegi. Karena dianggap beban aksial tidak hanya ditanggung oleh kolom, makapenulis berani mengambil *preliminary* (Bambang Budiono, 2017) :

$$A_g \geq \frac{P}{0,4 F_c'} \quad (4.2)$$

Sesuai dengan SNI 2847–2019 Pasal 6.2.5, dampak kelangsingan padakomponen struktur tekan yang tidak dikekang secara lateral boleh diabaikan apabila :

$$k \times \frac{l_u}{r} \leq 22 \quad (4.3)$$

Keterangan :

k = Faktor panjang tekuk (jepit – jepit = 0,65)

l_u = Tinggi kolom

r = Radius giransi penampang komponen struktur kolom

Berdasarkan hasil pengecekan rumus tersebut diperoleh penampang kolom pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dimensi Kolom yang Digunakan Pada Struktur Gedung

KOLOM	B (mm)	H (mm)
K1	700	700
K2	600	600
K3	500	500

3) Pelat

Sesuai dengan Tabel 8.3.1.1 SNI 2847–2019, tebal minimum balok non prategang atau pelat dua arah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

f_y , MPa ^[2]	Tanpa drop panel ^[3]		Dengan drop panel ^[3]			
	Panel eksterior		Panel interior		Panel interior	
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

Bentang pelat nonprategang diantara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2 itu tanpa balok interior, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan Tabel 4.3.

Berdasarkan tabel acuan diatas diperoleh hasil penampang pelat sebagai berikut :

Tabel 4.4 Dimensi Pelat yang Digunakan Pada Struktur Gedung

PELAT	Tebal Pelat Lantai (mm)
12,5 cm	125

4) Dinding Geser

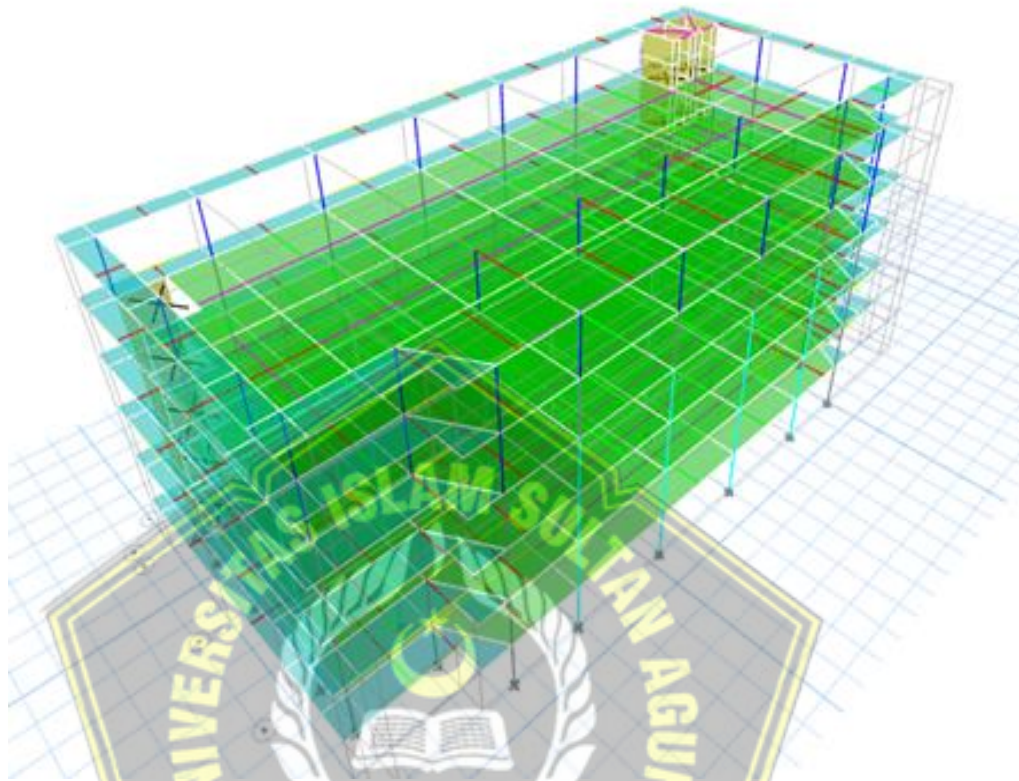
Hasil perhitungan dinding geser berdasarkan aplikasi ETABS yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.5 Dimensi Dinding Geser yang Digunakan Pada Struktur Gedung

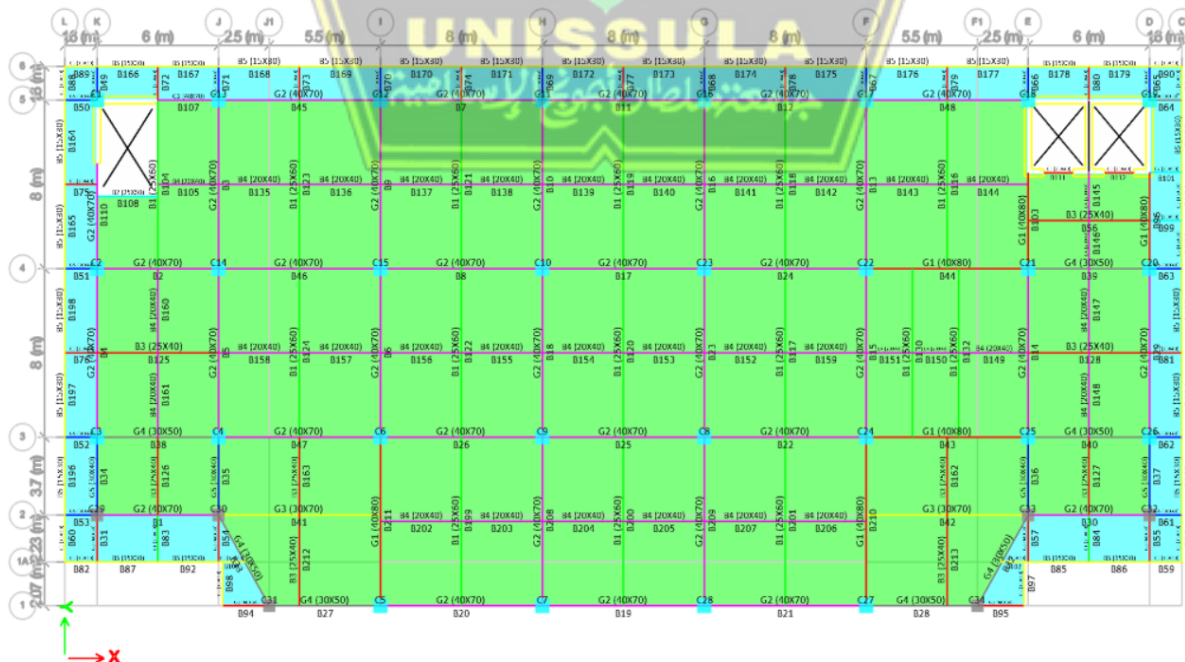
Dinding Geser	Tebal Dinding Geser (mm)
FWALL	350

4.2.2 Permodelan Struktur

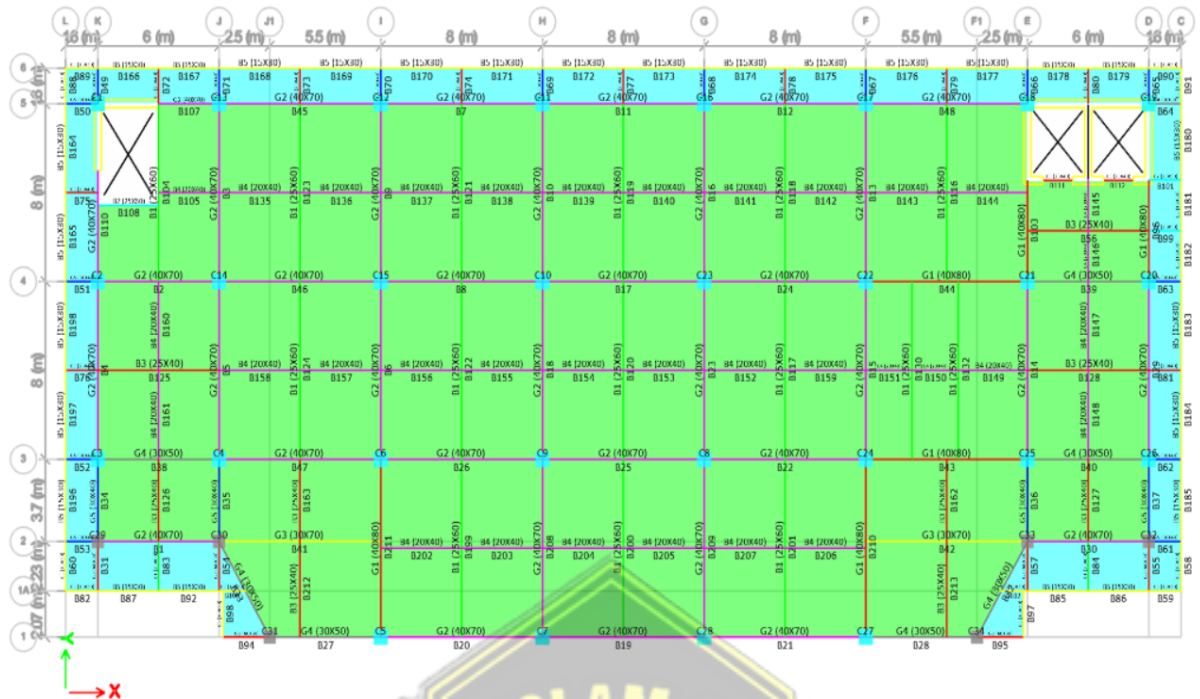
Permodelan struktur Gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kedokteran Gigi UNISSULA Semarang sebagai berikut :



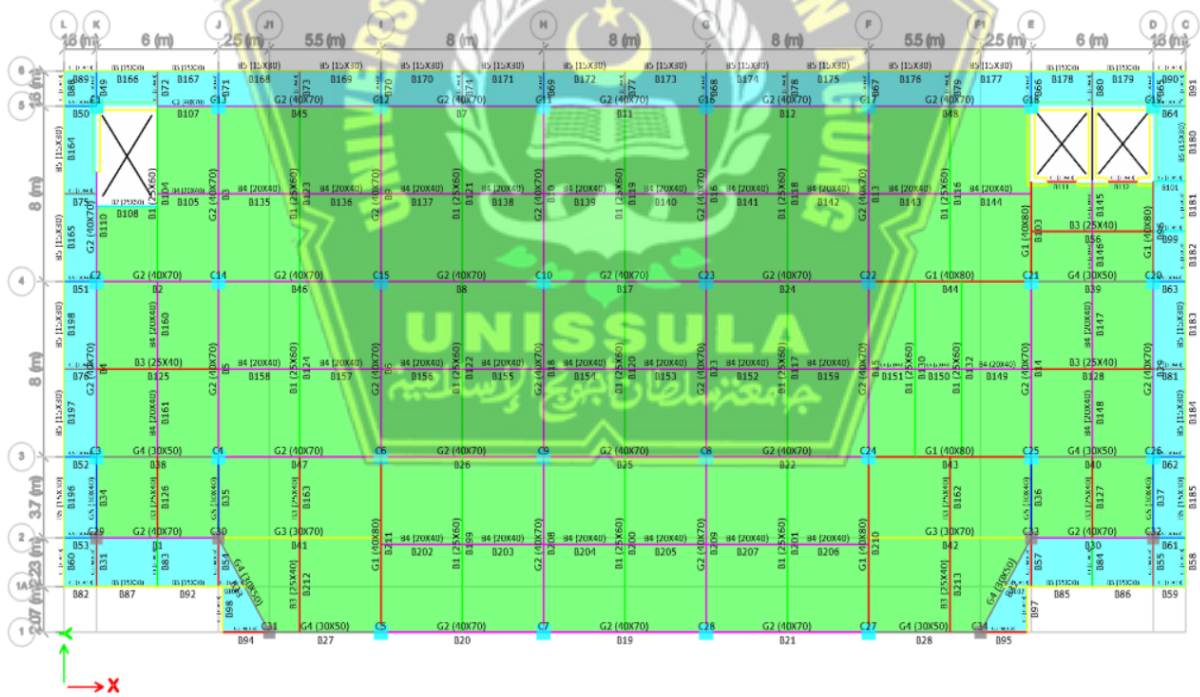
Gambar 4.1 Gambar 3D Permodelan Struktur



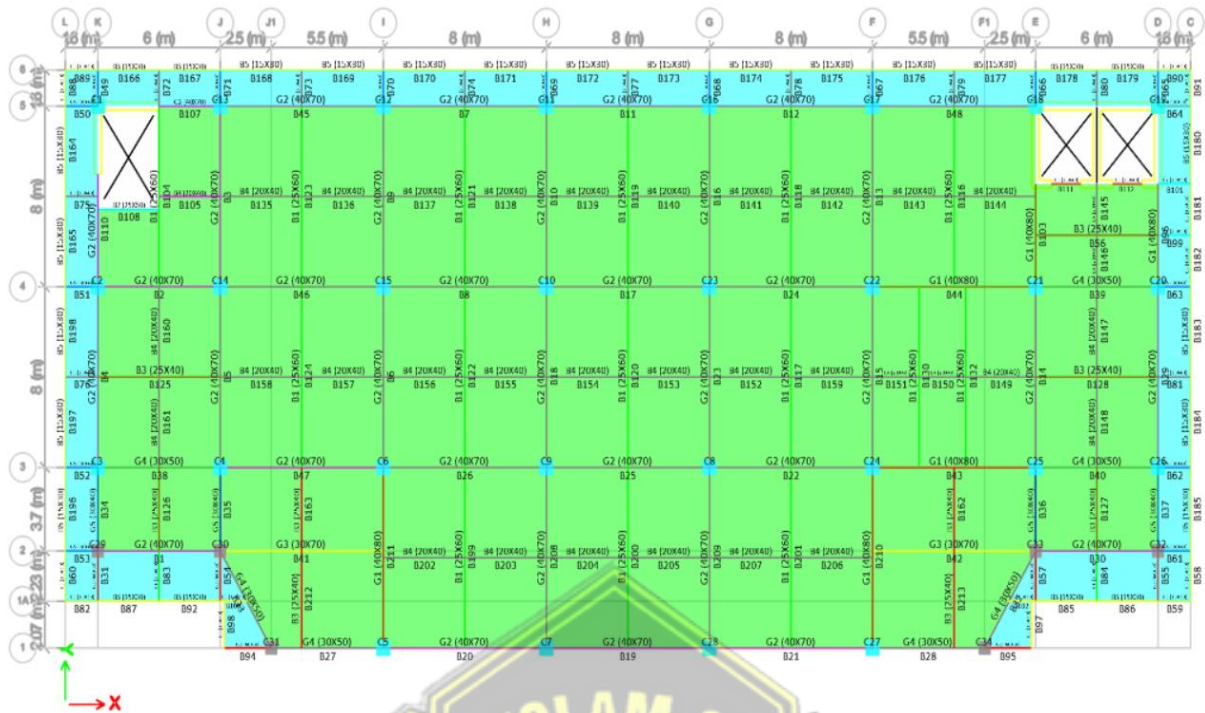
Gambar 4.2 Permodelan Lantai 1



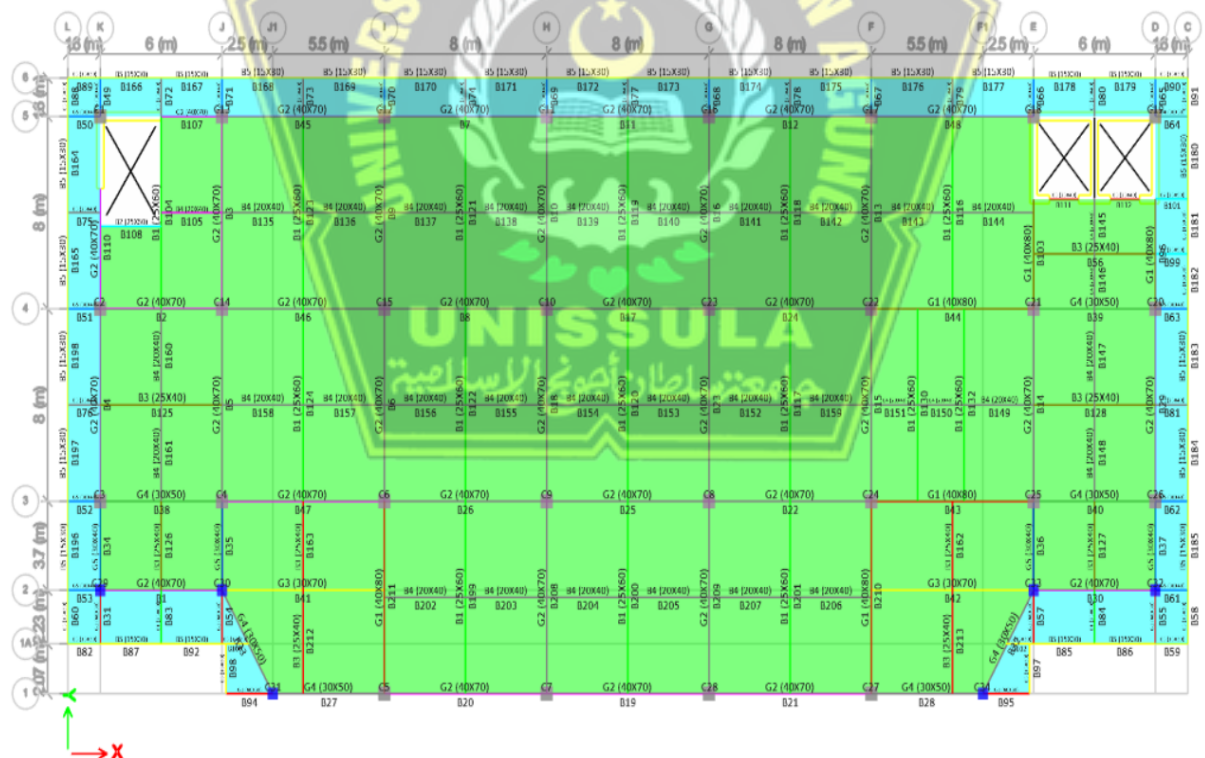
Gambar 4.3 Permodelan Lantai 2



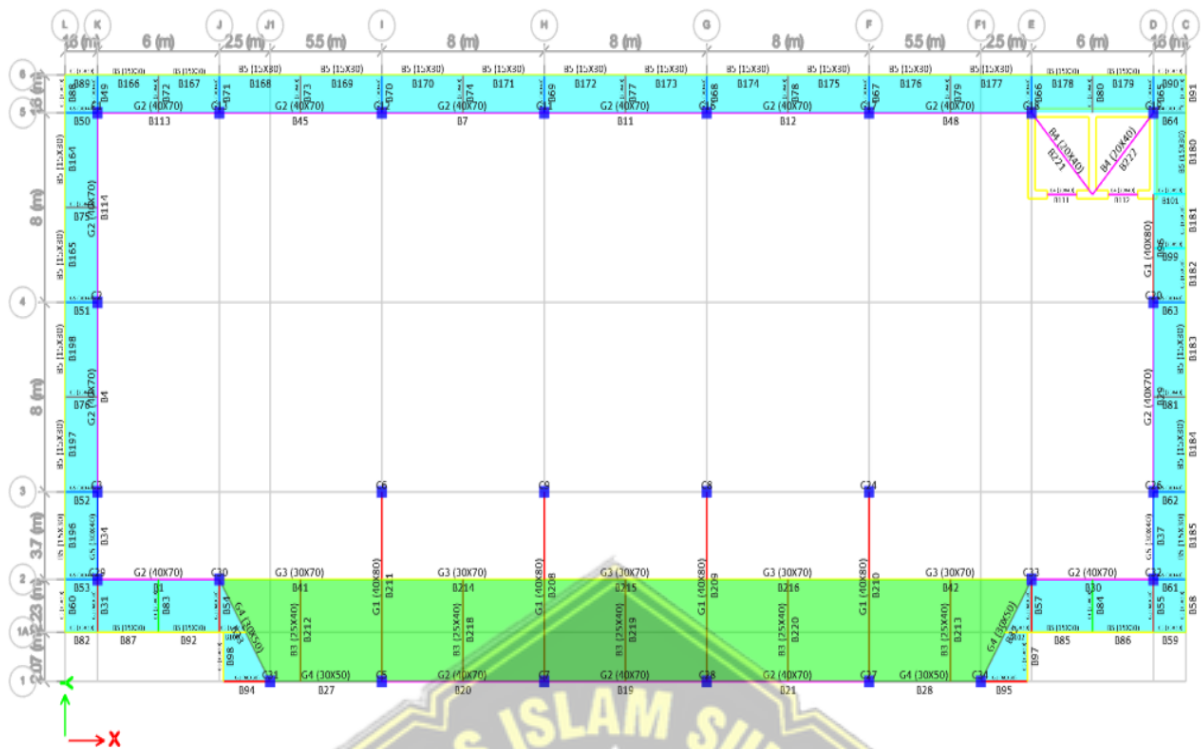
Gambar 4.4 Permodelan Lantai 3



Gambar 4.5 Permodelan Lantai 4



Gambar 4.6 Permodelan Lantai 5



Gambar 4.7 Permodelan Lantai Atas

4.2.3 Permodelan Menggunakan ETABS V18

Adapun urutan perencanaan pada struktur gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang direncanakan menggunakan aplikasi ETABS V18, adalah sebagai berikut :

1) *Input Material Properties*

Beton bertulang K-300 digunakan untuk material konstruksi pada semua elemen struktur primer seperti balok, kolom dan pelat. *Input* data material dilaksanakan dengan memakai ETABS dengan urutan pilihan sebagai berikut : *Define – Material – Properties*.

Material Property Data

General Data

Material Name: K-300

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 23.5631 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2402.77 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 23452.95 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 9772.06 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Gambar 4.8 Input Material Properties

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2) Input Frame Section (Elemen Struktur)

Input data *Frame section* yaitu struktur primer diantaranya balok, kolom, dan pelat, *Input frame section* dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut :

a. Input Data Balok

Langkah dalam menginput data balok ke aplikasi ETABS balok adalah : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G1 (40x80)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 800 mm

Width: 400 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

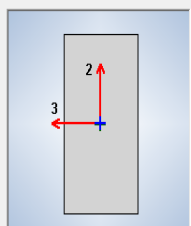
Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column



Gambar 4.9 Input Balok G1 400 x 800

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G2 (40x70)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm

Width: 400 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

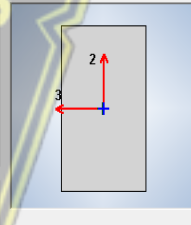
Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column



Gambar 4.10 Input Balok G2 400 x 700

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G3 (30x70)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm

Width: 300 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

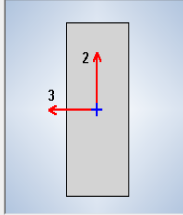
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel



Gambar 4.11 Input Balok G3 300 x 700

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G4 (30x50)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 500 mm

Width: 300 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

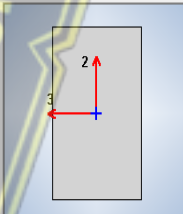
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel



Gambar 4.12 Input Balok G4 300 x 500

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G5 (30x40)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 400 mm

Width: 300 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.13 Input Balok G5 300 x 400

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B1 (25x60)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 600 mm

Width: 250 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.14 Input Balok B1 250 x 600

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B2 (25x50)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 500 mm

Width: 250 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Gambar 4.15 *Input Balok B2 250 x 500*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B3 (25x40)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 400 mm

Width: 250 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Gambar 4.16 *Input Balok B3 250 x 400*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B4 (20x40)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 400 mm

Width: 200 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

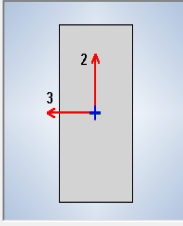
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel



Gambar 4.17 *Input Balok B4 200 x 400*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B5 (15x30)

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 300 mm

Width: 150 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

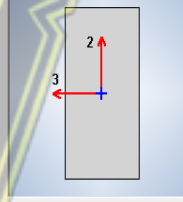
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

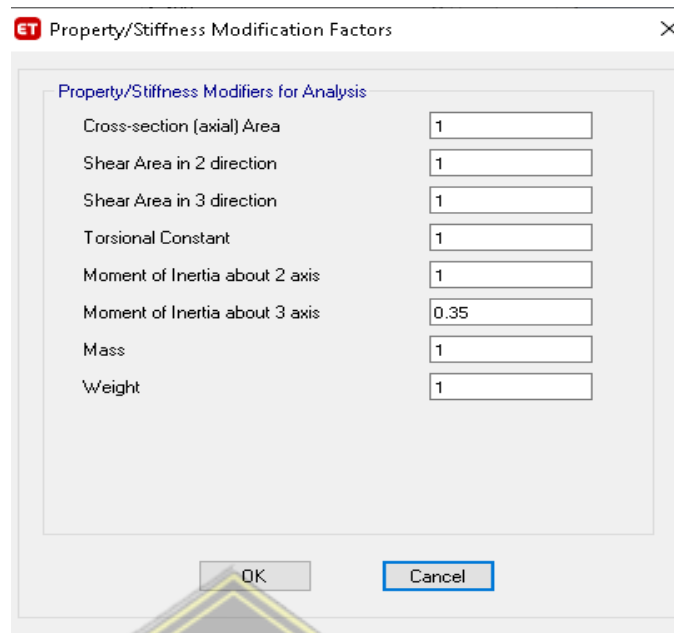
Modify/Show Rebar...

OK
Cancel



Gambar 4.18 *Input Balok B5 150 x 300*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

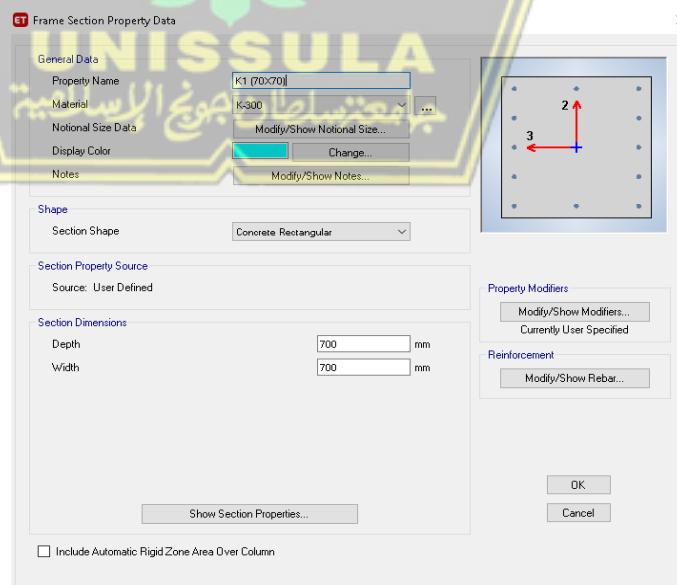


Gambar 4.19 *Input Stiffness Modification Factors Balok*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b. *Input Data Kolom*

Langkah dalam menginput data kolom ke aplikasi ETABS yaitu : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*



Gambar 4.20 *Input Kolom K1 700 x 700*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K2 [60x60]

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 600 mm

Width: 600 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

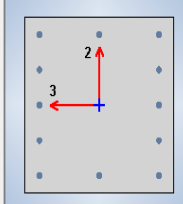
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel



Gambar 4.21 Input Kolom K2 600 x 600

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K3 [50x50]

Material: K-300

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 500 mm

Width: 500 mm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

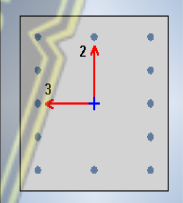
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

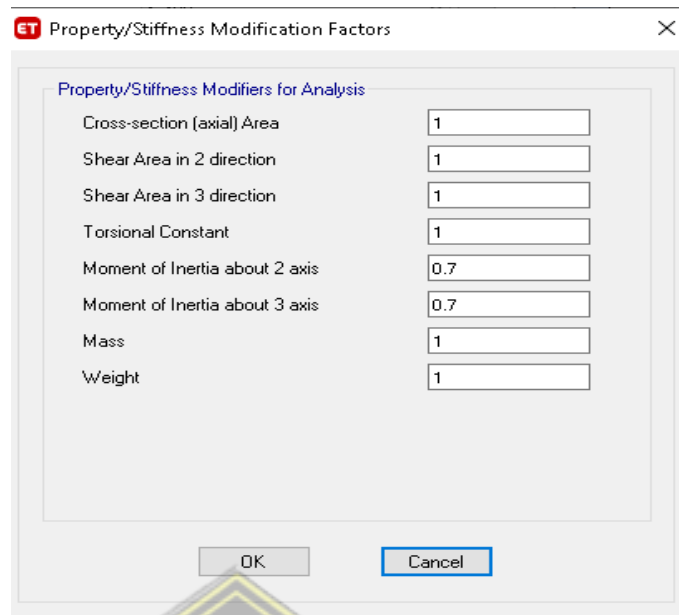
Modify/Show Rebar...

OK
Cancel



Gambar 4.22 Input Kolom K3 500 x 500

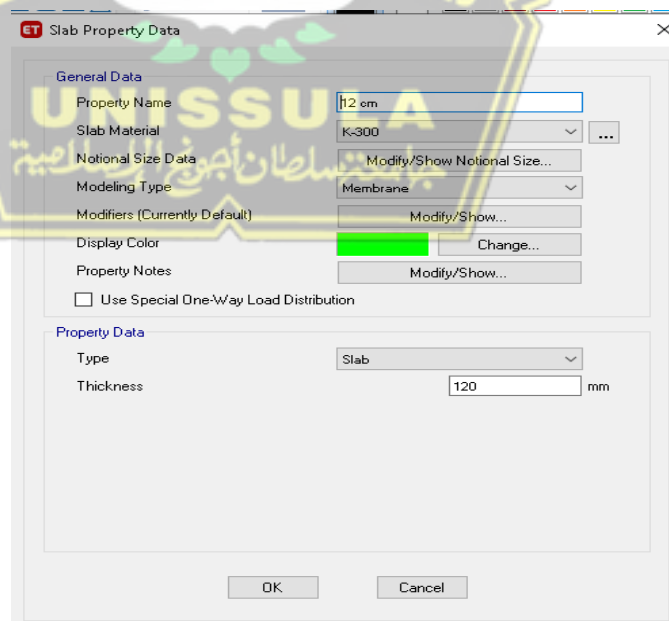
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.23 *Input Stiffness Modification Factors Kolom*
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c. *Input Data Pelat*

Langkah menginput data pelat ke aplikasi ETABS yaitu :
Define – Setion Properties – Slab Section – Add New Property



Gambar 4.24 *Input Pelat 120 mm*
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Direction	1
Membrane f22 Direction	1
Membrane f12 Direction	1
Bending m11 Direction	1
Bending m22 Direction	1
Bending m12 Direction	1
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

Gambar 4.25 *Input Stiffness Modification Factors* Pelat
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

d. *Input Data Dinding Geser*

Langkah menginput data elemen dinding geser (*shear wall*) pada aplikasi ETABS yaitu :
Draw – Draw Wall Stack – New Wall Stack – Input New Wall Stack – Input Layout Data

General Data	
Property Name	FWALL
Property Type	Specified
Wall Material	K-300
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently User Specified)	Modify/Show...
Display Color	Yellow
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Thickness	350 mm
☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall	

Gambar 4.26 *Input Dinding Geser (Shear Wall)*
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Direction	0.7
Membrane f22 Direction	1
Membrane f12 Direction	1
Bending m11 Direction	0.35
Bending m22 Direction	1
Bending m12 Direction	1
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

Gambar 4.27 *Input Stiffness Modification Factors* Dinding Geser

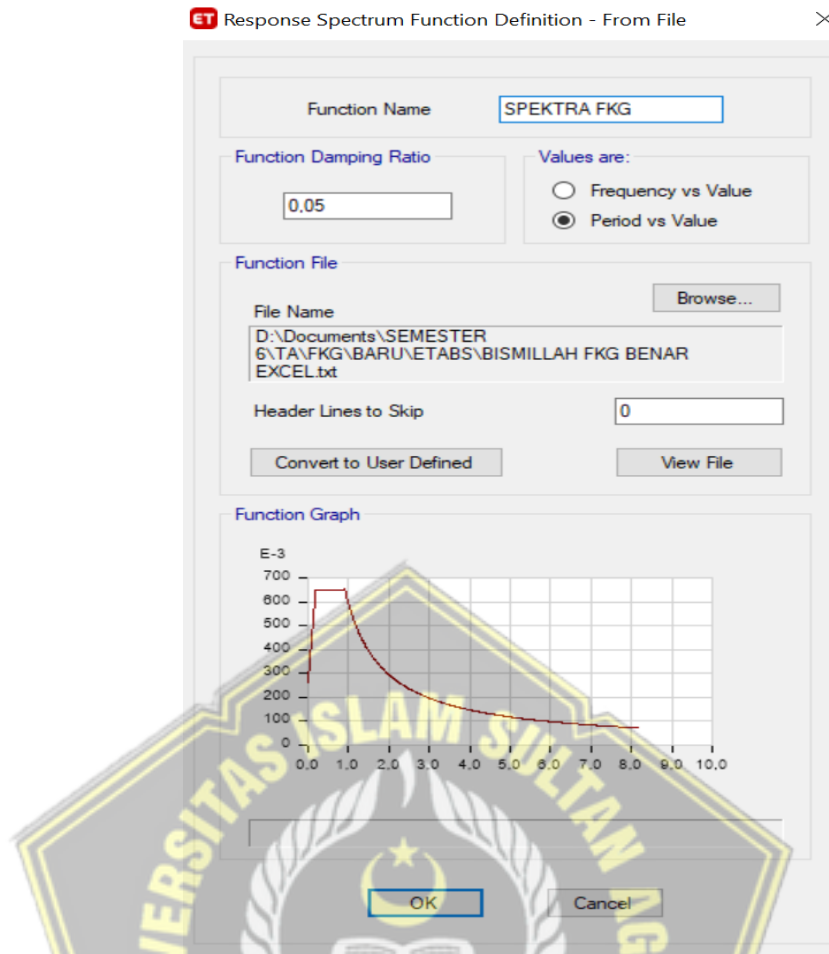
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3) *Input Beban Gempa Respons Spektrum*

Adapun urutan langkah-langkah yang digunakan untuk mengkalkulasi beban gempa pada gedung perkuliahan fakultas kedokteran gigi menggunakan peraturan yang ada pada SNI 1726–2019 sebagai berikut :

- Dari peta Hazard dihasilkan nilai S_s dan S_1 dan periode gempa didapatkan dari website Desain Spektra Indonesia 2022
- Langkah memasukkan data untuk respons spektrum pada aplikasi ETABS adalah sebagai berikut :

Define – function – respons spektrum – masukkan data yang telah didapatkan dari website Desain Spektra Indonesia kedalam Respon spektrum function definition.



Gambar 4.28 Penambahan Fungsi Respons Spektrum

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

- c. *Input* beban gempa dari cara diatas ke dalam *Load Case* baik untuk X ataupun arah Y, untuk arah X *Load name* menggunakan U1, untuk arah Y menggunakan *Define - Load name – Add new Case – Load Case Type – Respons Spektrum – Input* sesuai perencanaan

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box for a load case named 'SPEC-X'. The 'General' tab is active, showing 'Load Case Name' as 'SPEC-X', 'Load Case Type' as 'Response Spectrum', 'Mass Source' as 'Previous (DL)', and 'Analysis Model' as 'Default'. The 'Loads Applied' section contains a table with one entry: 'Acceleration' (Load Type), 'U1' (Load Name), 'SPEKTRA FKG' (Function), and '2102.142857' (Scale Factor). The 'Other Parameters' section includes 'Modal Load Case' (Modal), 'Modal Combination Method' (CQC), 'Include Rigid Response' (unchecked), 'Rigid Frequency, f1' and 'f2' (empty), 'Periodic + Rigid Type' (empty), 'Earthquake Duration, td' (empty), 'Directional Combination Type' (SRSS), 'Absolute Directional Combination Scale Factor' (empty), 'Modal Damping' (Constant at 0.05), and 'Diaphragm Eccentricity' (0 for All Diaphragms). Buttons for 'Design...', 'Notes...', 'Add', 'Delete', 'Advanced', 'OK', and 'Cancel' are visible.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SPEKTRA FKG	2102.142857

Gambar 4.29 Penambahan *Load Case Data* Respons Spektrum Arah X
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box for a load case named 'SPEC-Y'. The 'General' tab is active, showing 'Load Case Name' as 'SPEC-Y', 'Load Case Type' as 'Response Spectrum', 'Mass Source' as 'Previous (DL)', and 'Analysis Model' as 'Default'. The 'Loads Applied' section contains a table with one entry: 'Acceleration' (Load Type), 'U2' (Load Name), 'SPEKTRA FKG' (Function), and '2102.142857' (Scale Factor). The 'Other Parameters' section includes 'Modal Load Case' (Modal), 'Modal Combination Method' (CQC), 'Include Rigid Response' (unchecked), 'Rigid Frequency, f1' and 'f2' (empty), 'Periodic + Rigid Type' (empty), 'Earthquake Duration, td' (empty), 'Directional Combination Type' (SRSS), 'Absolute Directional Combination Scale Factor' (empty), 'Modal Damping' (Constant at 0.05), and 'Diaphragm Eccentricity' (0 for All Diaphragms). Buttons for 'Design...', 'Notes...', 'Add', 'Delete', 'Advanced', 'OK', and 'Cancel' are visible.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	SPEKTRA FKG	2102.142857

Gambar 4.30 Penambahan *Load Case Data* Respons Spektrum Arah Y
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.3 Formulasi Pembebanan Struktur

Pada perancangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung, kombinasi pembebanan yang akan digunakan disesuaikan dengan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 2.3.1 dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik disesuaikan dengan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 2.3.6 sebagai berikut :

$$1,4 D \quad (4.4)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (4.5)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (4.6)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (4.7)$$

$$0,9 D + 1,0 W \quad (4.8)$$

Pembebanan pada permodelan struktur untuk beban bangunan itu sendiri atau beban mati dan beban mati tambahan seperti beban luasan merata yang berada pada pelat lantai, dengan mengasumsikan beban mati tambahan itu berupa beban plafond, finishing lantai, penggantung, dan beban mati lainnya yang ada pada bangunan tersebut.

Pembebanan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat lantai sesuai dengan peraturan SNI 1726–2019. Sedangkan beban hidup yang akan digunakan dalam analisis struktur sebagai berikut :

1. Ruang Kelas $= 1,92 \text{ kN/m}^2$

2. Atap Datar $= 0,96 \text{ kN/m}^2$

4.4 Analisis Beban Seismik

Pembebanan seismik pada struktur Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung dianalisis sesuai dengan peraturan SNI 1726–2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung atau Non Gedung.

4.4.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung merupakan gedung yang digunakan untuk ruang perkuliahan. Berdasarkan SNI 1726–2019 Tabel 3 gedung ini masuk ke dalam kategori risiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,50.

4.4.2 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

Parameter Respon Spektral Gempa Terpetakan (Nilai S_s dan S_1). Parameter respons tabel pada gempa desain dikerjakan dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia tahun 2022 yang telah tersedia pada laman resmi PUPR Indonesia. Caranya dengan memasukkan koordinat atau nama kota yang akan dibangun dan hasil akan otomatis diperoleh.

Nilai parameter respons tabel pada gempa desain pada lokasi Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung akan dibangun sesuai dengan tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

Variabel	Nilai
PGA	0,3168
S_s	0,7247
S_1	0,3265

4.4.3 Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726–2019 tentang nilai klasifikasi situs ($\bar{N}$) Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung termasuk kategori Tanah Lunak (SE) karena $\bar{N} < 50$.

4.4.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Penentuan data koordinat dari lokasi gedung ini dengan menentukan jenis tanahnya kemudian akan didapat nilai parameter respon spektral gempa tertarget yang ada pada tabel 4.7. Nilai dari parameter respon spektral percepatan gempa tertarget periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) telah sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2022 pada halaman resmi Kementrian PUPR.

Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Variabel	Nilai
S_{ms}	0,975
S_{m1}	0,885

4.4.5 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Penentuan data koordinat dari lokasi gedung ini dengan menentukan jenis tanahnya kemudian akan didapat nilai parameter respon spektral gempa desain yang ada pada tabel 4.8. Nilai dari parameter respon spektral percepatan gempa desain pada periode pendek (S_{ds}) dan periode 1 detik (S_{d1}) telah sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2022 pada halaman resmi Kementerian PUPR.

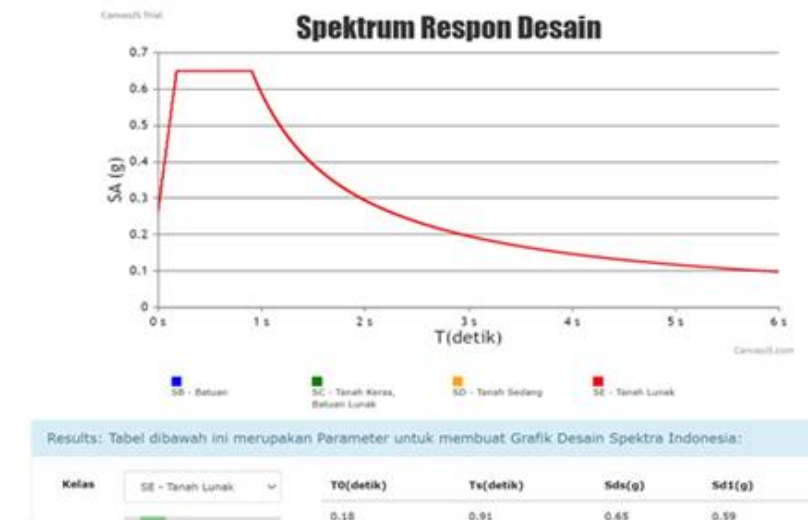
Tabel 4.8 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Variabel	Nilai
S_{ds}	0,65
S_{d1}	0,59

4.4.6 Spektrum Respon Desain

Spektrum respon desain dapat dihitung dengan mengacu pada SNI 1726–2019 Pasal 6.4. Pembuatan spektrum respons desain membutuhkan nilai periode dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada SNI 1726–2019 yang dimulai dari T_0 , T_s hingga periode selanjutnya.

Nilai spektrum respon desain juga dapat diperoleh secara langsung melalui laman resmi yang telah disediakan oleh Kementerian PUPR. Nilai yang telah didapat dari laman tersebut ditampilkan dengan grafik hubungan antara periode dan respon percepatan gempa. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.31 Grafik Nilai Spektrum Respon Desain

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.7 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik yang digunakan dalam perencanaan ini sesuai dengan SNI 1726–2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Berdasarkan peraturan tersebut, gedung ini termasuk ke dalam Kategori Risiko IV dan memiliki $S_{Ds} \geq 0.5$ dan nilai $S_{D1} \geq 0.2$ sehingga penentuan Kategori Desain Seismik dapat memakai SNI 1726–2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Sesuai dengan tabel tersebut, gedung ini termasuk ke dalam Kategori Desain Seismik D.

4.4.8 Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban gempa struktur diperlukan penentuan nilai massa di tiap lantainya di mana beban yang digunakan merupakan beban struktur tiap lantai itu sendiri dan beban hidup yang bekerja pada pelat pada lantai. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 100% beban mati ditambah minimum 25% beban hidup sesuai dengan SNI 1726 pasal 7.7.2

$$W = 100 \% DL + 25 \% LL \quad (4.9)$$

Keterangan :

W = Berat Seismik Efektif

DL = Berat mati (berat sendiri) struktur pada setiap lantai gedung

LL = Beban hidup total pada setiap lantai gedung

Penentuan massa dan pusat massa pada setiap lantai diperoleh dengan menghitung volume struktur beton pada setiap lantai dan digunakan sebagai beban sendiri struktur sedangkan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat harus sesuai dengan Tabel 4.3.1 SNI 1727–2019. Hasil dari perhitungan beban setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.9.

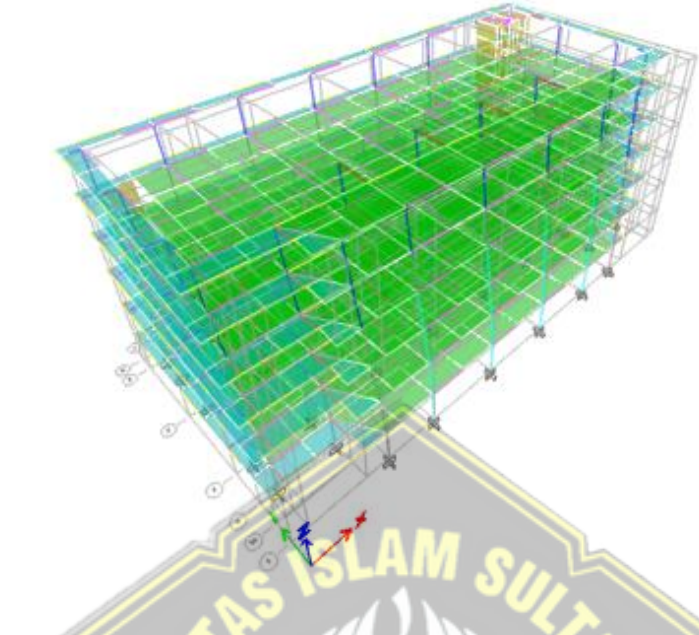
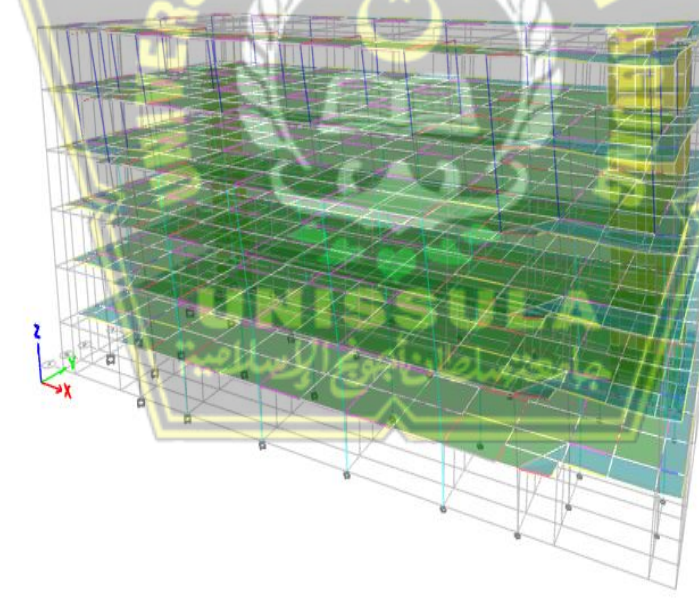
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Beban Tiap Lantai

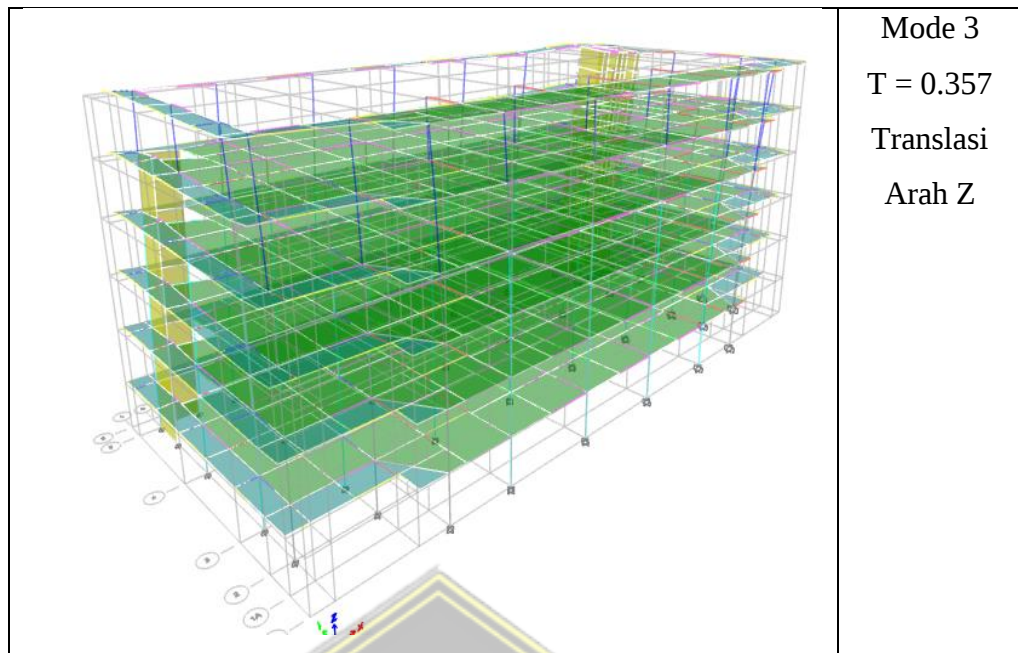
Lantai	Massa (Kg)	Pusat Massa X (m)	Pusat Massa Y (m)
Atap	293652,65	29,07	13,82
Lantai 5	861587,20	28,46	15,76
Lantai 4	913132,61	28,13	15,87
Lantai 3	933796,43	28,12	15,84
Lantai 2	933796,43	28,12	15,84
Lantai 1	919758,25	28,08	15,80
Total	4855723,57		

4.4.9 Analisa Dinamik Getaran

Dengan bantuan *software* ETABS didapatkan hasil analisa dinamik getaran bebas akibat gempa dan dapat melihat ragam gempa yang terjadi. Bentuk ragam yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Bentuk Ragam dan Periode Getar ETABS

	Mode 1 $T = 0.813$ Translasi Arah Y
	Mode 2 $T = 0.534$ Translasi Arah X



4.4.10 Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa

1) Kontrol Bentuk Ragam dan Partisipasi Massa Bangunan

Pada SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1. Penjumlahan respon ragam pada jumlah pola getar harus mencakup keikutsertaan massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 100% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Berikut ini adalah hasil partisipasi massa dari hasil analisis ETABS yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan

MODE	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	RZ (%)	Sum UX (%)	Sum UY (%)	Sum RZ (%)
1	0,81	0,17	0,32	0,21	17%	32%	21%
2	0,53	0,33	0,30	0,06	46%	66%	27%
3	0,36	0,26	0,03	0,41	72%	69%	68%
4	0,23	0,02	0,05	0,05	74%	74%	72%
5	0,15	0,06	0,01	0,02	81%	75%	74%
6	0,13	0,06	0,13	0	87%	88%	75%
7	0,11	0	0	0	87%	88%	75%
8	0,11	0	0	0	87%	88%	75%
9	0,10	0	0	0	87%	88%	75%

10	0,10	0	0	0	87%	88%	75%
11	0,09	0,04	0,01	0,14	91%	89%	89%
12	0,08	0,03	0,01	0,02	94%	91%	91%
13	0,06	0,01	0,05	0	95%	95%	91%
14	0,05	0,02	0	0,01	97%	95%	92%
15	0,04	0	0,01	0,01	98%	97%	92%
16	0,04	0,01	0,01	0,04	98%	98%	96%
17	0,04	0,01	0	0	99%	98%	97%
18	0,03	0	0,01	0	99%	99%	97%
19	0,03	0	0	0	100%	99%	97%
20	0,03	0	0	0,02	100%	100%	99%
21	0,02	0	0	0,01	100%	100%	100%

Dari Tabel 4.11 terlihat bahwa bangunan memiliki partisipasimassa yang di syaratkan berada pada modal ke 21 dengan modal yang ditinjau sebanyak 21 modal.

2) Cek Waktu Getar Alami Struktur

Waktu getar alami mendapatkan nilai kontrol dari hasil program dibatasi dengan ketentuan :

$T_c < T_a$, maka diambil perhitungan manual T_a

$T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka diambil perhitungan manual *software* T_c

$C_u \times T_a < T_c$, maka diambil perhitungan $C_u \times T_a$

Nilai control pendekatan T_c ditetapkan dari persamaan dengan tinggi bangunan (h_n) 23,5 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726–2019 :

C_t = 0,0466 (untuk rangka beton pemikul momen)

x = 0,9 (untuk rangka beton peikul momen)

T_a = $C_t \times h_n^x$
= $(0,0466) \times (23,5)^{0,9}$
= 0,798632524 detik

Berdasarkan SNI 1726–2019, periode getar struktur (T) tidak diperbolehkan lebih dari hasil perkalian koefisien. Batasan pada periode getar yang dihitung (C_u), sesuai pada Tabel 17 SNI 1726–2019:

$$\begin{aligned}
C_u &= 1,4 \text{ (Tabel 17 koefisien batas atas periode yang dihitung)} \\
T_{max} &= C_u \times T_a \\
&= 1,4 \times 0,798632524 \\
&= 1,118085534 \text{ detik}
\end{aligned}$$

Dari Tabel 4.11 didapatkan nilai periode arah x dan arah y berdasarkan keikutsertaan massa terbesar yang terjadi pada mode 1 dan 2 yaitu :

$$T_{cx} = 0,534 \text{ detik} < T_a = 0,798632524 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 0,813 \text{ detik} < T_a = 0,798632524 \text{ detik}$$

Perhitungan ini menghasilkan periode getar struktur gedung yaitu lebih kecil dari T_a . Gedung ini didesain menggunakan waktu getar alami menggunakan $T_c = 0,798632524$ pada arah X dan $T_c = 0,798632524$ pada arah Y, bermaksud untuk gaya gempa statik yang cukup besar dan struktur mampu menahan gaya gempa tersebut.

3) Perhitungan Gaya Geser Dasar Desain

Berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 7.8.1.1 perhitungan gaya geser dasar dengan menghitung nilai koefisien respon seismik (C_s) yaitu :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{l_e}\right)} = \frac{0,65}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,139285714 \text{ g}$$

$$C_{s \text{ max}} = \frac{S_{D1}}{T \times \left(\frac{R}{l_e}\right)} = \frac{0,59}{0,798632524 \times \left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,158306314 \text{ g}$$

$$C_{s \text{ min}} = 0,044 \times S_{DS} \times l_e = 0,044 \times 0,65 \times 1,5 = 0,0429 \text{ g}$$

Nilai diatas menunjukkan C_s melebihi $C_{s \text{ max}}$ maka digunakan yaitu $C_s = 0,158306314 \text{ g}$. Perhitungan ini yang dihasilkan ETABS didapatkan nilai pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Output* Gaya Geser Dasar Statik

LANTAI	Elevasi (m)	F_x (kN)	F_y (kN)
ATAP	23,5	594,14	594,14
LANTAI 5	19,5	1334,50	1334,50
LANTAI 4	15,5	2199,04	2199,04
LANTAI 3	11,5	2859,15	2859,15
LANTAI 2	7,5	3334,95	3334,95
LANTAI 1	3,5	3516,51	3516,51
TOTAL		13838,29	13838,29

Perhitungan gaya geser seismik statik yang dihasilkan ETABS tidak boleh diambil kurang dari 100% sebagai syart nominal dan kalkulasi gaya geser dasar seismik dinamik dan didapatkan nilai Tabel 4.13.

Tabel 4.13 *Output* Gaya Geser Dasar Dinamik

LANTAI	Elevasi (m)	F_x (kN)	F_y (kN)
ATAP	23,5	411,10	487,40
LANTAI 5	19,5	1284,99	1467,05
LANTAI 4	15,5	1968,49	2198,76
LANTAI 3	11,5	2456,23	2705,26
LANTAI 2	7,5	2762,02	3014,64
LANTAI 1	3,5	2884,74	3132,44
TOTAL		11767,58	13005,54

Pada SNI 172–2019 Pasal 7.91.4.1, hasil akhir gaya geser dinamik struktur terhadap pembebanan gempa nominal akibat gempa rencana dalam satu arah tertentu tidak boleh kurang dari 100% dari nilai respons ragam pertama atau sebagai berikut :

$$V_{\text{dinamik}} \geq 100 \% V_{\text{statik}} \quad (4.10)$$

Perbandingan antara V_{dinamik} dan 100 % V_{statik} pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

	Vdinamik (kN)	Vstatik (kN)	$\frac{V_{dinamik}}{V_{statik}} \times 100 \% = 100 \%$
Sumbu X	2884,74	3516,51	86% (tidak memenuhi)
Sumbu Y	3132,44	3516,51	63% (tidak memenuhi)

Nilai Vdinamik masih kurang dari 100 % Vstatik, maka dari itu dilakukan pembesaran gaya gempa dengan caragaya dikalikan dengan $\frac{V_{dinamik}}{V_{statik}}$ sesuai SNI 1726–2019 Pasal 7.9.1.4.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Pembesaran gempa arah x} &= \frac{2884,74}{3516,51} \times \frac{G \times l_e}{R} \\
 &= 0,820 \times 2102,14 \\
 &= 1724,48 \\
 \text{Faktor Pembesaran gempa arah y} &= \frac{3132,44}{3516,51} \times \frac{G \times l_e}{R} \\
 &= 0,891 \times 2102,14 \\
 &= 1872,55
 \end{aligned}$$

Pada kedua arah nilai gempa diperbesar sehingga diperoleh nilai gaya dasar dinamik dengan nilai pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Output Gaya Geser Dinamik Setelah Pembesaran Gaya Gempa

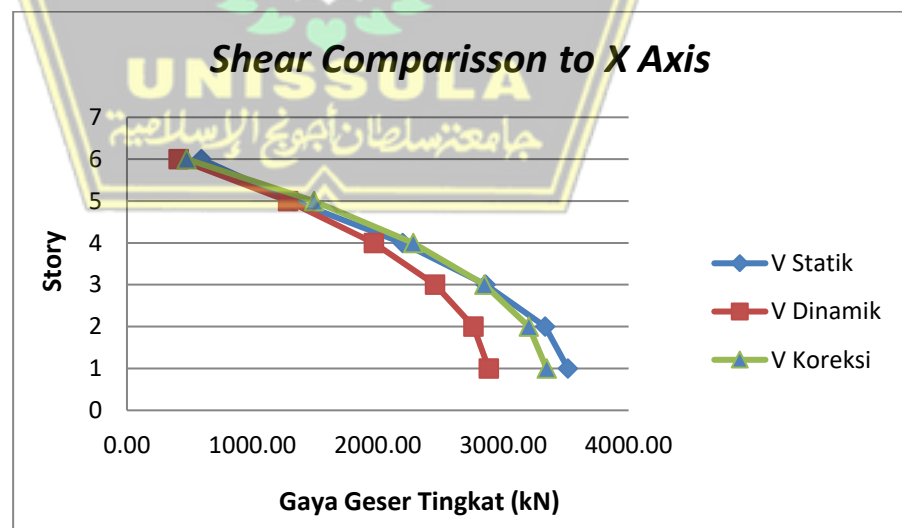
LANTAI	Elevasi (m)	F_x (kN)	F_y (kN)
ATAP	23,5	476,88	521,51
LANTAI 5	19,5	1490,59	1569,74
LANTAI 4	15,5	2283,45	2352,67
LANTAI 3	11,5	2849,22	2894,63
LANTAI 2	7,5	3203,95	3225,66
LANTAI 1	3,5	3346,30	3351,71
TOTAL		13650,39	13915,93

Tabel 4.16 *Output Gaya Geser Gempa Arah X*

STORY	GEMPA STATIK X	GEMPA DINAMIK X	GEMPA DINAMIK CORRECTION X
LANTAI 1	3516,51	2884,74	3346,30
LANTAI 2	3334,95	2762,02	3203,95
LANTAI 3	2859,15	2456,23	2849,22
LANTAI 4	2199,04	1968,49	2283,45
LANTAI 5	1334,50	1284,99	1490,59
ATAP	594,14	411,10	476,88

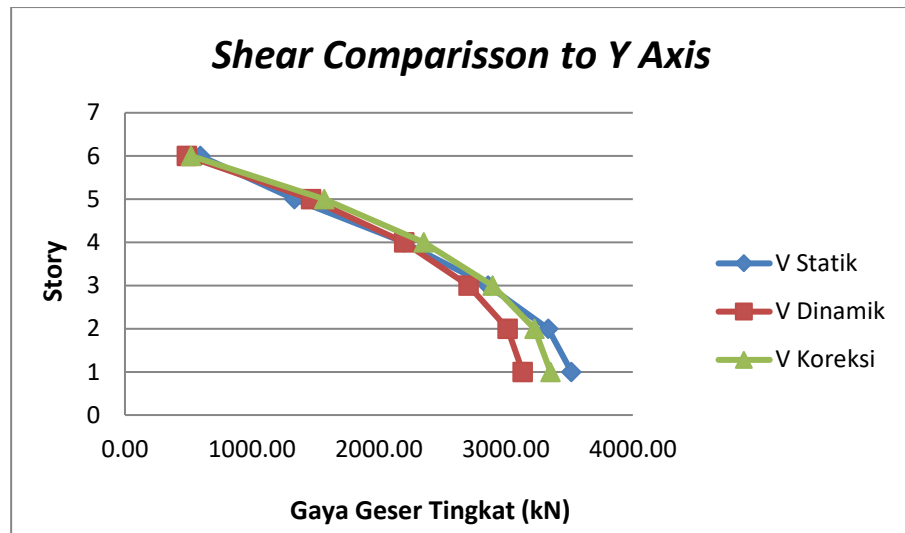
Tabel 4.17 *Output Gaya Geser Gempa Arah Y*

STORY	GEMPA STATIK Y	GEMPA DINAMIK Y	GEMPA DINAMIK CORRECTION Y
LANTAI 1	3516,51	3132,44	3351,71
LANTAI 2	3334,95	3104,64	3225,66
LANTAI 3	2859,15	2705,26	2894,63
LANTAI 4	2199,04	2198,76	2352,67
LANTAI 5	1334,50	1467,05	1569,74
ATAP	594,14	487,40	521,51



Gambar 4.32 *Shear Comparisson to X Axis*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.33 *Shear Comparisson to Y Axis*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.5 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat

Kriteria simpangan mengacu pada SNI 1726–2019 dengan factor sebagai berikut :

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 12, SNI 1726–2019)
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 4, SNI 1726–2019)
- Faktor redundansi untuk gedung dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726–2019)

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin untuk Gedung dengan kategori resiko IV adalah $(0,010) \times H$, dimana H adalah tinggi tingkat.

Menurut SNI 1726–2019 Pasal 7.8.6, Simpangan antar lantai dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Simpangan antar lantai} = (\Delta_n - \Delta_i)$$

Sesuai dengan analisa *software* ETABS didapat simpangan arah X dan Y yang diperlihatkan pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19.

Tabel 4.18 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah X

STORY	hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KETERANGAN
ATAP	4000	33,20	121,72	20,37	40	OKE
LANTAI 5	4000	27,64	101,35	24,37	40	OKE
LANTAI 4	4000	21,00	76,99	25,28	40	OKE
LANTAI 3	4000	14,10	51,70	24,10	40	OKE
LANTAI 2	4000	7,53	27,60	19,32	40	OKE
LANTAI 1	3500	2,26	8,28	8,28	35	OKE

Tabel 4.19 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah Y

STORY	hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KETERANGAN
ATAP	4000	50,14	183,85	30,48	40	OKE
LANTAI 5	4000	41,83	153,37	38,39	40	OKE
LANTAI 4	4000	31,36	114,98	39,18	40	OKE
LANTAI 3	4000	20,67	75,80	36,62	40	OKE
LANTAI 2	4000	10,69	39,19	28,16	40	OKE
LANTAI 1	3500	3,01	11,03	11,03	35	OKE

4.6 Pengecekan P – Delta

Mengecek P-delta berdasarkan SNI 1726–2019 pasal 7.8.7, untuk nilai θ adalah acuan untuk menentukan kestabilan bangunan terhadap P – Delta. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus berikut :

$$\theta = \frac{P_x(\Delta)l_e}{V_x(h_{sx})Cd} \quad (4.11)$$

Keterangan :

P_x = Beban desain vertical total pada bangunan diatas tingkat –x (kN) bila menghitung P_x , factor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = Simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

l_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan x–1 (kN)

H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x , (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12

Jika nilai θ lebih kecil dari nilai θ maks, maka pengaruh $P - \Delta$ bisa diabaikan. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus :

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (4.12)$$

Tabel 4.20 Pengecekan $P - \Delta$ Arah X

STORY	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x (kN)	θ	$\theta_{\max}$	Keterangan
ATAP	4000	20,37	5204,94	594,14	0,04	0,33	STABIL
LANTAI 5	4000	24,37	20439,05	1490,59	0,08	0,33	STABIL
LANTAI 4	4000	25,28	36042,92	2283,45	0,10	0,33	STABIL
LANTAI 3	4000	24,10	51646,80	2859,15	0,11	0,33	STABIL
LANTAI 2	4000	19,32	64914,39	3334,95	0,07	0,33	STABIL
LANTAI 1	3500	8,28	82562,51	3516,51	0,06	0,33	STABIL

Tabel 4.21 Pengecekan $P - \Delta$ Arah Y

STORY	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_y (kN)	θ	$\theta_{\max}$	Keterangan
ATAP	4000	30,48	5204,94	594,14	0,07	0,33	STABIL
LANTAI 5	4000	38,39	20439,05	1569,74	0,12	0,33	STABIL
LANTAI 4	4000	39,18	36042,92	2352,67	0,15	0,33	STABIL
LANTAI 3	4000	36,62	51646,80	2894,63	0,11	0,33	STABIL
LANTAI 2	4000	28,16	64914,39	3334,95	0,08	0,33	STABIL
LANTAI 1	3500	11,03	82562,51	3516,51	0,08	0,33	STABIL

4.7 Pengecekan Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal

4.7.1 Ketidakberaturan Horizontal

Berdasarkan SNI 1726–2019 penentuan tipe ketidakberaturan torsi 1a dan torsi 1b berdasarkan defleksi maksimum ($\delta_{\max}$), defleksi minimum ($\delta_{\min}$), dan defleksi rata-rata (δ_{avg}).

$\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$ = Tanpa ketidakberaturan torsi

$1,2 \delta_{\text{avg}} < \delta_{\max} < 1,4 \delta_{\text{avg}}$ = Ketidakberaturan torsi 1a

$\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}}$ = Ketidakberaturan 1b

Tabel 4.22 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah X

Story	δA (mm)	δAi (mm)	δb (mm)	δBi (mm)	δMAX (mm)	$\delta \text{AVERAGE}$ (mm)	$1,2 \delta \text{AVERAGE}$ (mm)	$1,4 \delta \text{AVERAGE}$ (mm)	Ketidakberaturan Torsi	Ketidakberaturan Torsi
ATAP	3.56	-1.11	1.07	-1.48	-1.11	-1.29	-1.55	-1.81	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 5	4.67	-0.25	2.55	-0.16	-0.16	-0.21	-0.25	-0.29	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 4	4.92	0.35	2.71	0.17	0.35	0.26	0.31	0.37	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	TANPA KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 3	4.57	0.94	2.54	0.61	0.94	0.78	0.93	1.09	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	TANPA KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 2	3.62	2.04	1.93	1.21	2.04	1.63	1.95	2.28	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	TANPA KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 1	1.58	1.58	0.72	0.72	1.58	1.15	1.38	1.61	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	TANPA KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN

Tabel 4.23 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah Y

Story	δA (mm)	δAi (mm)	δb (mm)	δBi (mm)	δMAX (mm)	$\delta \text{AVERAGE}$ (mm)	$1,2 \delta \text{AVERAGE}$ (mm)	$1,4 \delta \text{AVERAGE}$ (mm)	Ketidakberaturan Torsi	Ketidakberaturan Torsi
ATAP	0.37	-1.00	5.03	-2.17	-1.00	-1.58	-1.90	-2.21	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 5	1.37	-0.11	7.20	-0.06	-0.06	-0.08	-0.10	-0.12	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 4	1.48	0.08	7.25	0.82	0.82	0.45	0.54	0.63	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 3	1.40	0.30	6.43	1.56	1.56	0.93	1.12	1.30	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 2	1.10	0.66	4.87	3.01	3.01	1.83	2.20	2.57	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN
LANTAI 1	0.44	0.44	1.86	1.86	1.86	1.15	1.38	1.61	DENGAN KETIDAK BERATURAN TORSI	KETIDAK BERATURAN TORSI BERLEBIHAN

4.7.2 Ketidakberaturan Vertikal

1) Ketidakberaturan Kekuatan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan ini didefinisikan ada jika suatu tingkat kekuatan lateralnya kurang 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Berikut ini tabel perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak :

Tabel 4.24 Ketidakberaturan Vertikal (Tipe 1a) Arah X

STORY	h_{sx} (mm)	h (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Story Drift	70 %	KET	80 %	RATA-RATA 3 TINGKAT DIATAS	KET
ATAP	4000	0	33,20	121,72	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 5	4000	0	27,64	101,35	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 4	4000	0	21,00	76,99	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 3	4000	0	14,10	51,70	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 2	4000	800	7,53	27,60	0,03	0,02	OKE	0,03	0,03	OKE
LANTAI 1	3500	3200	2,26	8,28	0	0	OKE	0	0	OKE

Tabel 4.25 Ketidakberaturan Vertikal (tipe 1a) Arah Y

STORY	h_{sx} (mm)	h (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Story Drift	70%	KET	80%	RATA-RATA 3 TINGKAT DIATAS	KET
ATAP	4000	0	50,14	183,85	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 5	4000	0	41,83	153,37	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 4	4000	0	31,36	114,98	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 3	4000	0	20,67	75,80	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 2	4000	800	10,69	39,19	0,05	0,03	OKE	0,04	0,05	OKE
LANTAI 1	3500	3200	3,01	11,03	0	0	OKE	0	0	OKE

2) Ketidakberaturan Kekuatan Tingkat Lunak Berlebihan

Ketidakberaturan ini diartikan jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya tidak lebih dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau tidak lebih dari dari 70% kekakuan rata-rata tingkat.

Tabel 4.26 Ketidakberaturan Vertikal (tipe 1b) Arah X

<i>STORY</i>	<i>hsx</i> (mm)	<i>h</i> (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	<i>Story Drift</i>	60 %	KET	70 %	RATA-RATA 3 TINGKAT DIATAS	KET
ATAP	4000	0	33,20	121,72	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 5	4000	0	27,64	101,35	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 4	4000	0	21,00	76,99	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 3	4000	0	14,10	51,70	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 2	4000	800	7,53	27,60	0,03	0,02	OKE	0,02	0,03	OKE
LANTAI 1	3500	3200	2,26	8,28	0	0	OKE	0	0	OKE

Tabel 4.27 Ketidakberaturan Vertikal (tipe 1b) Arah Y

<i>STORY</i>	<i>hsx</i> (mm)	<i>h</i> (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	<i>Story Drift</i>	60 %	KET	70 %	RATA-RATA 3 TINGKAT DIATAS	KET
ATAP	4000	0	50,14	183,85	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 5	4000	0	41,83	153,37	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 4	4000	0	31,36	114,98	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 3	4000	0	20,67	75,80	0	0	OKE	0	0	OKE
LANTAI 2	4000	800	10,69	39,19	0,05	0,03	OKE	0,03	0,05	OKE
LANTAI 1	3500	3200	3,01	11,03	0	0	OKE	0	0	OKE

3) Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau.

Tabel 4.28 Ketidakberaturan Berat (Massa)

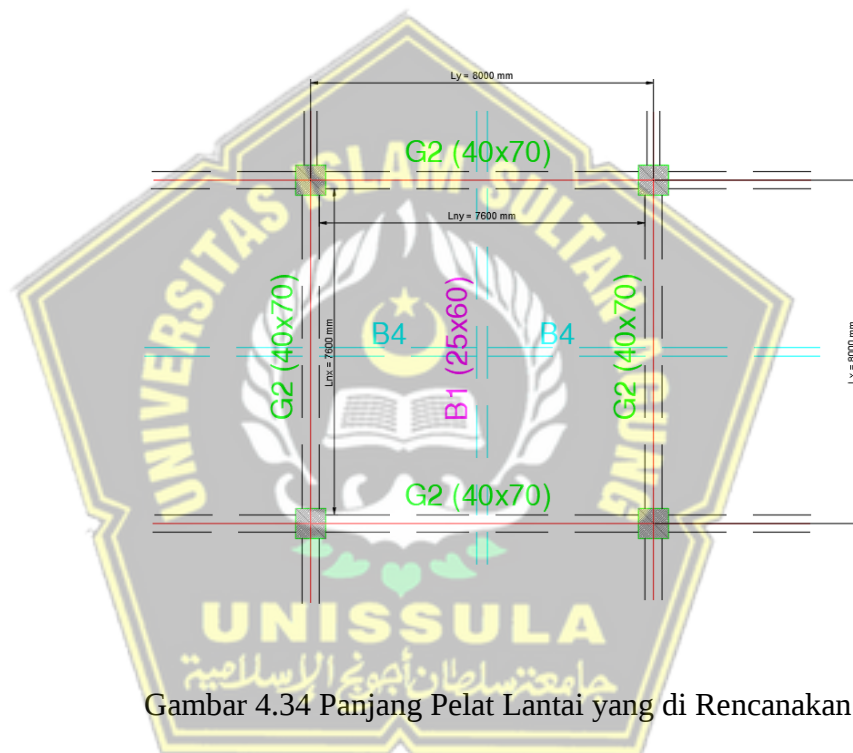
<i>STORY</i>	Berat	150 % <i>W</i>	<i>W</i> < 1,5 <i>W</i> Atas	<i>W</i> < 1,5 <i>W</i> bawah
ATAP	293652,7	440479	-	OKE
LANTAI 5	861587,2	1292381	OKE	OKE
LANTAI 4	913132,6	1369699	OKE	OKE
LANTAI 3	933796,4	1400695	OKE	OKE
LANTAI 2	933796,4	1400695	OKE	OKE
LANTAI 1	919758,3	1379637	OKE	-

4.8 Perancangan Pelat

Peraturan SNI 2847–2019 ini digunakan untuk perencanaan pelat lantai yang mempunyai tujuan untuk mengetahui identifikasi pelat, penulangan pada pelat lantai, momen yang ada pada pelat yang dapat menopang beban yang telah direncanakan sebelumnya.

4.8.1 Identifikasi Pelat Lantai

Mengidentifikasi pelat ini untuk mengetahui apakah pelat yang kita desain di awal merupakan pelat satu arah atau pelat dua arah dikarenakan akan digunakan untuk menentukan rumus momen untuk detail pelat yang akan dihitung dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.34 Panjang Pelat Lantai yang di Rencanakan

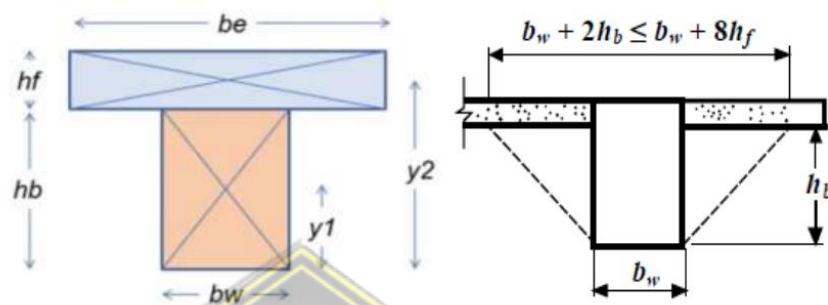
$$\frac{L_{ny}}{L_{nx}} \leq 2$$

$$\frac{7600}{7600} \leq 2$$

$$1 \leq 2 \text{ (Pelat Lantai Termasuk Pelat 2 Arah)}$$

4.8.2 Cek Ketebalan Pelat Lantai

Cek ketebalan pelat lantai apakah dengan ketebalan yang ada apakah memenuhi sesuai dengan aturan SNI 2847–2019 dimana nanti akan dibandingkan dengan Inersia balok dan inersia pelat untuk detail gambar dapat dilihat pada gambar 4.29 dibawah.



Gambar 4.35 Perencanaan Inersia Balok dan Pelat Lantai

Tabel 4.29 Dimensi Perencanaan Inersia Lebar Efektif Balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (cm)	Panjang Balok (cm)
1	G2	40	70
2	B1	25	60
3	B4	20	40

Tabel 4.30 Dimensi Perencanaan Inersia Pelat Lantai

No	Nama Pelat Lantai	Tebal Pelat Lantai (cm)
1	S1	12

▪ Inersia Balok G2 40 x 70

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$h_t = 700 \text{ mm}$$

$$hf = 125 \text{ mm (Asumsi Awal)}$$

$$hb = 700 - 125 = 575 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} be1 &= bw + 2hb \\ &= 400 + 2 \times (575) \\ &= 1550 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be2 &= bw + 8hf \\ &= 400 + 8 \times (125) \\ &= 1400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y1 &= \frac{hb}{2} \\ &= \frac{575}{2} \\ &= 287,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y2 &= hb + \left(\frac{hf}{2}\right) \\ &= 575 + \left(\frac{125}{2}\right) \\ &= 637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{A1 \times y1 + A2 \times y2}{A1 + A2} \\ &= \frac{(hb \times bw) \times y1 + (hf \times be2) \times y2}{(hb \times bw) + (hf \times be2)} \\ &= \frac{(575 \times 400) \times 287,5 + (125 \times 1400) \times 637,5}{(575 \times 400) + (125 \times 1400)} \\ &= 438,735 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ib &= \frac{1}{12} \times bw \times hb^3 + A1 \times (y - y1)^2 + \frac{1}{12} \times be2 \times hf^3 + A2 \times (y2 - y)^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 400 \times 575^3 + (575 \times 400) \times (438,735 - 287,5)^2 + \frac{1}{12} \times 1400 \times 125^3 + (125 \times 1400) \times (637,5 - 438,735)^2 \\ &= 18739226470 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

▪ Inersia Balok B1 25 x 60

$$bw = 250 \text{ mm}$$

$$ht = 600 \text{ mm}$$

$$hf = 125 \text{ mm (Asumsi Awal)}$$

$$hb = 600 - 125 = 475 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} be1 &= bw + 2hb \\ &= 250 + 2 \times (475) \\ &= 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be2 &= bw + 8hf \\ &= 250 + 8 \times (125) \\ &= 1250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{hb}{2} & y_2 &= hb + \left(\frac{hf}{2}\right) \\
 &= \frac{475}{2} & &= 475 + \left(\frac{125}{2}\right) \\
 &= 237,5 \text{ mm} & &= 537,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2}{A_1 + A_2} \\
 &= \frac{(hb \times bw) \times y_1 + (hf \times be_2) \times y_2}{(hb \times bw) + (hf \times be_2)} \\
 &= \frac{(475 \times 250) \times 237,5 + (125 \times 1250) \times 537,5}{(475 \times 250) + (125 \times 1250)} \\
 &= 407,955 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{1}{12} \times bw \times hb^3 + A_1 \times (y - y_1)^2 + \frac{1}{12} \times be_2 \times hf^3 + A_2 \times (y_2 - y)^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 250 \times 475^3 + (475 \times 250) \times (407,955 - 237,5)^2 + \frac{1}{12} \times 1250 \times 125^3 + (125 \times 1250) \times (537,5 - 407,955)^2 \\
 &= 8508641099 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

▪ Inersia Balok B4 20 x 40

$$\begin{aligned}
 bw &= 200 \text{ mm} \\
 ht &= 400 \text{ mm} \\
 hf &= 125 \text{ mm (Asumsi Awal)} \\
 hb &= 400 - 125 = 275 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 be_1 &= bw + 2hb & be_2 &= bw + 8hf \\
 &= 200 + 2 \times (275) & &= 200 + 8 \times (125) \\
 &= 750 \text{ mm} & &= 1200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{hb}{2} & y_2 &= hb + \left(\frac{hf}{2}\right) \\
 &= \frac{275}{2} & &= 275 + \left(\frac{125}{2}\right) \\
 &= 137,5 \text{ mm} & &= 337,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{A1 \times y1 + A2 \times y2}{A1 + A2} \\
 &= \frac{(hb \times bw) \times y1 + (hf \times be2) \times y2}{(hb \times bw) + (hf \times be2)} \\
 &= \frac{(275 \times 200) \times 137,5 + (125 \times 1200) \times 337,5}{(275 \times 200) + (125 \times 1200)} \\
 &= 283,841 \text{ mm} \\
 I_b &= \frac{1}{12} \times bw \times hb^3 + A1 \times (y - y1)^2 + \frac{1}{12} \times be2 \times hf^3 + A2 \times (y2 - y)^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 200 \times 275^3 + (275 \times 200) \times (283,841 - 137,5)^2 + \frac{1}{12} \times 1200 \times 125^3 + (125 \times 1200) \times (337,5 - 283,841)^2 \\
 &= 2151683181 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Inersia Pelat Lantai 125 mm

Bentang Panjang

$$\begin{aligned}
 I_s &= \frac{1}{12} \times Ly \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 8000 \times 125^3 \\
 &= 1302083333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Bentang Pendek

$$\begin{aligned}
 I_s &= \frac{1}{12} \times Ly \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 8000 \times 125^3 \\
 &= 1302083333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Cek ketebalan Pelat SNI 2847–2019 (Pasals 8.10.2.7b)

Bentang Panjang G2 dan B1

$$\alpha f1 = \frac{Ecb \times Icb}{Ecs \times Is} \qquad \alpha f2 = \frac{Ecb \times Icb}{Ecs \times Is}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{f1} &= \frac{18739226470}{1302083333} \\
 &= 14,392 \\
 &= \frac{(\alpha_{f1} + \alpha_{f2})}{2} \\
 &= \frac{(14,392 + 0,653)}{2} \\
 &= 7,523
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 \alpha_{f2} &= \frac{850641099}{1302083333} \\
 &= 0,653
 \end{aligned}$$

Bentang Pendek B1 dan B4

$$\begin{aligned}
 \alpha_{f1} &= \frac{E_{cb} \times I_{cb}}{E_{cs} \times I_s} & \alpha_{f2} &= \frac{E_{cb} \times I_{cb}}{E_{cs} \times I_s} \\
 \alpha_{f1} &= \frac{850641099}{1302083333} & \alpha_{f2} &= \frac{2151683181}{1302083333} \\
 &= 0,653 & &= 1,652 \\
 &= \frac{(\alpha_{f1} + \alpha_{f2})}{2} \\
 &= \frac{(0,653 + 1,652)}{2} \\
 &= 1,153 \\
 \alpha_{fm} &= \frac{(\text{Bentang Panjang} + \text{Bentang Pendek})}{2} \\
 &= \frac{(7,525 + 1,153)}{2} = 4,339
 \end{aligned}$$

Karena $\alpha_{fm} \geq 2$ maka rumus yang digunakan sesuai dengan tabel 8.3.1.2 pada SNI 2847–2019.

$$\begin{aligned}
 \beta &= \frac{L_{ny}}{L_{nx}} \\
 &= \frac{7600}{7600} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\min} &= \frac{\ln \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9 \times \beta} \\
 &= \frac{7600 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1} \\
 &= 18,578 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat asumsi awal 125 mm > 18,578 mm hal ini menandakan bahwa rencana tebal pelat lantai sudah aman.

4.8.3 Perhitungan Momen dan Penulangan Pelat Lantai

Pelat ini merupakan pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya dan dengan nilai $\frac{Ly}{Lx} = 1$ sehingga didapat perhitungan momen pelat lantai sebagai berikut :

$$M_{tx} = -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times \text{koef}$$

$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times L_y^2 \times \text{koef}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times \text{koef}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times L_y^2 \times \text{koef}$$

Perencanaan beban mati dan beban hidup untuk pelat lantai sebagai berikut :

a. Beban mati pelat lantai :

$$\text{Berat sendiri pelat lantai} = 2,83 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat mati tambahan pelat lantai} = 1,58 \text{ kN/m}^2$$

$$= 4,46 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban hidup pelat lantai :

$$\text{Beban hidup koridor} = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_u = 1,2 DL + 1,6 LL$$

$$= 1,2 \times (4,46) + 1,6 \times (1,92)$$

$$= 8,424 \text{ kN/m}^2$$

Momen yang terjadi pada pelat lantai dengan $L_x = 10,00$ m sebagai berikut :

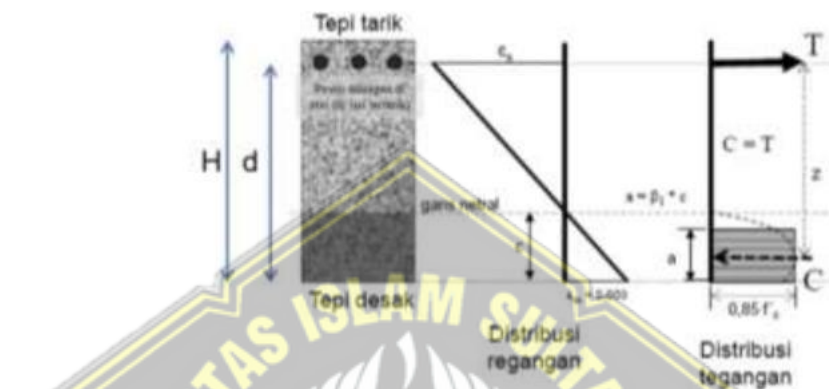
$$M_{tx} = -0,001 \times 8,424 \times (8,00)^2 \times 52 = -3,504$$

$$M_{lx} = 0,001 \times 8,424 \times (8,00)^2 \times 21 = 1,415$$

$$M_{ty} = -0,001 \times 8,424 \times (8,00)^2 \times 52 = -3,504$$

$$M_{ly} = 0,001 \times 8,424 \times (8,00)^2 \times 21 = 1,415$$

Perencanaan penulangan untuk pelat lantai dimana tulangan untuk pelat lantai ini hanya dihitung untuk tumpuan x dan lapangan x saja karena $M_{tx} = M_{ty}$ dan $M_{lx} = M_{ly}$



Gambar 4.36 Distribusi Regangan dan Tegangan Pelat Lantai

Pehitungan Penulangan Pelat Lantai Pada Tumpuan M_{tx} dan M_{ty}

1. Menentukan Tinggi Efektif Pelat Lantai

Tebal Selimut Beton = 20 mm

Asumsi D_b = 10 mm

$$\begin{aligned} D &= H - S_b - \frac{D_b}{2} \\ &= 125 - 20 - 5 \\ &= 100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung Tinggi Blok Tekan Pelat Lantai

$$M_{tx} = 3,504$$

$$\phi = 0,9$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

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

$$(0,85 \times F_c' \times a \times b) \times (D - \frac{a}{2}) = \frac{3,504 \times 10^6}{0,9}$$

$$(0,85 \times 24,9 \times a \times 1000) \times (100 - (\frac{a}{2})) = 3,893 \times 10^6$$

$$a = 1,839 \text{ mm}$$

3. Menghitung Tulangan yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,85 \times F_c' \times a \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 24,9 \times 1,839 \times 1000}{420} \\ &= 92,672 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= 0,002 \times b \times h_f \\ &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 92,672 \text{ mm}^2$$

4. Menghitung Jarak Antar Tulangan

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

$$\begin{aligned} A_{db} &= \pi \times r^2 \\ &= 3,14 \times 5^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b \times A_{db}}{A_{s \text{ Pakai}}} \\ &= \frac{1000 \times 78,5}{92,672} \end{aligned}$$

$$= 847,074 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S_{max1} &= 2 \times h_f \\ &= 2 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{max2} = 200 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 250 \text{ mm}$$

5. Momen yang Mampu Disediakan

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{b \times A_{db}}{S \text{ pasang}}$$

$$= \frac{1000 \times 78,5}{200}$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2$$

$$a \text{ (blok tekan)} = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times F_c' \times b}$$

$$= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 1000}$$

$$= 7,789 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= (392,5 \times 420) \times \left(100 - \frac{1,839}{2}\right)$$

$$= 16,333 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 16,333$$

$$= 14,670 \text{ kNm}$$

$$14,670 \geq 3,504 \text{ (OKE)}$$

Pehitungan Penulangan Pelat Lantai Pada Lapangan M_{lx} dan M_{ly}

1. Menentukan Tinggi Efektif Pelat Lantai

$$\text{Tebal Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi } D_b = 10 \text{ mm}$$

$$D = H - S_b - \frac{D_b}{2}$$

$$= 125 - 20 - 5 = 100 \text{ mm}$$

2. Menghitung Tinggi Blok Tekan Pelat Lantai

$$M_{lx} = 1,415$$

$$\phi = 0,9$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

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

$$(0,85 \times F_c' \times a \times b) \times (D - \frac{a}{2}) = \frac{1,415 \times 10^6}{0,9}$$

$$(0,85 \times 24,9 \times a \times 1000) \times (100 - (\frac{a}{2})) = 1,572 \times 10^6$$

$$a = 0,743 \text{ mm}$$

3. Menghitung Tulangan yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,85 \times F_c' \times a \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 24,9 \times 0,743 \times 1000}{420} \end{aligned}$$

$$= 37,442 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= 0,002 \times b \times h_f \\ &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 37,442 \text{ mm}^2$$

4. Menghitung Jarak Antar Tulangan

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

$$\begin{aligned} A_{db} &= \pi \times r^2 \\ &= 3,14 \times 5^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b \times A_{db}}{A_{s \text{ Pakai}}} \\ &= \frac{1000 \times 78,5}{37,442} \end{aligned}$$

$$= 2096,576 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S_{max1} &= 2 \times h_f \\ &= 2 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{max2} = 200 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 250 \text{ mm}$$

5. Momen yang Mampu Disediakan

$$As \text{ terpasang} = \frac{b \times Adb}{S \text{ pasang}}$$

$$= \frac{1000 \times 78,5}{200}$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2$$

$$a \text{ (blok tekan)} = \frac{As \times fy}{0,85 \times Fc' \times b}$$

$$= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 1000}$$

$$= 7,789 \text{ mm}$$

$$Mn = (As \times fy) \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= (392,5 \times 420) \times (100 - \frac{0,743}{2})$$

$$= 16,423 \text{ kN.m}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 16,423$$

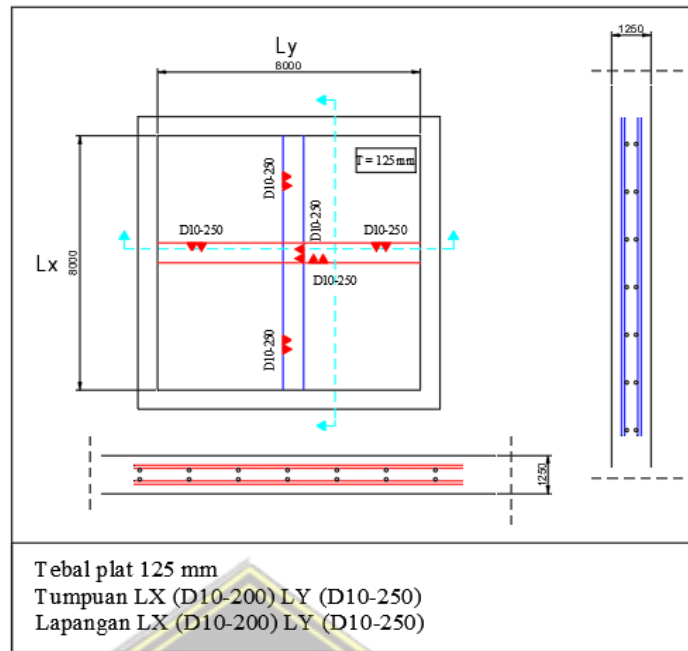
$$= 14,781 \text{ kNm}$$

$$14,781 \geq 1,415 \text{ (OKE)}$$

Detail penulangan pelat lantai bagian tumpuan dan lapangan pada pelat bisa dilihat pada tabel 4.31 dan gambar 4.31 dibawah :

Tabel 4.31 Detail Penulangan Pelat Lantai Tumpuan dan Lapangan

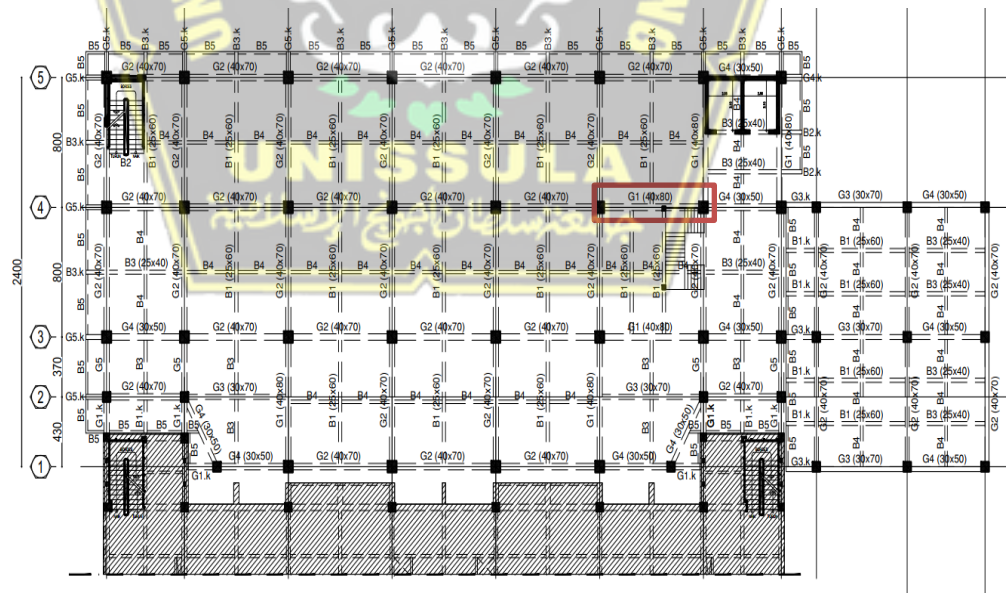
BENTANG	LX	LY
TUMPUAN	D10 - 250	D10 - 250
LAPANGAN	D10 - 250	D10 - 250



Gambar 4.37 Detail Penulangan Pelat Lantai

4.9 Perancangan Balok

4.9.1 Perhitungan Tulangan Balok



Gambar 4.38 Denah Balok Lantai 1

Perancangan balok ini menggunakan 1 sampel yang diambil dari program yaitu balok dengan dimensi 40 x 80 cm dengan bentang 8 meter dimana momen yang diambil memiliki momen paling besar dari momen lainnya dengan dimensi yang sama. Data-data balok yang direncanakan sebagai berikut :

- Mutu baja tulangan, f_y = 420 MPa
- Mutu beton, F_c' = 24,9 MPa
- Tinggi balok, H = 800 mm
- Lebar balok, B = 400 mm
- Tebal selimut beton, ρ = 40 mm
- Tulangan longitudinal, D = D – 22
- Tulangan transversal, D_s = D – 13

Syarat dimensi balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) telah diatur dalam SNI 2847–2019 Pasal 18.6.2.1 dimana ada beberapa syarat yang harus dipenuhi sehingga suatu balok dapat disebut balok SRPMK.

a. $L_n \geq d$

$$d = 800 - \text{selimut beton} - \text{diameter Sengkang} - \frac{db}{2}$$

$$= 800 - 40 - 13 - 11 = 736 \text{ mm}$$

$$L_n = 8000 - 700 = 7300 > 4d (4 \times 736) = 2944 \text{ mm) OK}$$

b. $b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm OK

$$b_w = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

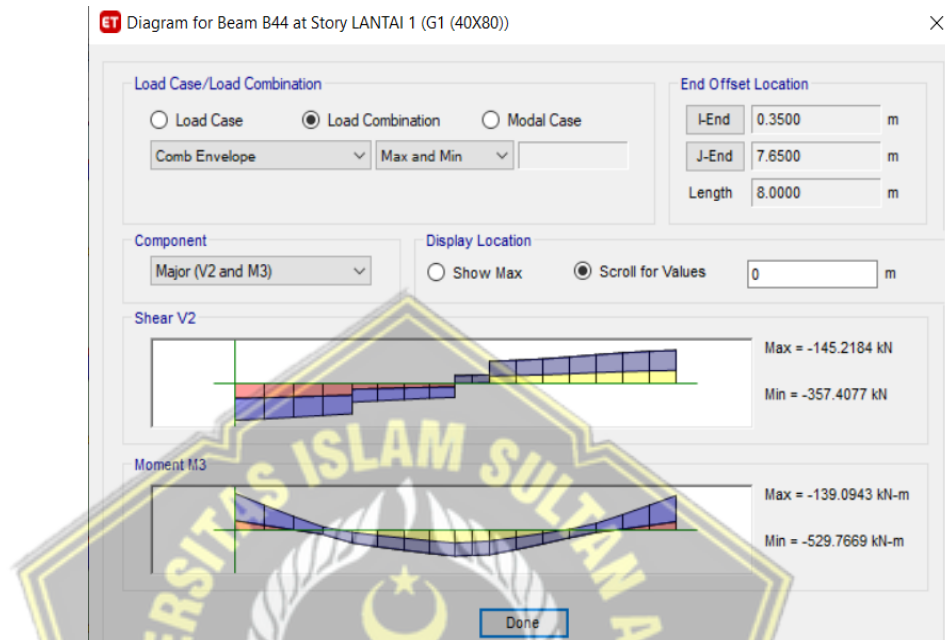
$$0,3h = 0,3 \times (800) = 240 < b_w (400) \quad \text{OK}$$

c. $b_w \leq b_{kol} + 2 \left(\min (b_{kol} ; \frac{3}{4} h_{kol}) \right)$

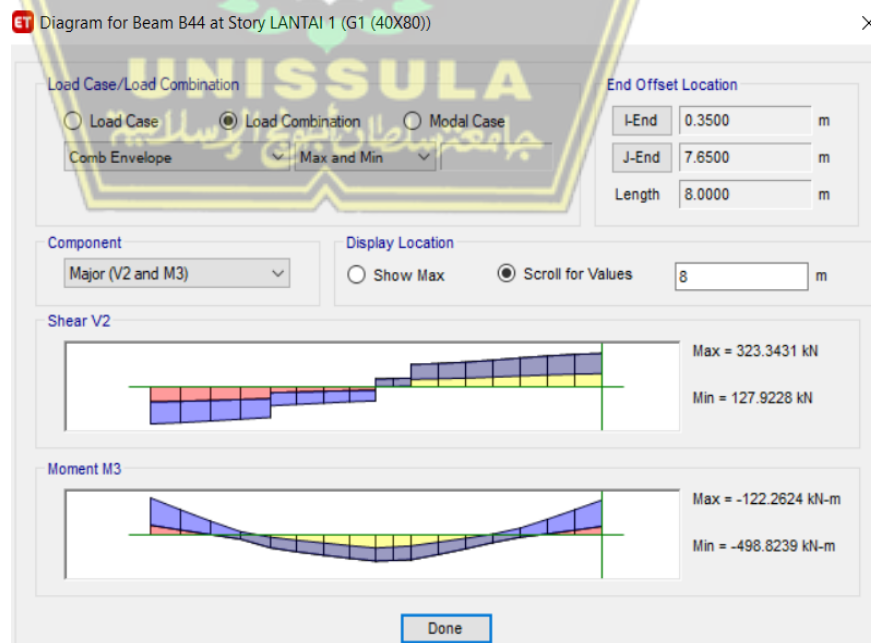
$$b_w = 400 \text{ mm} < 700 + 2 \left(\frac{3}{4} \times 700 \right) = 1750 \quad \text{OK}$$

1) Perhitungan Tulangan Lentur Balok

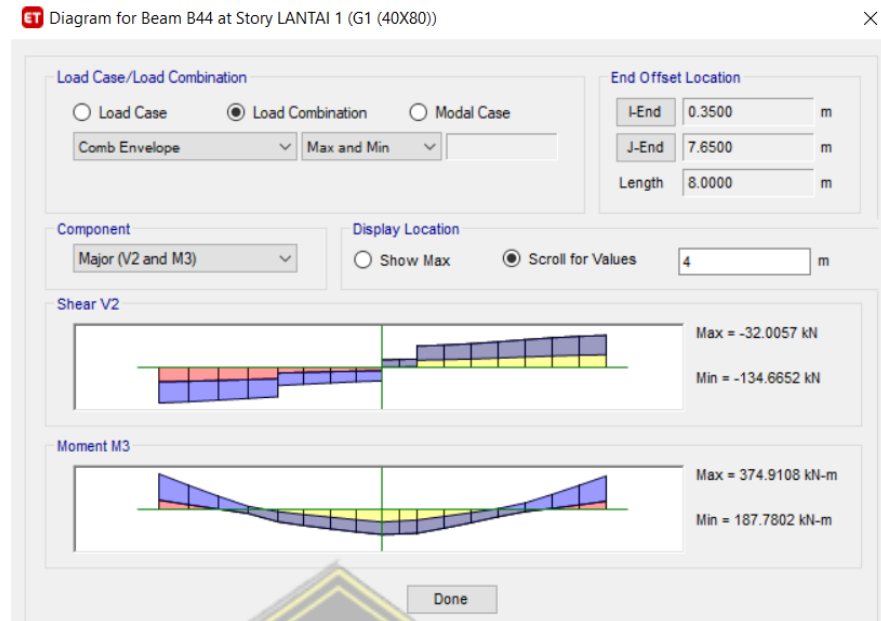
Perhitungan tulangan lentur balok ini dengan momen yang diambil dari program ETABS V18 dengan besaran-besaran momen dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4.39 Mu dan Vu Tumpuan Kiri Balok Pada ETABS



Gambar 4.40 Mu dan Vu Tumpuan Kanan Balok Pada ETABS



Gambar 4.41 Mu dan Vu Lapangan Balok Pada ETABS

Tabel 4.32 Besaran Gaya-Gaya Dalam Balok 40 X 80 cm

Gaya- Gaya Dalam Balok 40 x 80 cm		
Mu Tumpuan Kiri (-)	-529,77	kN.m
Mu Tumpuan Kiri (+)	139,09	kN.m
Mu Tumpuan Kanan (-)	-498,82	kN.m
Mu Tumpuan Kanan (+)	122,26	kN.m
Mu Lapangan (-)	-187,78	kN.m
Mu Lapangan (+)	374,91	kN.m
Vu Tumpuan Kiri (-)	-357,41	kN
Vu Tumpuan Kiri (+)	145,22	kN
Vu Tumpuan Kanan (-)	-127,92	kN
Vu Tumpuan Kanan (+)	323,34	kN
Vu Lapangan (-)	-134,67	kN
Vu Lapangan (+)	32,01	kN
Tu (Gaya Torsi)	6,32	kN.m
Vu Geser Kiri	-305,58	kN
Vu Geser Kanan	274,43	kN

➤ **Tumpuan Atas**

1. Desain Penulangan Lentur Tumpuan Kiri Atas Negatif

Gaya dalam atau momen pada tumpuan kiri atas negatif telah ditentukan pada analisis program ETABS V18 dengan momen sebesar 529,77 kN.m.

$$M_u = -529,77 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{529,77}{0,9} \text{ kN.m} \\ &= 584,63 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

a. Menghitung Tulangan Awal

$$\begin{aligned} D &= H - S_b - d_s - \frac{D_s}{2} \\ &= 800 - 40 - 13 - 11 \\ &= 736 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= 6 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 6 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\ &= 6 \times (379,94) \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{\theta \times f_y \times j \times d} \\ &= \frac{529,77 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 0,85 \times 736} \\ &= 2240,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan 1 lapis tulangan utama 6 D 22

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

$$2280,80 \text{ mm}^2 > 2240,26 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

b. Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times F_c' \times b} \\ &= \frac{2280,80 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\ &= 113,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha}{d} = \frac{113,15}{736}$$

$$= 0,154$$

$$\frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} = 0,375 \times 0,85$$

$$= 0,32$$

$$\frac{\alpha}{d} < \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1}$$

$$0,154 < 0,32 \text{ (OKE)}$$

c. Cek Momen Nominal Aktual

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \frac{d - \frac{a}{2}}{10^6}$$

$$= 0,9 \times 2280,80 \times 420 \times \frac{736 - \frac{113,15}{2}}{10^6}$$

$$= 585,76 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n \geq M_n$$

$$585,76 \geq 584,63 \text{ kN.m (OKE)}$$

d. Cek As Minimum

$$A_{s \text{ min1}} = \frac{\sqrt{F_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{\sqrt{24,9}}{4 \times 420 \times 400 \times 736}$$

$$= 874,436 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min2}} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 736}$$

$$= 981,333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ min 1}} \text{ dan } A_{s \text{ min 2}}$$

$$2280,80 > 874,436 \text{ dan } 981,333 \text{ (OKE)}$$

e. Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{bd} \\ &= \frac{2280,80}{400 \times 736} \\ &= 0,008 \\ \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \frac{0,85 \times 24,9}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,025 \\ \rho_{maks} &= 0,75 \times 0,025 \\ &= 0,01875 \\ \rho &< \rho_{maks} \\ 0,008 &< 0,01875 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

f. Kontrol Jarak Tulangan

Menggunakan tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned}S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times \text{senggang}) - (n \times D_{tul})}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 22)}{5} \\ &= 32,4 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OKE)}\end{aligned}$$

2. Desain Penulangan Lentur Tumpuan Kiri Atas Positif

Gaya dalam atau momen pada tumpuan kiri atas positif telah ditentukan pada analisis program ETABS V18 dengan momen sebesar 139,09 kN.m.

$$\begin{aligned}M_u &= + 139,09 \text{ kN.m} > 0,5 \times \phi M_n (288,57 \text{ kN.m}) \\ M_u &= 288,57 \text{ kN.m} \\ M_n &= \frac{288,57}{0,9} \text{ kN.m} \\ &= 320,63 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

a. Menghitung Tulangan Awal

$$\begin{aligned} D &= H - S_b - d_s - \frac{Ds}{2} \\ &= 800 - 40 - 13 - 11 \\ &= 736 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= 6 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 6 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\ &= 6 \times (379,94) \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \frac{Mu}{\theta \times f_y \times j \times d} \\ &= \frac{288,57 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 0,85 \times 736} \\ &= 1220,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan 1 lapis tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\ 2280,80 \text{ mm}^2 &> 1220,29 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

b. Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{2280,80 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\ &= 113,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha}{d} &= \frac{113,15}{736} \\ &= 0,154 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} &= 0,375 \times 0,85 \\ &= 0,32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha}{d} &< \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} \\ 0,154 &< 0,32 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

c. Cek Momen Nominal Aktual

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \frac{d - \frac{a}{2}}{10^6} \\ &= 0,9 \times 2280,80 \times 420 \times \frac{736 - \frac{113,15}{2}}{10^6} \\ &= 585,76 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_n$$

$$585,76 \geq 320,63 \text{ kN.m (OKE)}$$

d. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{\sqrt{24,9}}{4 \times 420 \times 400 \times 736} \\ &= 874,436 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min2}} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 736} \\ &= 981,333 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pakai} &> A_{s \text{ min 1}} \text{ dan } A_{s \text{ min 2}} \\ 2280,80 &> 874,436 \text{ dan } 981,333 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

e. Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{2280,80}{400 \times 736} \\ &= 0,008\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \frac{0,85 \times 24,9}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,025 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \times 0,025 \\
 &= 0,01875 \\
 \rho &< \rho_{maks} \\
 0,008 &< 0,01875 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

f. Kontrol Jarak Tulangan

Menggunakan tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times \text{sengkang}) - (n \times D_{tul})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 22)}{5} \\
 &= 32,4 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

3. **Desain Penulangan Lentur Tumpuan Kanan Atas Negatif**

Gaya dalam atau momen pada tumpuan kanan atas negatif telah ditentukan pada analisis program ETABS V18 dengan momen sebesar 498,82 kN.m.

$$M_u = -498,82 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{498,82}{0,9} \text{ kN.m}$$

$$= 554,24 \text{ kN.m}$$

a. Menghitung Tulangan Awal

$$\begin{aligned}
 D &= H - S_b - d_s - \frac{Ds}{2} \\
 &= 800 - 40 - 13 - 11 \\
 &= 736 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= 6 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 6 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\
 &= 6 \times (379,94) \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{\theta \times f_y \times j \times d} \\
 &= \frac{498,82 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 0,85 \times 736} \\
 &= 2109,38 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan 1 lapis tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\
 2280,80 \text{ mm}^2 &> 2109,38 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

b. Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{2280,80 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\
 &= 113,15 \text{ mm} \\
 \frac{\alpha}{d} &= \frac{113,15}{736} \\
 &= 0,154 \\
 \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} &= 0,375 \times 0,85 \\
 &= 0,32
 \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha}{d} < \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1}$$

$$0,154 < 0,32 \text{ (OKE)}$$

c. Cek Momen Nominal Aktual

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \frac{d - \frac{a}{2}}{10^6} \\ &= 0,9 \times 2280,80 \times 420 \times \frac{736 - \frac{113,15}{2}}{10^6} \\ &= 585,76 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_n$$

$$585,76 \geq 554,24 \text{ kN.m (OKE)}$$

d. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{\sqrt{24,9}}{4 \times 420 \times 400 \times 736} \\ &= 874,436 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min2}} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 736} \\ &= 981,333 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pakai} &> A_{s \text{ min 1}} \text{ dan } A_{s \text{ min 2}} \\ 2280,80 &> 874,436 \text{ dan } 981,333 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

e. Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{2280,80}{400 \times 736} \\ &= 0,008\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \frac{0,85 \times 24,9}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,025 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \times 0,025 \\
 &= 0,01875 \\
 \rho &< \rho_{maks} \\
 0,008 &< 0,01875 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

f. Kontrol Jarak Tulangan

Menggunakan tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times \text{sengkang}) - (n \times D_{tul})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 22)}{5} \\
 &= 32,4 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

4. **Desain Penulangan Lentur Tumpuan Kanan Atas Positif**

Gaya dalam atau momen pada tumpuan kanan atas positif telah ditentukan pada analisis program ETABS V18 dengan momen sebesar 122,26 kN.m.

$$M_u = +122,26 \text{ kN.m} > 0,5 \times \phi M_n \text{ (288,57 kN.m)}$$

$$M_u = 288,57 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{288,57}{0,9} \text{ kN.m}$$

$$= 320,63 \text{ kN.m}$$

a. Menghitung Tulangan Awal

$$\begin{aligned}
 D &= H - S_b - d_s - \frac{D_s}{2} \\
 &= 800 - 40 - 13 - 11 \\
 &= 736 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= 6 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 6 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\
 &= 6 \times (379,94) \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{\phi \times f_y \times j \times d} \\
 &= \frac{288,57 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 0,85 \times 736} \\
 &= 1220,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan 1 lapis tulangan utama 6 D 22

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

$$2280,80 \text{ mm}^2 > 1220,29 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

b. Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{2280,80 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\
 &= 113,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha}{d} &= \frac{113,15}{736} \\
 &= 0,154
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} &= 0,375 \times 0,85 \\
 &= 0,32
 \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha}{d} < \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1}$$

$$0,154 < 0,32 \text{ (OKE)}$$

c. Cek Momen Nominal Aktual

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \frac{d - \frac{a}{2}}{10^6} \\ &= 0,9 \times 2280,80 \times 420 \times \frac{736 - \frac{113,15}{2}}{10^6} \\ &= 585,76 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_n$$

$$585,76 \geq 320,63 \text{ kN.m (OKE)}$$

d. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{\sqrt{24,9}}{4 \times 420 \times 400 \times 736} \\ &= 874,436 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min2}} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 736} \\ &= 981,333 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pakai} &> A_{s \text{ min 1}} \text{ dan } A_{s \text{ min 2}} \\ 2280,80 &> 874,436 \text{ dan } 981,333 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

e. Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{2280,80}{400 \times 736} \\ &= 0,008\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \frac{0,85 \times 24,9}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,025 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \times 0,025 \\
 &= 0,01875 \\
 \rho &< \rho_{maks} \\
 0,008 &< 0,01875 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

f. Kontrol Jarak Tulangan

Menggunakan tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times \text{sengkang}) - (n \times D_{tul})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 22)}{5} \\
 &= 32,4 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

➤ Lapangan

1. Desain Penulangan Lentur Lapangan Atas Negatif

Gaya dalam atau momen pada tumpuan kanan atas negatif telah ditentukan pada analisis program ETABS V18 dengan momen sebesar 187,78 kN.m.

$$M_u = -187,78 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{187,78}{0,9} \text{ kN.m} \\
 &= 208,64 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

a. Menghitung Tulangan Awal

$$\begin{aligned}
 D &= H - S_b - d_s - \frac{D_s}{2} \\
 &= 800 - 40 - 13 - 11 \\
 &= 736 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= 5 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\
 &= 5 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\
 &= 5 \times (379,94) \\
 &= 1899,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{\phi \times f_y \times j \times d} \\
 &= \frac{187,78 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 0,85 \times 736} \\
 &= 794,07 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan 1 lapis tulangan utama 5 D 22

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\
 1899,7 \text{ mm}^2 &> 794,07 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

b. Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{1899,7 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\
 &= 94,24 \text{ mm} \\
 \frac{\alpha}{d} &= \frac{94,24}{736} \\
 &= 0,128 \\
 \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} &= 0,375 \times 0,85 \\
 &= 0,32
 \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha}{d} < \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1}$$

$$0,128 < 0,32 \text{ (OKE)}$$

c. Cek Momen Nominal Aktual

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \frac{d - \frac{a}{2}}{10^6} \\ &= 0,9 \times 1899,7 \times 420 \times \frac{736 - \frac{94,24}{2}}{10^6} \\ &= 494,68 \text{ kN.m} \\ \phi M_n &\geq M_n \\ 494,68 &\geq 208,64 \text{ kN.m (OKE)}\end{aligned}$$

d. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{\sqrt{24,9}}{4 \times 420 \times 400 \times 736} \\ &= 874,436 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min2}} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 736} \\ &= 981,333 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ min 1}} \text{ dan } A_{s \text{ min 2}} \\ 1899,7 &> 874,436 \text{ dan } 981,333 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

e. Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{1899,7}{400 \times 736} \\ &= 0,006 \\ \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \frac{0,85 \times 24,9}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,025\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0,75 \times 0,025 \\ &= 0,01875 \\ \rho &< \rho_{\text{maks}} \\ 0,006 &< 0,01875 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

f. Kontrol Jarak Tulangan

Menggunakan tulangan utama 5 D 22

$$\begin{aligned}S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times \text{sengkang}) - (n \times D_{\text{tul}})}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 22)}{4} \\ &= 46 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OKE)}\end{aligned}$$

2. Desain Penulangan Lentur Lapangan Bawah Positif

Gaya dalam atau momen pada lapangan bawah positif telah ditentukan pada analisis program ETABS V18 dengan momen sebesar 374,91 kN.m.

$$\begin{aligned}M_u &= + 374,91 \text{ kN.m} > 0,25 \times \phi M_n (144,29 \text{ kN.m}) \\ M_u &= 144,29 \text{ kN.m} \\ M_n &= \frac{144,29}{0,9} \text{ kN.m} \\ &= 160,32 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

a. Menghitung Tulangan Awal

$$\begin{aligned}D &= H - S_b - d_s - \frac{D_s}{2} \\ &= 800 - 40 - 13 - 11 \\ &= 736 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pakai} &= 6 \times (0,25 \times \pi \times D^2) \\ &= 6 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\ &= 6 \times (379,94) \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{\theta \times f_y \times j \times d} \\
 &= \frac{144,29 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 0,85 \times 736} \\
 &= 610,17 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan 1 lapis tulangan utama 5 D 22

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

$$2280,80 \text{ mm}^2 > 610,17 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

b. Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{2280,80 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\
 &= 113,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha}{d} &= \frac{113,15}{736} \\
 &= 0,154
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} &= 0,375 \times 0,85 \\
 &= 0,32
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha}{d} &< \frac{\alpha_{tcl}}{\beta_1} \\
 0,154 &< 0,32 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

c. Cek Momen Nominal Aktual

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \frac{d - \frac{a}{2}}{10^6} \\
 &= 0,9 \times 2280,80 \times 420 \times \frac{736 - \frac{113,15}{2}}{10^6} \\
 &= 585,76 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_n$$

$$585,76 \geq 160,32 \text{ kN.m (OKE)}$$

d. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \frac{\sqrt{F_c'} }{(4 \times F_y) \times b \times d} \\ &= \frac{\sqrt{24,9}}{4 \times 420 \times 400 \times 736} \\ &= 874,436 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= \frac{1,4}{(4 \times F_y) \times b \times d} \\ &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 736} \\ &= 981,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ min 1}} \text{ dan } A_{s \text{ min 2}}$$

$$2280,80 > 874,436 \text{ dan } 981,333 \text{ (OKE)}$$

e. Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{2280,80}{400 \times 736} \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= 0,85 \frac{0,85 \times 24,9}{420} \left(\frac{600}{600+420} \right) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \times 0,025 \\ &= 0,01875 \end{aligned}$$

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

$$0,008 < 0,01875 \text{ (OKE)}$$

f. Kontrol Jarak Tulangan

Menggunakan tulangan utama 6 D 22

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times \text{senggang}) - (n \times D_{\text{tul}})}{n-1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 22)}{5} \\
 &= 32,4 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan Probable Moment Capacities (Mpr)**

1. Momen Ujung Tumpuan Kiri Negatif (Mpr1)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{pr} &= \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{2280,80 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\
 &= 141,44 \text{ mm} \\
 M_{pr1} &= A_s \times 1,25 \times f_y \times (d - 0,5 \alpha) \\
 &= 2280,80 \times 1,25 \times 420 \times (736 - (0,5 \times 141,44)) \\
 &= 796619577,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

2. Momen Ujung Tumpuan Kanan Positif (Mpr4)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{pr} &= \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1900,67 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 24,9 \times 400} \\
 &= 117,87 \text{ mm} \\
 M_{pr4} &= A_s \times 1,25 \times f_y \times (d - 0,5 \alpha) \\
 &= 1900,67 \times 1,25 \times 420 \times (736 - (0,5 \times 117,87)) \\
 &= 675610495,11 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor yang diakibatkan oleh beban gravitasi

$$\begin{aligned}
 V_{g \text{ kiri}} &= \frac{W_u \times l_n}{2} \\
 &= \frac{305,58 \times 8000}{2} \\
 &= 1222320 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vg \text{ kanan} &= \frac{W_u \times l_n}{2} \\
 &= \frac{274,43 \times 8000}{2} \\
 &= 1097720 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 V_{sway} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr4}}{l_n} \\
 &= \frac{796619577,6 + 675610495,11}{8000} \\
 &= 184028,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi desain goyangannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_{sway} + Vg \text{ kiri} \\
 &= 184028,76 + 1222320 \\
 &= 1406348,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= V_{sway} + Vg \text{ kanan} \\
 &= 184028,76 + 1097720 \\
 &= 1281748,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Cek Persyaratan Momen Balok Desain

Persyaratan momen balok desain ini ada di SNI 2847-2019 dimana suatu balok harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. $M_n^+ \text{ Tumpuan} \geq 50\% M_n^- \text{ Tumpuan}$.
2. $M_n^+ \text{ dan } M_n^- \text{ Lapangan} \geq 25\% M_n^- \text{ Tumpuan}$.

Momen Desain bisa dilihat secara detail pada tabel 4.33 dibawah :

Tabel 4.33 Momen Tumpuan dan Lapangan Balok 40 x 80 cm

Momen Tumpuan dan Lapangan Balok 40 x 80 cm		
Mn Tumpuan Kiri (-)	584,63	kN.m
Mn Tumpuan Kiri (+)	320,63	kN.m
Mn Tumpuan Kanan (-)	554,24	kN.m
Mn Tumpuan Kanan (+)	320,63	kN.m
Mn Lapangan (-)	187,78	kN.m
Mn Lapangan (+)	374,91	kN.m

$$1. \quad Mn^+ \text{ Tumpuan} \geq 50\% \times Mn^- \text{ Tumpuan}$$

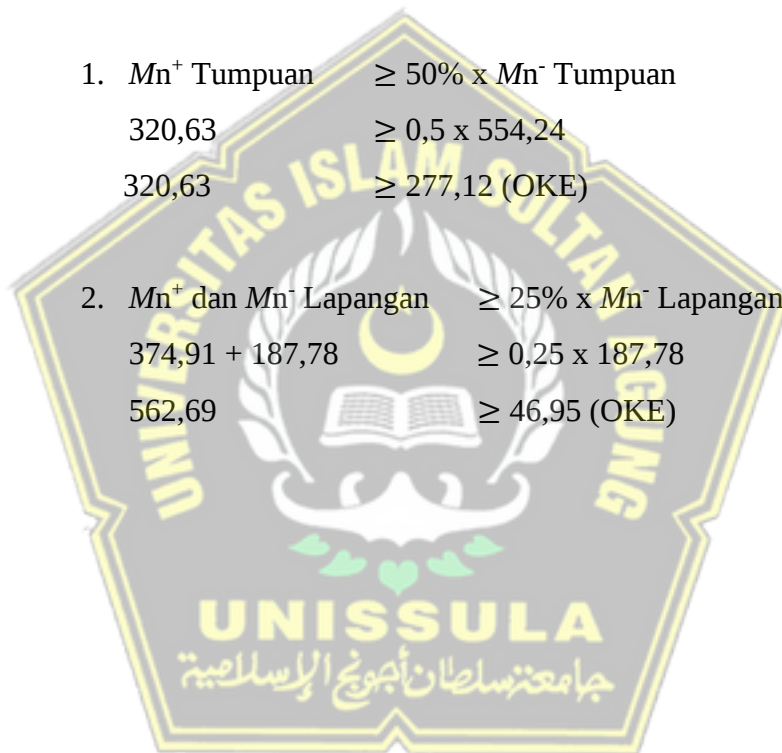
$$320,63 \geq 0,5 \times 554,24$$

$$320,63 \geq 277,12 \text{ (OKE)}$$

$$2. \quad Mn^+ \text{ dan } Mn^- \text{ Lapangan} \geq 25\% \times Mn^- \text{ Lapangan}$$

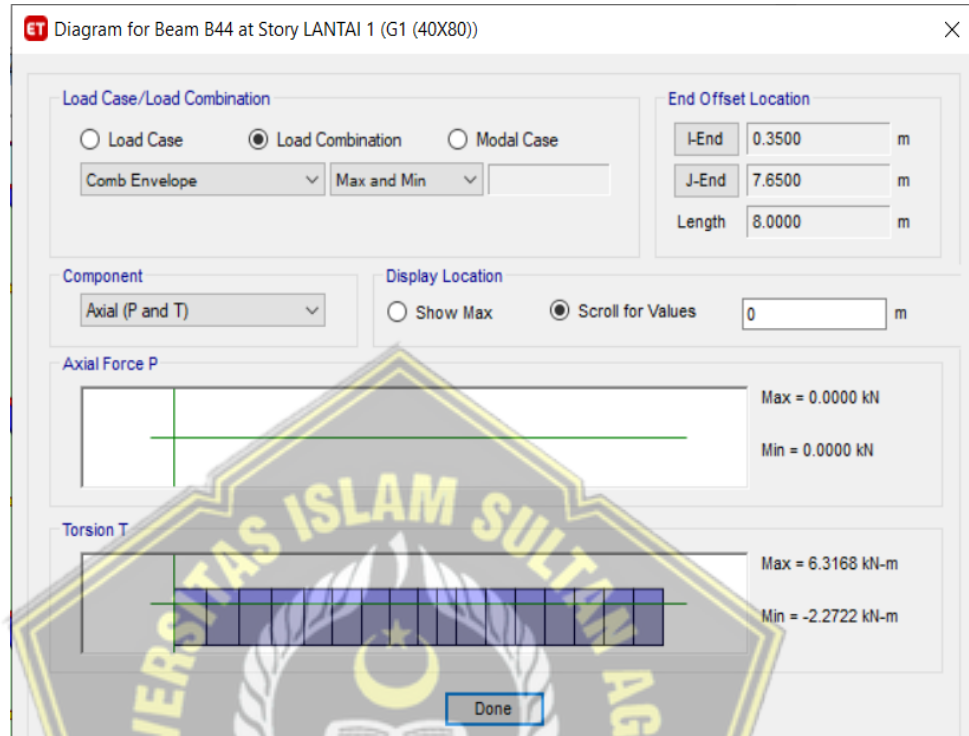
$$374,91 + 187,78 \geq 0,25 \times 187,78$$

$$562,69 \geq 46,95 \text{ (OKE)}$$



4.9.2 Perhitungan Tulangan Torsi

Gaya dalam atau momen pada torsi telah ditentukan pada analisis program ETABS V18.



Gambar 4.42 Torsi Pada ETABS

a. Parameter Perhitungan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 320000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 600) \\ &= 2400 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_o &= b - 2C_c - d_s \\ &= 400 - (2 \times 40) - 13 \\ &= 307 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_o &= h - 2C_c - d_s \\ &= 800 - (2 \times 40) - 13 \\ &= 707 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_o \times Y_o \\
 &= 307 \times 707 \\
 &= 217049 \text{ mm}^2 \\
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 217049 \\
 &= 184492 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\
 &= 2 \times (307 + 707) \\
 &= 2028 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Cek Apakah Perlu Tulangan Torsi Tabel 22.7.4.1

$$\begin{aligned}
 T_{cr} &= 0,33 \times (F_c')^{0,5} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
 &= 0,33 \times (24,9)^{0,5} \times \frac{320000^2}{4200} \\
 &= 70259059 \text{ Nmm} \\
 T_u &> \phi \times \frac{T_{cr}}{4} = 99,7119 \times 10^6 > 0,75 \times \frac{70259059}{4} \\
 &= 99711900 > 13173574 \\
 &= \text{Perlu Tulangan Torsi (Tulangan Pinggang)}
 \end{aligned}$$

c. Cek Kecukupan Dimensi Penampang Pasal 22.7.7.1

$$\begin{aligned}
 \phi \times T_{cr} &= 52694294 \text{ N.mm} \\
 V_u &= 510499 \text{ N} \\
 V_c &= 0,17 \times 24,9^{0,5} \times 400 \times 736 \\
 &= 249739 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \left(\left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^{0,5} &\leq \phi \times \left(\frac{V_u}{b \times d} + 0,66 \times F_c'^{0,5} \right) \\
 2,188 &\leq 3,106 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

d. Desain Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_y \times \cot \theta} \\ &= \frac{8,43 \times 10^6}{2 \times 184492 \times 420 \times 1} \\ &= 0,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

Hasil dari desain di atas didesain bersamaan dengan penulangan transversal akibat gaya geser

e. Desain Tulangan Torsi Longitudinal

$$\begin{aligned}A_l &= \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta \\ &= 0,25 \times 2028 \times \left(\frac{420}{420}\right) \times \cot^2 45 \\ &= 507 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

f. Tulangan Torsi yang Dipasang di Pinggang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \left(\frac{A_l}{2}\right) \\ &= \frac{507}{2} \\ &= 253,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N \text{ pakai} &= \frac{A_{s \text{ min}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{253,5}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2}\end{aligned}$$

$$= 1,26 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

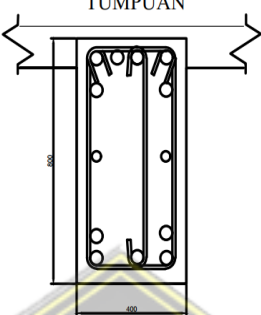
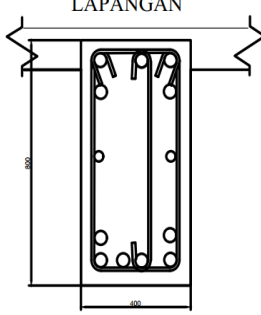
Tulangan yang akan dipakai yaitu :

$$\begin{aligned}A_{s \text{ torsi}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 2 \\ &= 401,92 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{s \text{ torsi}} > A_{s \text{ min}}$$

$$401,42 > 253,5 \text{ (OKE)}$$

Detail Penulangan balok 40 x 80 cm tulangan longitudinal pada tumpuan, lapangan, torsi, dan penulangan sengkang geser serta geser torsi dapat dilihat pada gambar 4.43 dan detail penulangan balok lainnya dapat dilihat pada tabel 4.35 berikut :

	TUMPUAN	LAPANGAN
BALOK G1 (40x80)		
	Tul Atas 6D22 Peminggang 2D16 Tul Bawah 5D22 Sengkang 3D13-100	Tul Atas 5D22 Peminggang 2D16 Tul Bawah 6D22 Sengkang 3D13-150

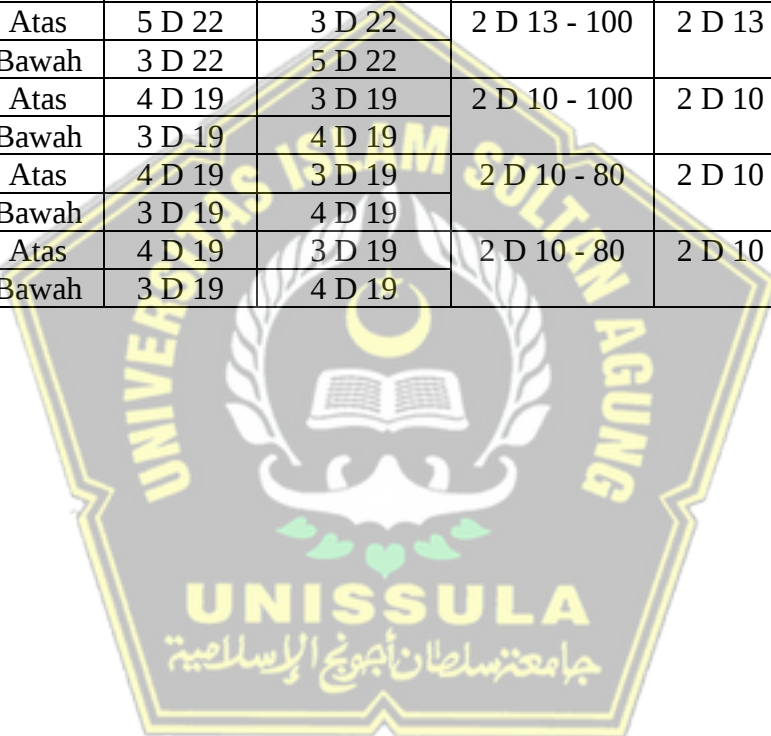
Gambar 4.43 Detail Penulangan Balok 40 x 80 cm

Tabel 4.34 Detail Penulangan Balok 40 x 80 cm

Balok 40 x 80 cm	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan
Tulangan Atas	6 D 22	5 D 22
Tulangan Torsi	2 D 16	2 D 16
Tulangan Bawah	5 D 22	6 D 22
Tulangan Geser	3 Ø 13 - 100	3 Ø 13 - 150

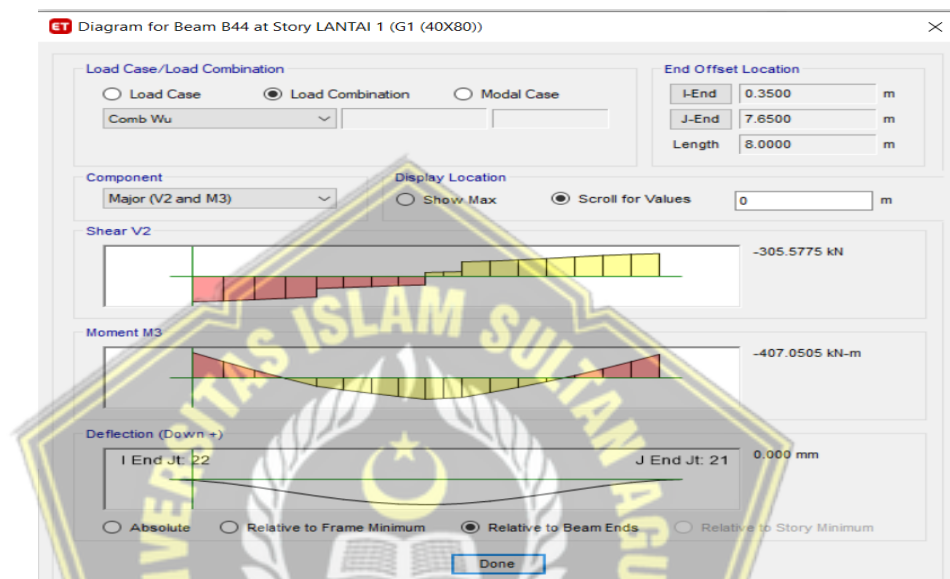
Tabel 4.35 Detail Penulangan Balok Gedung Fakultas Kedokteran Gigi

Dimensi	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1 40 X 80	Atas	6 D 22	5 D 22	3 D 13 - 100	3 D 13 - 150	2 D 16
	Bawah	5 D 22	6 D 22			
G2 40 X 70	Atas	6 D 22	5 D 22	3 D 13 - 100	3 D 13 - 150	2 D 16
	Bawah	5 D 22	6 D 22			
G3 30 X 70	Atas	4 D 22	3 D 22	3 D 13 - 100	3 D 13 - 150	2 D 16
	Bawah	3 D 22	4 D 22			
G4 30 X 50	Atas	4 D 22	3 D 22	2 D 13 - 100	2 D 13 - 150	2 D 16
	Bawah	3 D 22	4 D 22			
G5 30 X 40	Atas	4 D 22	3 D 22	2 D 13 - 80	2 D 13 - 100	2 D 16
	Bawah	3 D 22	4 D 22			
B1 25 X 60	Atas	5 D 22	3 D 22	2 D 13 - 100	2 D 13 - 100	2 D 16
	Bawah	3 D 22	5 D 22			
B2 25 X 50	Atas	4 D 19	3 D 19	2 D 10 - 100	2 D 10 - 100	2 D 13
	Bawah	3 D 19	4 D 19			
B3 25 X 40	Atas	4 D 19	3 D 19	2 D 10 - 80	2 D 10 - 100	2 D 13
	Bawah	3 D 19	4 D 19			
B4 20 X 40	Atas	4 D 19	3 D 19	2 D 10 - 80	2 D 10 - 100	2 D 13
	Bawah	3 D 19	4 D 19			

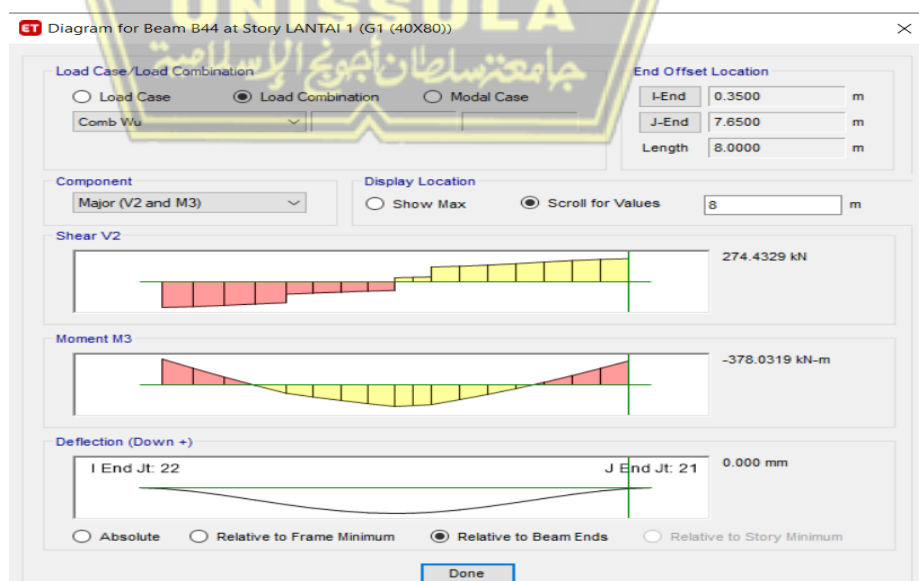


4.9.3 Perhitungan Tulangan Geser

Tulangan geser atau trasversal ini sangat penting untuk suatu bangunan yang didesain tahan terhadap beban gempa karena tulangan geser ini berfungsi untuk menahan gaya-gaya horizontal dengan baik maka dari itu perlu diperhitungkan untuk baik jumlah kaki Sengkang dan diameter Sengkang yang dapat menahan gaya geser yang terdapat pada analisi program.



Gambar 4.44 Geser Tumpuan Kiri Pada ETABS



Gambar 4.45 Geser Tumpuan Kanan pada ETABS

Table 4.36 Gaya Geser Dalam Balok 40 x 80 cm

Gaya Geser Dalam BalokBalok 40 x 80 cm		
Vu Tumpuan Kiri (-)	- 357,41	kN
Vu Tumpuan Kiri (+)	145,22	kN
Vu Tumpuan Kiri (-)	- 127,2	kN
Vu Tumpuan Kiri (+)	323,34	kN
Vu Lapangan (-)	- 134,67	kN
Vu Lapangan (+)	32,01	kN
Vg Tumpuan Kiri	1222320	kN
Vg Tumpuan Kanan	1097720	kN

➤ **Kebutuhan Tulangan Geser di Tumpuan Kiri**

$$V_e = V_{sway} + V_g \text{ kiri}$$

$$= 184028,76 \text{ N}$$

$$d = h - t_s - \phi \text{ Tulangan Sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ Tulangan Pokok}$$

$$= 800 - 40 - 13 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right)$$

$$= 736 \text{ mm}$$

$$V_s = \left(\left(\frac{V_e}{\phi} \right) - V_c \right)$$

$$= \frac{184028,76}{0,75} - 0$$

$$= 245371,68 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0,66 \times \sqrt{F_c'} \times b_w \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{24,9} \times 400 \times 736$$

$$= 969575,01 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ pakai}} = 245371,68 \text{ N}$$

Digunakan kaki sengkang 3 D 10 – 100 mm

$$A_v = 3 \times 0,25 \times 3,14 \times 10 \times 10$$

$$= 235,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{235,5 \times 420 \times 736}{245371,68} \\
 &= 296,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6.4.4 syarat dari jarak tulangan transversal di daerah sendi plastis sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{736}{4} \\
 &= 184 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan Sengkang D 10 – 100

➤ Kebutuhan Tulangan Geser di Tumpuan Kanan

$$\begin{aligned}
 V_e &= V_{sway} + V_g \text{ kanan} \\
 &= 1281748,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_s - \phi \text{ Tulangan Sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ Tulangan Pokok} \\
 &= 800 - 40 - 13 - \left(\frac{1}{2} \times 22 \right) \\
 &= 736 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left(\left(\frac{V_e}{\phi} \right) - V_c \right) \\
 &= \frac{1281748,76}{0,75} - 0 \\
 &= 1708998,35 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{F_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{24,9} \times 400 \times 736 \\
 &= 969575,01 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ pakai} = 1708998,35 \text{ N}$$

Digunakan kaki sengkang 3 D 10 – 100 mm

$$A_v = 3 \times 0,25 \times 3,14 \times 10 \times 10$$

$$= 235,5 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{235,5 \times 420 \times 736}{1708998,35}$$

$$= 42,60 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6.4.4 syarat dari jarak tulangan transversal di daerah sendi plastis sebagai berikut :

$$S = \frac{d}{4}$$

$$= \frac{736}{4}$$

$$= 184 \text{ mm}$$

$$S = 6 \times d_b$$

$$= 6 \times 22$$

$$= 132 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan Sengkang D 10 – 100

➤ Kebutuhan Tulangan Geser di Luar Sendi Plastis

Daerah sendi plastis, di luar 2h dari muka kolom = $2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$

Maka terjadi gaya geser sebagai berikut :

$$V_{e \text{ Lap}} = \frac{(l_n - 2h) \times (V_{e1} - V_{e2})}{l_n} + V_{e2}$$

$$= \frac{(800 - 1600) \times (1406348,76 - 1281748,76)}{8000} + 1281748,76$$

$$= 1284863,76 \text{ N}$$

Daerah sendi plastis, di luar 2h dari muka kolom = $2 \times 900 = 1800 \text{ mm}$

$$V_{e \text{ Lap}} = 1284863,76 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{F_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{24,9} \times 400 \times 736 \\ &= 249739,02 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \left(\left(\frac{V_e}{\phi} \right) - V_c \right) \\ &= \frac{1284863,76}{0,75} - 249739,02 \\ &= 1962890,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{F_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{24,9} \times 400 \times 736 \\ &= 969575,01 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ pakai}} = 1962890,7 \text{ N}$$

Digunakan kaki sengkang 3 D 10 – 100 mm

$$\begin{aligned} A_v &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times 10 \times 10 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{235,5 \times 420 \times 736}{1708998,35} \\ &= 42,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847–2019 Pasal 18.6.4.6 syarat dari jarak tulangan transversal di daerah sendi plastis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{736}{2} \\ &= 368 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan Sengkang D 10 – 150

4.10 Perancangan Kolom

Berikut merupakan perhitungan kolom K1 pada lantai 2 dengan metode SRPMK

- Data perencanaan :

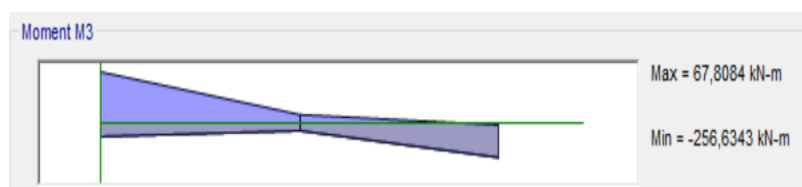
Tinggi kolom (L)	= 4000 mm
Dimensi kolom	= 700 x 700 mm
Ag	= 490000 mm ²
Mutu beton (F_c')	= 24,9 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 420 Mpa
Selimut beton	= 40 mm
D tulangan utama	= 22 mm
D tulangan Sengkang	= 10 mm
Faktor reduksi lentur	= 0,9
Factor reduksi geser	= 0,75

4.10.1 Diagram Gaya-Gaya dalam Kolom

Gaya – gaya dalam yang terjadi pada kolom digunakan untuk mencari diameter tulangan utama kolom. Gaya aksial didapatkan dari program bantu Analisa program ETABS dengan kombinasi ENVELOPE, yang dapat dilihat pada tabel 4.37 dibawah :



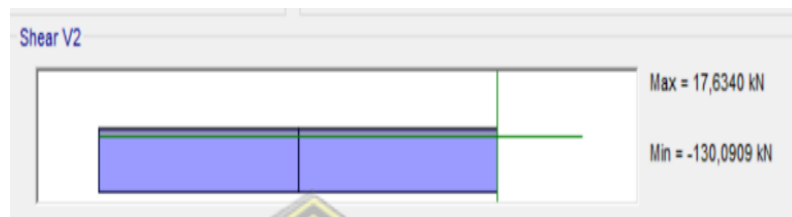
Gambar 4.46 Output Aksial Pada ETABS



Gambar 4.47 Output Momen M3 Pada ETABS



Gambar 4.48 Output Momen M_2 Pada ETABS



Gambar 4.49 Output Geser Pada ETABS

Tabel 4.37 Gaya Aksial dan Momen Kolom 70 x 70 cm

Gaya Aksial dan Momen Kolom 70 x 70 cm				
Kondisi	Gaya Aksial (kN)	Momen M_3 (Kn.m)	Momen M_2 (Kn.m)	Shear V_2 (Kn.m)
Kolom lantai atas (Lantai 3)	-2604,65	249,91	294,82	141,94
Kolom yang didesain (Lantai 2)	-3492,56	256,63	318,47	130,09
Kolom lantai bawah (Lantai 1)	-4378,63	256,99	331,40	124,56

1. Cek Penampang Kolom

Pada pasal 18.7.2.1 SNI 2847:2019 batasa dimensi untuk struktur kolom harus memenuhi :

- Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$700 \text{ mm} > 300 \text{ mm (OKE)}$$

- b. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\frac{b}{h} = \frac{700}{700} > 0,4$$

$$= 1 > 0,4 \text{ (OKE)}$$

2. Cek syarat komponen struktur penahan gempa

- a. Gaya aksial terfaktor lebih dari $\frac{A_g \times F_c'}{10}$

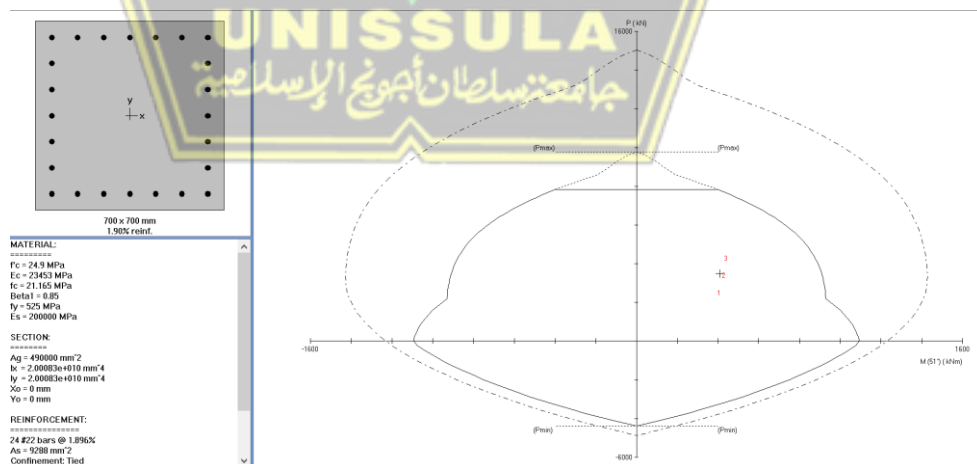
$$\frac{A_g \times F_c'}{10} = \frac{490000 \times 24,9}{10}$$

$$= 1220100 \text{ N} = 1220,1 \text{ kN}$$

$$\rho_u > \frac{A_g \times F_c'}{10} \text{ (Memenuhi persyaratan)}$$

4.10.2 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Longitudinal

Tulangan penampang kolom ini menggunakan program bantu yaitu SP Coloum yaitu dengan cara *trial and error* untuk detail diagram interaksi kolom bisa dilihat pada gambar 4.33 bahwa kolom aman dengan tulangan yang telah direncanakan menggunakan Analisa program SP Coloum yaitu 24 D 22, kolom harus memenuhi persyaratan SCWB (*Strong Coloum With Beam*) dengan $\rho = 1,90 \% = 0,0190$.



Gambar 4.50 Diagram Interaksi P-M Pada Kolom

1. Tulangan Longitudinal $0,01A_g < \rho < 0,06A_g$

$$0,01 \times 0,7 \times 0,7 = 0,0049$$

$$0,06 \times 0,7 \times 0,7 = 0,0294$$

$$0,0049 < 0,0190 < 0,0294 \text{ (OKE)}$$

2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam* (SCWB)

Sesuai dengan pasal 18.7.3.2 SNI 2847:2019. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

Pada tulangan ini tidak didesain nilai $\sum M_{nb}$ diambil dari momen desain (ϕM_n) pada kedua ujung balok G1 yang ditumpu oleh kolom.

$$\begin{aligned} \sum M_{nb} &= 1,2 (M_{nb}^+ + M_{nb}^-) \\ &= 1049,84 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

3. Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi kolom P-M dengan *SP Column*

No	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕM_{ux} kNm	ϕM_{uy} kNm	$\phi M_u/M_u$	NA Depth mm	d_t Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	2604,65	249,91	294,82	597,4	704,76	2,39	505	901	0,00235	0,65
2	3492,56	256,63	318,47	570,15	707,53	2,222	558	901	0,00184	0,65
3	4378,63	256,99	331,4	535,72	690,84	2,085	614	901	0,0014	0,65

Gambar 4.51 Output Diagram Interaksi Kolom Bawah

No	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕM_{ux} kNm	ϕM_{uy} kNm	$\phi M_u/M_u$	NA Depth mm	d_t Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	2604,65	249,91	294,82	597,4	704,76	2,39	505	901	0,00235	0,65
2	3492,56	256,63	318,47	570,15	707,53	2,222	558	901	0,00184	0,65
3	4378,63	256,99	331,4	535,72	690,84	2,085	614	901	0,0014	0,65

Gambar 4. 52 Output Diagram Interaksi Kolom Desain

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	P _u kN	M _{ux} kNm	M _{uy} kNm	φM _{ux} kNm	φM _{uy} kNm	φM _u /M _n	NA Depth mm	d _t Depth mm	ε _t	φ
1	2604,65	249,91	294,82	597,4	704,76	2,39	505	901	0,00235	0,65
2	3492,56	256,63	318,47	570,15	707,53	2,222	558	901	0,00184	0,65
3	4378,63	256,99	331,4	535,72	690,84	2,085	614	901	0,0014	0,65

Gambar 4.53 Output Diagram Interaksi Kolom Atas

Dari gambar diatas didapat $\sum M_{nc}$

$$\sum M_{ncatas} = 535,72 + 570,15 = 1105,87 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$$1105,87 \geq \sum M_{nb} \text{ (OKE)}$$

$$\sum M_{ncbawah} = 597,40 + 570,15 = 1167,55 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$$1167,55 \geq \sum M_{nb} \text{ (OKE)}$$

4.10.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal

1. Cek tulangan transversal tumpuan

Jumlah kaki Sisi Pendek = 5 (*trial and error* dengan excel)

Jumlah kaki sisi Panjang = 5 (*trial and error* dengan excel)

Jarak tulangan = 100 mm

Jarak antar tulangan $X_{i\max} = 250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Ash1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 4 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \end{aligned}$$

$$= 392,699 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash2} = n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2$$

$$= 4 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2$$

$$= 392,699 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\text{Ash1}}{S} = \frac{392,699}{100}$$

$$= 3,93 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{S} = \frac{392,699}{100} = 3,93 \text{ mm}^2$$

2. Cek *Confinement* atau kekangan pada tumpuan

$$\begin{aligned} B_c (\text{Lebar Inti Beton}) &= b - 2 \times C_c \\ &= 700 - 2 \times (40) \\ &= 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_c (\text{Tinggi Inti beton}) &= h - 2 \times C_c \\ &= 700 - 2 \times (40) \\ &= 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g (\text{Luas Kotor Kolom}) &= b \times h \\ &= 700 \times 700 \\ &= 490000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} (\text{Luas Inti Kolom}) &= b_c \times h_c \\ &= 620 \times 620 \\ &= 384400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sisi pendek atau Sumbu Lemah SNI 2847 – 2019 Ps 18.7.5.4

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{S \text{ min } 1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}-1}) \\ &= 0,3 \times (620 \times \frac{24,9}{420}) \times (\frac{490000}{384400-1}) \\ &= 3,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{S \text{ min } 2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \\ &= 0,09 \times 620 \times \frac{24,9}{420} \\ &= 3,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sisi Panjang atau Sumbu Kuat SNI 2847 – 2019 Ps 18.7.5.4

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{S \text{ min } 1} &= 0,3 \times (h_c \times \frac{F_{c'}}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}-1}) \\ &= 0,3 \times (620 \times \frac{24,9}{420}) \times (\frac{490000}{384400-1}) \\ &= 3,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{S_{min}} &= 0,09 \times (h_c \times \frac{F_{c'}}{f_y}) \\ &= 0,09 \times 620 \times \frac{24,9}{420} \\ &= 3,31 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek jarak Sengkan SNI 2847–2019 Ps 18.7.5.3

$$\begin{aligned}S_{max,1} &= \frac{b}{4} \\ &= \frac{700}{4} \\ &= 175 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{max,2} &= 6 \times D_b \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_x &= \frac{h - 2 \times (C_c) - d_s - \frac{1}{2} D_b}{n} \\ &= \frac{700 - 2 \times (40) - 10 - \frac{1}{2} 22}{6} \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek jarak} &= S \leq S_{max1} ; S_{max2} \\ &= 100 \leq 133,333 ; 132,000 \text{ (OKE)}\end{aligned}$$

Digunakan spasi 5D10-100 mm

$$\begin{aligned}A_{shpakai} &= 5 \text{ kaki} \times 0,25 \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{sh \text{ min}} = 3,31 \times 100 = 331 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}A_{sh \text{ min}} &< A_{shpakai} \\ 331 \text{ mm}^2 &< 392,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

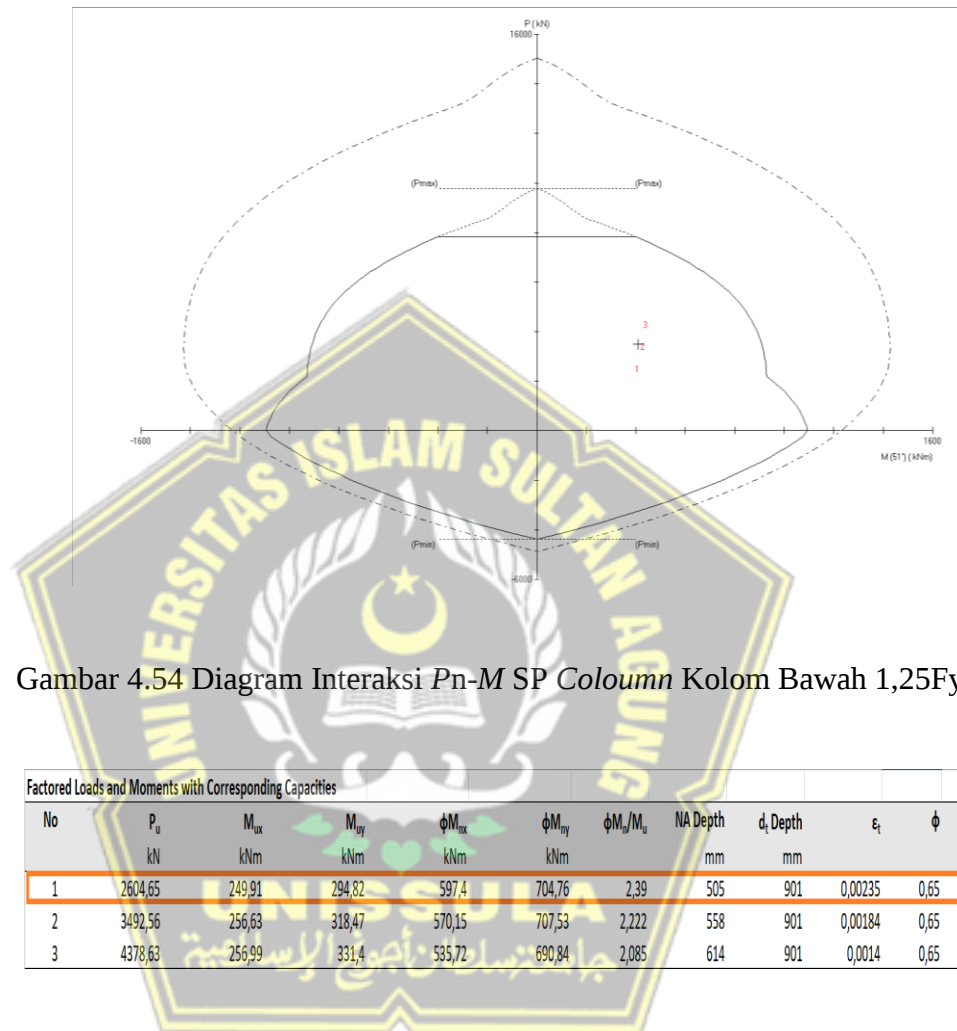
3. Sesuai pasal 18.6.64.7 SNI 2847:2019. Untuk daerah sepanjang sisi kolom bersih diberi *hoops* dengan spasi minimum sebagai berikut :

- $6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka $S_{min} = 132 \text{ mm}$ dan dapat digunakan *hoops* (s) = 130 mm sepanjang sisi kolom bersih

4. Analisis Gaya Geser desain tulangan Senkang kolom

Pada pasal 18.7.6.1.1 SNI 2847:2019. Gaya geser V_e harus diambil dari gaya geser yang berhubungan dengan sendi plastis pada kedua ujung kolom. Nilai M_{pr} pada kolom ditentukan dengan anggapan kekuatan Tarik memanjang minimal $1,25F_y$ dan ϕ .



Gambar 4.54 Diagram Interaksi P_n - M SP Coloumn Kolom Bawah $1,25F_y$

No	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕM_{ux} kNm	ϕM_{uy} kNm	$\phi M_{ux}/M_u$	NA Depth mm	d_t Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	2604,65	249,91	294,82	597,4	704,76	2,39	505	901	0,00235	0,65
2	3492,56	256,63	318,47	570,15	707,53	2,222	558	901	0,00184	0,65
3	4378,63	256,99	331,4	535,72	690,84	2,085	614	901	0,0014	0,65

Gambar 4.55 Hasil Analisis Interaksi P_n - M SP Coloumn Kolom bawah $1,25F_y$

No	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕM_{ux} kNm	ϕM_{uy} kNm	$\phi M_{ux}/M_u$	NA Depth mm	d_t Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	2604,65	249,91	294,82	597,4	704,76	2,39	505	901	0,00235	0,65
2	3492,56	256,63	318,47	570,15	707,53	2,222	558	901	0,00184	0,65
3	4378,63	256,99	331,4	535,72	690,84	2,085	614	901	0,0014	0,65

Gambar 4.56 Hasil Analisis Interaksi P_n - M SP Coloumn Kolom Atas $1,25F_y$

$$V_e = \frac{M_{pr_{atas}} + M_{pr_{bawah}}}{l_n}$$

$$V_e = \frac{535,72 + 597,40}{4}$$

$$V_e = 283,28 \text{ kN}$$

Diketahui :

$$\text{Nilai } M_{pr \text{ b atas}} = 824,19 \text{ kN.m}$$

$$\text{Nilai } M_{pr \text{ b bawah}} = 919,08 \text{ kN.m}$$

V_e tidak boleh melebihi dari :

$$V_{sway} = \frac{M_{pr \text{ atas}} \times DF_{atas} + M_{pr \text{ bawah}} \times DF_{bawah}}{l_n}$$

$$V_{sway} = \frac{(824,19 + 919,08) \times 0,5 + (824,19 + 919,08) \times 0,5}{4}$$

$$V_{sway} = 435,82 \text{ kN}$$

V_u tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor analisi

$$V_u = 318,47 \text{ kN}$$

Jadi digunakan $V_u = 435,82 \text{ kN}$. Asumsi kuat geser yang disambung oleh

beton, $V_c = 0$, maka :

$$\begin{aligned} V_s &= \left(\frac{V_u}{\phi} \right) \\ &= \left(\frac{435,82}{0,75} \right) \\ &= 581,09 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{581,09 \times 10^3}{420 \times 314}$$

$$= 4,41 \text{ mm}^2$$

Untuk $S = 100 \text{ mm}$, maka nilai A_v

$$= 4,41 \times 100$$

$$= 441 \text{ mm}^2$$

Sengkang yang tertutup dan ikat silang digunakan 5D10-100 dengan

$$A_{sh} = 492,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} > A_v$$

(memenuhi persyaratan)

5. Untuk daerah diluar l_o , maka nilai V_c dihitung :

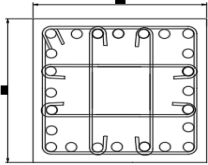
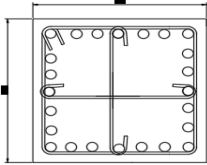
$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c b_w d} \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{570,15 \times 10^3}{14 \times 490000} \right) 1 \sqrt{24,9} \times 700 \times 314 \\ &= 2019,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 318,47 \text{ kN}$) maka daerah diluar l_o dipasang tulangan Sengkang dengan jarak

$$\begin{aligned} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{736}{2} = 368 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan pasal 18.7.5.3 jarak tulangan transversal diluar l_o tidak boleh lebih dari 150 mm atau 6db (132 mm). maka dipasang jarak maksimal 120 mm.

Detail Penulangan kolom 70 x 70 cm tulangan longitudinal pada tumpuan, lapangan, dan penulangan sengkang geser dan detail penulangan kolom lainnya dapat dilihat pada tabel 4.39 berikut.

	TUMPUAN	LAPANGAN
Kolom K1 (70x70)		
	Tul Utama 24D22 Sengkang Tumpuan 5D10-100	Tul Utama 24D22 Sengkang Lapangan 3D10-120

Gambar 4.57 Detail Penulangan Kolom 70 x 70 cm

Tabel 4.38 Detail Penulangan Kolom 70 x 70 cm

Kolom 70 x 70 cm	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan
Tulangan Longitudinal	24 D 22	
Tulangan Geser	5 D 10 - 100	3 D 10 - 120

Tabel 4.39 Detail Penulangan Kolom Gedung Fakultas Kedokteran Gigi

Detail Penulangan Kolom			
Dimensi (cm)	Tul. Pokok	Tul. Geser Tumpuan	Tul. Geser Lapangan
K1 70 x 70	24 D 22	5 D 10 - 100	3 D 10 - 120
K2 60 x 60	20 D 22	4 D 10 - 100	3 D 10 - 120
K3 50 x 50	16 D 22	4 D 10 - 100	3 D 10 - 120

4.11 Perancangan Dinding Geser

Dinding geser ini dirancang menggunakan gaya-gaya dalam yang diambil dari program analisis. Seperti halnya balok dan kolom kami akan menganalisis salah satu dinding geser yang ada pada gambar kerja yaitu dinding geser dengan labir pier 2 yaitu dengan mengambil gaya – gaya paling besar dari beban kombinasi nominal yang ada di dalam program. *Propertise* untuk dinding geser dapat dilihat pada tabel 4.40 berikut :

Tabel 4.40 Data Rencana Dinding Geser

Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>) Label Pier 1	
Tebal Dinding Geser t_w	3500 mm
Panjang As ke As L	8000 mm
Tinggi Dinding Geser h_w	23500 mm
Mutu Beton F_c'	24,9 MPa
Mutu Tulangan f_y	420 MPa
Diameter Tulangan Kolom	D 22 mm

Diameter Tulangan Longitudinal Badan	D 22 mm
Diameter Tulangan Transversal Badan	D 19 mm

Gaya – gaya dalam yang terjadi pada dinding geser digunakan gaya aksial dan momen tertinggi yang diperoleh melalui Analisa program dengan hasil beban yang dapat dilihat pada tabel 4.41 dibawah :

Tabel 4.41 Gaya Aksial dan Momen Dinding Geser Hasil Analisis Program

Gaya Aksial dan Momen Dinding Geser			
Kondisi	<i>P</i> (kN)	<i>M2</i> (kN-m)	<i>M3</i> (kN-m)
<i>P</i> max	9646,415	-14,320	4724,412
<i>P</i> min	-12040,538	-36,351	-16005,486
<i>M2</i> Max	-8479,239	247,570	1813,184
<i>M2</i> Min	-6025,727	-243,094	-1784,121
<i>M3</i> Max	-9306,099	37,004	16302,078
<i>M3</i> Min	-11426,900	-36,537	-16079,963

Tabel 4.42 Gaya Geser Dinding Geser Hasil Analisis Program

Gaya Geser Dinding Geser Kombinasi Beban	
<i>V2</i> (kN)	3303,853
<i>V3</i> (kN)	142,414

1. Cek Syarat Tulangan Minimum

$$\begin{aligned}
 \frac{V_u}{\phi} &= \frac{3303,853 \times 1000}{0,75} \\
 &= 4405137 \text{ N} \\
 A_{cv} &= t_w \times l_w \\
 &= 350 \times 8700 \\
 &= 30450000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Batas Zona 1} &= 0,083 \times A_{cv} \times F_c^{0,5} \\
 &= 0,083 \times 30450000 \times 24,9^{0,5} \\
 &= 12611451 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas Zona 2} &= 0,17 \times A_{cv} \times F_c^{0,5} \\
 &= 0,17 \times 30450000 \times 24,9^{0,5} \\
 &= 1932091 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$V_u \geq$ Batas Zona 1 maka, rasio tulangan ρ_1 dan $\rho_2 > 0,0025$

$V_u \geq$ Batas Zona 2 maka, tulangan perlu 2 lapis tulangan

2. Perhitungan Tulangan Dinding Geser

$$\begin{aligned}
 0,0025 \times A_{cv} &= 0,0025 \times 30450000 \\
 &= 7612,5 \text{ mm}^2 / \text{m}
 \end{aligned}$$

Jika dipasang tulangan D22 dalam 2 lapis

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \\
 &= 2 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2) \\
 &= 759,88 \\
 S &= \frac{759,88}{7612,5} \\
 &= 0,100 \text{ m} \\
 &= 100 \text{ mm} < 450 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

3. Cek Kuat Geser Dinding

$$\begin{aligned}
 \frac{H_w}{l_w} &= \frac{23500}{8700} \\
 &= 2,7011 > 2 \\
 \alpha_c &= 0,17 \\
 \rho_t &= \frac{2 \times \frac{3,14}{4} \times 19^2}{3500 \times 200} \\
 &= 0,0081\%
 \end{aligned}$$

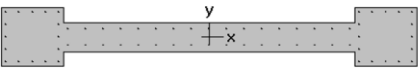
$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \lambda \times F_c^{0,5} + \rho_t \times f_y) \\
 &= 30450000 \times (0,17 \times 24,9^{0,5} + 0,0081 \times 420) \\
 &= 36190823 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times (36190823) = 27143117,25 \text{ N} \\
 &= 27143117,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$27143117,25 \geq 3303,853 \text{ kN (OKE)}$$

4. Cek Kebutuhan Elemen Batas Khusus



Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities

No	P _u kN	M _{ux} kNm	M _{uy} kNm	φM _{ux} kNm	φM _{uy} kNm	φM _u /M _u	NA Depth mm	d _t Depth mm	ε _t	φ
1	-9646	14	4724	0,06	20,73	0,004	1	4651	9,80511	0,9
2	12040	-36	-16005	-75,34	-33496,14	2,093	1805	4286	0,00412	0,824
3	8470	247	1813	1831,16	13440,91	7,414	540	1142	0,00337	0,759
4	6025	-243	-1784	-1872,74	-13748,84	7,707	500	1171	0,00406	0,819
5	9306	37	16302	76,49	33700,27	2,067	1460	4463	0,00617	0,9

Gambar 4.58 Hasil *Output* Analisis Program SP Coloum Dinding Geser

Panjang zona tekan, c = 1805

$$\frac{\delta u}{hw} = 0,005$$

Cek elemen batas khusus *Displacement Based Method*

$$C \geq \frac{Lw}{600 \times (1,5 \times \delta u)}$$

$$1805 \geq \frac{8700}{600 \times (1,5 \times 0,005)}$$

1805 $\geq$ 4,5 (Tidak Perlu)

Cek elemen batas khusus *Strngth Based Method*

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang, } A_g &= t_w \times l_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 3500 \times 7300 + 2 \times (700 \times 700) \\ &= 2653000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia Penampang, } I_g &= \frac{1}{12} \times t_w \times l_n^3 + 2 \times \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \right. \\ &\quad \left. b_k \times h_k \times \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right) \end{aligned}$$

$$= 1,29E + 14$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Maximum} &= \frac{\rho u}{A_g} + \left(\frac{M_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \right) \\ &= \frac{1240,538 \times 10^3}{2653000} + \left(\frac{16005,486 \times 10^6}{1,29E} \times \right. \\ &\quad \left. \frac{14 \times 8000}{2} \right) \\ &= 0,949 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas tegangan} &= 0,2 \times Fc' \\
 &= 0,2 \times 24,9 \\
 &= 4,980 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tagangan Maximum} \geq 0,2Fc'$$

$$0,949 \leq 4,980 \text{ MPa (Tidak Perlu)}$$

Cek Tinggi Elemen Batas Khusus

$$\begin{aligned}
 H_{be} &= h_w - \left(0,15 \times \frac{Fc'}{\text{Tegangan}}\right) \times h_w \\
 &= 23500 - \left(0,15 \times \frac{24,9}{0,949}\right) \times 23500 \\
 &= 0 \text{ mm} \\
 &= 0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5. Penulangan Elemen Batas Khusus Daerah Kolom

$$\text{Selimut Beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter } d_s = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Kaki sejajar lebar kolom} = 4 \text{ (trial and error)}$$

$$\text{Kaki sejajar Panjang kolom} = 4 \text{ (trial and error)}$$

$$s = 100 \text{ mm (trial and error)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ash 1} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\
 &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ash 2} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\
 &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{Ash 1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\text{Ash 2}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar inti beton, } b_c &= b_k - 2C_c \\
 &= 700 - 2 \times (40) = 620 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang inti beton } h_c &= h_k - 2C_c \\
 &= 700 - 2 \times (40) = 620 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Kolom, } A_g &= b_k \times h_k \\
 &= 700 \times 700 \\
 &= 490000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \times h_c \\
 &= 620 \times 620 \\
 &= 384400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Sejajar Lebar Kolom

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 1}} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}-1} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(620 \times \frac{24,9}{420} \right) \times \left(\frac{490000}{384400-1} \right) \\
 &= 3,029 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 2}} &= 0,09 \times h_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \\
 &= 0,09 \times 620 \times \frac{24,9}{420} \\
 &= 3,308 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh \ 1}}{S} &\geq \frac{A_{sh}}{S_{min}} \\
 5,309 &\geq 3,029 ; 3,308 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Sejajar Panjang Kolom

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 1}} &= 0,3 \times \left(b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}-1} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(620 \times \frac{24,9}{420} \right) \times \left(\frac{490000}{384400-1} \right) \\
 &= 3,029 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 2}} &= 0,09 \times b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \\
 &= 0,09 \times 620 \times \frac{24,9}{420} \\
 &= 3,308 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{Ash\ 1}{S} \geq \frac{Ash}{S_{min}}$$

$$5,309 \geq 3,029 ; 3,208 \text{ (OKE)}$$

6. Penulangan Elemen Batas Khusus Daerah Badan

Selimut Beton = 40 mm

Diameter d_s = 13 mm

Kaki sejajar lebar kolom = 3 (*trial and error*)

Kaki sejajar Panjang kolom = 4 (*trial and error*)

s = 100 mm (*trial and error*)

$$Ash\ 1 = n \times \frac{1}{4} \times \pi d_s^2$$

$$= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2$$

$$= 398,197 \text{ mm}^2$$

$$Ash2 = n \times \frac{1}{4} \times \pi d_s^2$$

$$= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2$$

$$= 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{Ash}{S_{min\ 1}} = \frac{398,197}{100}$$

$$= 3,982 \text{ mm}^2$$

$$\frac{Ash}{S_{min\ 2}} = \frac{530,939}{100}$$

$$= 5,309 \text{ mm}^2$$

Panjang EBK badan, b

$$= LBE - h_k$$

$$= 1000 - 700$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Tebal Dinding, h

$$= t_w$$

$$= 350 \text{ mm}$$

Lebar inti beton, bc

$$= b - 2Cc$$

$$= 300 - 2 \times (40)$$

$$= 220 \text{ mm}$$

Panjang inti beton, hc

$$= h - 2Cc$$

$$= 350 - 2 \times (40)$$

$$= 270 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang, } A_g &= b \times h \\
 &= 300 \times 350 \\
 &= 105000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \times h_c \\
 &= 220 \times 270 \\
 &= 59400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Sejajar Dinding

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 1}} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}-1}) \\
 &= 0,3 \times (270 \times \frac{24,9}{420}) \times (\frac{105000}{59400-1}) \\
 &= 3,686 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 2}} &= 0,09 \times b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \\
 &= 0,09 \times 270 \times \frac{24,9}{420} \\
 &= 1,441 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh \ 1}}{S} &\geq \frac{A_{sh}}{S_{min}} \\
 3,982 &\geq 3,686 ; 1,441 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Sejajar Panjang Kolom

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 1}} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}-1}) \\
 &= 0,3 \times (220 \times \frac{24,9}{420}) \times (\frac{105000}{59400-1}) \\
 &= 3,004 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{S_{min \ 2}} &= 0,09 \times b_c \times \frac{F_{c'}}{f_y} \\
 &= 0,09 \times 220 \times \frac{24,9}{420} \\
 &= 1,174 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh1}}{S} \geq \frac{A_{sh}}{S_{min}}$$

$$5,309 \geq 3,004 ; 1,174 \text{ (OKE)}$$

Detail Penulangan dinding geser sejajar kolom maupun pada badan dinding geser dapat dilihat pada tabel 4.43 dan 4.44 berikut :

Tabel 4.43 Penulangan Kolom Sejajar Dinding Geser
Gedung Fakultas Kedokteran Gigi

Tulangan Kolom Bagian Dinding Geser	
Logitudinal	20 D 22
Transversal (Sejajar Lebar)	4 D 13 – 100
Transversal (Sejajar Panjang)	4 D 13 – 100

Tabel 4.44 Penulangan Badan Dinding Geser
Gedung Fakultas Kedokteran Gigi

Tulangan Kolom Bagian Dinding Geser	
Logitudinal	2 D 22 – 100
Transversal	2 D 19 – 200
Cofinement EBK (Sejajar Lebar)	3 D 13 - 100
Cofinement EBK (Sejajar Panjang)	4 D 13 - 100

4.12 Hubungan Balok – Kolom

1. Cek Syarat Panjang *Joint*

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok induk tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok (SNI 2847–2019 PASAL).

$$b = 700$$

$$h = 700$$

$$20d_b = 20 \times 22 = 440 \text{ mm (memenuhi)}$$

2. Tulangan Tranversal Untuk *Confinement*

Jumlah tulangan confinement dapat memakai seperti pada pendetailan tulangan transversal kolom pada l_0 sebagaimana diisyaratkan pada SNI 2847–2019 jadi dapat digunakan 2D10–120.

3. Hitung Gaya Geser Pada *Joint*

Pada *joint* kekakuan kolom atas dan bawah sama, sehingga $df = 0,5$ untuk setiap kolom, sehingga :

$$\begin{aligned} M_u &= 0,5 (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) \\ &= 0,5 (675610506 + 796619193) \\ &= 736,115 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Hitung Geser Pada Kolom

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{2 \times M_u}{l_n} = \frac{2 \times 736,115}{3,6} \\ &= 408,953 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Hitung Gaya Pada Tulangn Balok Longitudinal

As balok kanan 6D22 = 2280,796 mm²

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s' \times f_y \\ &= 1,25 \times 2280,796 \times 420 \\ &= 1197417,9 \text{ N} = 11974,179 \text{ kN} \end{aligned}$$

As balok kiri 5D22 = 1900,664 mm²

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s' \times f_y \\ &= 1,25 \times 1900,64 \times 420 \\ &= 997848,6 \text{ N} = 9978,486 \text{ kN} \end{aligned}$$

6. Hitung Gaya Geser Pada *Joint*

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 11974,179 + 9978,486 - 408,953 \\ &= 21544,712 \text{ kN} \end{aligned}$$

7. Cek Kuat Geser *Joint*

Kuat geser *joint* dikenkang di keempat sisi adalah (SNI 2847–2019)

$$\begin{aligned}V_n &= 1,7 \times \sqrt{F_c'} \times A_j \\&= 1,7 \times \sqrt{24,9} \times (700 \times 700) \\&= 4156661,653\end{aligned}$$

$$\phi V_n > V_j$$

$$0,75 \times 4156661,653 > 21544,712$$

$$3117496,24 > 21544,712$$

4.13 Perancangan *Tie Beam (Sloof)*

Sesuai dengan Perancangan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung Pasal 2.2.8, untuk fondasi dari suatu gedung harus saling berhubungan dengan 2 arah oleh unsur penghubung yang direncanakan untuk gaya aksial tarik dan tekan sebesar 10% dari beban vertikal maksimum. Dalam perancangan *tie beam (sloof)* ini diambil contoh perhitungan pada *tie beam (sloof)* kolom interior :

1. Data Perencanaan

- Gaya aksial kolom = 6447,044 kN
- ρ_u = 10% x 6447,044
= 6447,044 kN = 644704,4 N
- Dimensi *tie beam* = 300 x 600 mm
- Panjang *tie beam* = 8 m
- Mutu beton (F_c') = 24,9 MPa
- Diameter Tul. Utama (ϕ) = 22 mm
 - Mutu Baja (f_y) = 420 MPa
 - Elastisitas (E_s) = 200000 Mpa
 - Selimut beton = 40 mm
 - Tegangan ijin Tarik beton :
$$f_{ijin} = 0,7 \times \sqrt{F_c'} = 0,7 \times \sqrt{24,9}$$
$$= 3,49 \text{ MPa}$$

- Tegangan Tarik yang terjadi :

$$f_r = \frac{\rho u}{\phi b h} = \frac{644704.4}{0,8 \times 300 \times 600}$$

$$= 4,477 < f_{ijin} \dots\dots (OKE)$$

2. Penulangan Lentur *Tie Beam (Sloof)*

Penulangan *sloof* didasarkan pada kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur. Untuk memudahkan perancangan penulangan lentur *tie beam (sloof)* digunakan program bantu analisis dengan data beban sebagai berikut :

$$M_u = 529,77 \text{ kN-m}$$

$$\rho_u = 357,41 \text{ kN}$$

Direncanakan menggunakan tulangan 10 D 22

$$(A_s = 9123,2 \text{ mm}^2)$$

Lalu dicek dengan digram interaksi hasil program bantu seperti pada Gambar 4.46.



Gambar 4.59 Diagram Interaksi *Tie Beam (Sloof)*

Dari diagram interaksi pada Gambar 4.38 didapatkan rasio tulangan sebesar 1,72% (8 D 22) serta terlihat pula bahwa *tie beam (sloof)* mampu memikul kombinasi momen dan aksial yang terjadi.

Jarak minimum yang disyaratkan antar dua tulangan longitudinal adalah 25 mm. besarnya jarak antara tulangan longitudinal terpasang pada balok *tie beam (sloof)* tersebut adalah :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \phi_{\text{senggang}} - n \cdot \phi_{\text{tul utama}}}{n - 1} \geq 25 \text{ mm} \\
 &= \frac{600 - 2,40 - 2,10 - 8,22}{8 - 1} \geq 25 \text{ mm} \\
 &= 48,571 \geq 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. Penulangan Geser *Tie Beam (Sloof)*

$$V_u = 303,504 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847–2013 Pasal 11.2.1.2 penentuan kekuatan geser beton yang terbebani aksial tekan ditentukan dengan perumusan berikut :

$$A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 639 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{\rho_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{F_c'} b_w d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{644,7044}{14 \times 490000} \right) \sqrt{24,9} \times 700 \times 639 \\
 &= 379479,4883 \text{ N} = 379479,4883 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$0,75 \times 379479,4883 \geq 303,504$$

$$284609,6162 \geq 303,504 \quad (\text{Oke, Memenuhi})$$

Berdasarkan SNI 2847–2013 Pasal 21.12.3 jarak antar tulangan transversal pada *tie beam (sloof)* tidak diperbolehkan kurang dari berikut ini :

$$\frac{d}{2} = \frac{639}{2} = 319,5 \text{ mm}$$

250 mm

Jika dipasang Senggang Ø10–250 mm di sepanjang *tie beam (sloof)*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perancangan Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung yang telah dibahas pada laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “PERANCANGAN STRUKTUR ATAS BANGUNAN GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya gempa yang dirancang sesuai dengan SNI 1726–2019 pada Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang sebagai berikut :
 - a. Kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa bangunan telah terpenuhi pada ragam 21 dari total ragam 21 untuk arah UX, UY, dan RZ. Sehingga partisipasi massa bangunan translasi arah X, Y, dan Z telah terpenuhi yaitu 100 % dari massa struktur.
 - b. Simpangan antar lantai pada Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang telah direncanakan sesuai peraturan yang ada dengan hasil simpangan antar lantai terbesar adalah arah X sebesar 121,72 mm dan arah Y sebesar 183,85 mm.
2. Hasil penulangan struktur pada Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung sebagai berikut :
 - a. Penulangan pelat lantai pada perancangan ini menggunakan tebal 125 mm dengan diameter tulangan D10–200 pada tumpuan dan lapangan dengan arah X dan Y.
 - b. Penulangan balok yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi balok 400 x 800 mm dengan diameter tulangan bagian atas 6 D 22 pada area tumpuan dan 5 D 22 pada area lapangan. Sedangkan diameter tulangan bagian bawah 5 D 22 pada area tumpuan dan 6 D 22 area lapangan.
 - c. Penulangan kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi kolom 700 x 700 mm dengan diameter tulangan pokok 24 D 22, diameter tulangan geser tumpuan 5 D 10–100, dan diameter tulangan geser lapangan 2 D 10–120.

- d. Penulangan dinding geser yang ditinjau pada perancangan ini yang terletak pada area kolom dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 20 D 22, tulangan transversal (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan transversal (sejajar panjang) 4 D 13–100. Sedangkan untuk area badan dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 2 D 22–100, tulangan transversal 2 D 19–100, tulangan *confinement* EBK (sejajar lebar) 3 D 13–100, tulangan *confinement* EBK (sejajar panjang) 4 D 13 – 100.
- e. Penulangan hubungan balok – kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi 700 x 700 mm dengan diameter tulangan transversal *confinement* 2 D 10–120, tulangan longitudinal 6 D 22 pada bagian kanan balok, dan 5 D 22 pada bagian kiri balok.
- f. Penulangan *tie beam (sloof)* yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi 300 x 600 mm dengan diameter tulangan lentur 10 D 22, dan tulangan geser D 10–250.

5.2 Saran

Penulisan dari Tugas Akhir yang berjudul “PERANCANGAN STRUKTUR ATAS BANGUNAN GEDUNG FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG” ini masih belum dapat dikatakan sempurna dikarenakan masih banyaknya kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis untuk penulisan Tugas Akhir berikutnya adalah sebagai berikut :

1. Pemahaman untuk materi harus lebih ditingkatkan kembali.
2. Dapat lebih mendalami bagaimana program-program bantu seperti ETABS dan SP *Column*.

DAFTAR PUSTAKA

- Cipta Karya, PU. 2022. *Desain Spektra Indonesia*. Diskses melalui : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Frinsilia Jaglien Liando dkk. 2020. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. Jurnal Sipil Statik*. Vol 8, Nomer 4: 471-482. Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado
- Iswandi Impran & Fajar Hendrik. 2014. *“Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang”*, ITB, Bandung, Indonesia
- Laresi, Y.T. 2017. *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai, Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie
- Setiawan, Agus, ST., MT. 2016. *“Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013”*. Erlangga. Jakarta, Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. SNI 1726–2019 *“Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung”*, BSN, Jakarta, Indonesia
- Standar Nasional Indonesia. 2020. SNI 1727-2020 *“Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain”*, BSN, Jakarta, Indonesia
- Standar Nasional Indonesia. 2019. SNI 2847-2019 *“Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya”*, BSN, Jakarta, Indonesia