

TUGAS AKHIR
DESAIN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT 5 LANTAI
DI KOTA BANDA ACEH

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



Disusun Oleh :

Aldy Gilang Pradika

30.2019.000.29

Alfian Nur Hidayat

30.2019.000.30

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT 5 LANTAI
DI KOTA BANDA ACEH



Aldy Gilang Pradika
NIM : 30201900029



Alfian Nur Hidayat
NIM : 30201900030

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 30 Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.**
NIDN: 00-0405-6302
2. **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**
NIDN: 06-2505-9102
3. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.**
NIDN: 06-0704-6802

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 06-2505-9102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 19/A.2/SA – T / IX / 2022

Pada hari ini tanggal 30 -Januari-2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Aldy Gilang Pradika
NIM : 30201900029

Alfian Nur Hidayat
NIM : 30201900030

Judul : Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di kota Banda Aceh

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	10/09/2022	ACC
2	Seminar Proposal	29/11/2022	
3	Pengumpulan data	03/12/2022	
4	Analisis data	20/12/2022	
5	Penyusunan laporan	05/01/2023	
6	Selesai laporan	24/01/2023	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Aldy Gilang Pradika

NIM : 30201900029

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Alfian Nur Hidayat

NIM : 30201900030

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,



Alfian Nur Hidayat
NIM : 30201900030

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Aldy Gilang Pradika
NIM : 30201900029
JUDUL TUGAS AKHIR : Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh

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 ijasah 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 buar.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,


METERAI TEMPEL
2AB11AJX257509361
Aldy Gilang Pradika
NIM : 30201900029

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Alfian Nur Hidayat
NIM : 30201900030
JUDUL TUGAS AKHIR : Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh

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 ijasah 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,

Yang membuat pernyataan,

Alfian Nur Hidayat
NIM : 30201900030



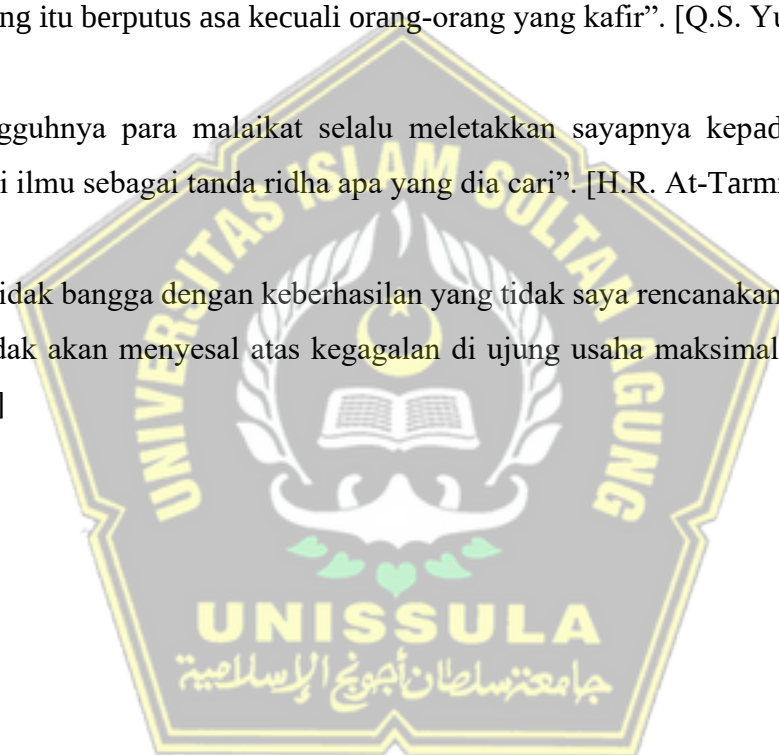
MOTO

“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. [Q.S. Ali Imron : 110]

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tidaklah seseorang itu berputus asa kecuali orang-orang yang kafir”. [Q.S. Yusuf : 87]

“Sesungguhnya para malaikat selalu meletakkan sayapnya kepada orang yang mencari ilmu sebagai tanda ridha apa yang dia cari”. [H.R. At-Tarmidzi : 3535]

“Saya tidak bangga dengan keberhasilan yang tidak saya rencanakan, sebagaimana saya tidak akan menyesal atas kegagalan di ujung usaha maksimal.”. [Harun Al-Rasyid]



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini Penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Nurul Makin dan Ibu Atik Hartanti Mulyono, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan do'a.
2. Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmu.
3. Bapak Dosen Pembimbing Dr. Ir. H. Sumirin, M.S. dan Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng. yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan Tugas Akhir kami.
4. Alfian Nur Hidayat rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
5. Teman Teknik Sipil se-Angkatan 2019 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Aldy Gilang Pradika

NIM : 30201900029

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini Penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Masiran dan Ibu Solikatin, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan do'a.
2. Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmu.
3. Bapak Dosen Pembimbing Dr. Ir. H. Sumirin, M.S. dan Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng. yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan Tugas Akhir kami.
4. Aldy Gilang Pradika rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
5. Teman Teknik Sipil se-Angkatan 2019 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Alfian Nur Hidayat

NIM : 30201900030

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, M.S. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.
6. *Partner* pengerjaan Tugas Akhir yang selalu bekerjasama sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat pada waktunya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi Penulis juga bagi para Pembaca.

Semarang,

Aldy Gilang Pradika (30201900029)

Alfian Nur Hidayat (30201900030)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiv
DAFTAR NOTASI.....	xxix
DAFTAR LAMPIRAN	xxxvi
ABSTRAK	xxxvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Ruang Lingkup	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Metode Perancangan	3
1.6.1 Tinjauan Pustaka.....	3
1.6.2 Pengumpulan Data.....	3
1.6.3 Pemodelan Struktur	3
1.6.4 Hasil Analisa Struktur	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konsep Struktur.....	5
2.2 Sistem Struktur Penahan Gempa.....	5

2.2.1	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	5
2.2.2	Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	6
2.2.3	Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	6
2.3	Beban yang Bekerja pada Struktur Bangunan Gedung.....	7
2.3.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	7
2.3.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	8
2.3.3	Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>).....	12
2.3.4	Faktor Beban dan Kombinasi Beban.....	13
2.3.5	Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	14
2.4	Perancangan Struktur Bangunan Gedung.....	15
2.5	Perancangan Struktur Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019.....	15
2.5.1	Gempa Rencana.....	16
2.5.2	Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	16
2.5.3	Klasifikasi Situs.....	19
2.5.4	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget	19
2.5.5	Parameter Percepatan Spektral Desain.....	21
2.5.6	Spektrum Respons Desain.....	21
2.5.7	Kategori Desain Seismik	23
2.5.8	Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Arah yang Berbeda	24
2.5.9	Periode Fundamental Pendekatan	25
2.5.10	Periode Fundamental Struktur.....	25
2.5.11	Gaya Geser Dasar Seismik	26
2.5.12	Simpangan Antar Tingkat	27
2.5.13	Pengaruh <i>P</i> -Delta	28
2.5.14	Analisis Spektrum Respons Ragam	29
2.5.15	Ketidakteraturan Struktur	29
2.5.15.1	Ketidakteraturan Horizontal.....	29
2.5.15.2	Ketidakteraturan Vertikal.....	32
2.6	Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847: 2019.....	33
2.6.1	Perancangan Pelat Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	34

2.6.2 Perancangan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	35
2.6.3 Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	39
2.6.4 Perancangan <i>Strong Column-Weak Beam</i>	42
2.6.5 Perancangan Hubungan Balok Kolom (<i>Joint</i>) pada SRPMK	42
2.6.6 Perancangan Dinding Geser	43
2.5.6.1 Tulangan Minimum	45
2.5.6.2 Batas Ketinggian Bangunan yang Ditingkatkan untuk Dinding Geser Beton Bertulang	45
2.5.6.3 Pengangkuran Dinding Struktural	45
2.5.6.4 Pengekangan pada Dinding Geser	46
2.7 Perancangan Struktur Bawah	47
2.7.1 Pondasi <i>Spun Pile</i>	48
a. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Dari Uji Penetrasi Standard (SPT) Menurut Mayerhoof	48
b. Perhitungan Pondasi Tiang Kelompok (<i>Pile Group</i>)	49
c. Kontrol Beban Maksimum	49
d. Kontrol Gaya Lateral (Metode Broms)	50
BAB III	50
METODE PERANCANGAN	50
3.1 Pengumpulan Data	50
3.1.1 Data Umum Proyek	50
3.2 Perancangan Analisis Struktur	50
3.3 Laporan Penggambaran	53
3.4 Diagram Alir	54
3.5 Acuan Desain Standar	55
3.6 Data Struktur	55
3.6.1 Dimensi Elemen Struktur	55
3.7 Permodelan Struktur Bangunan	56
3.8 Konversi Satuan	59
3.9 <i>Material Properties</i> Struktur Bangunan	59

3.10 Dimensi Elemen Struktur	61
3.10.1 Elemen Kolom.....	61
3.10.2 Elemen Balok	64
3.10.3 Elemen Pelat.....	66
3.11 Penggambaran Elemen Struktur pada Denah.....	67
3.11.1 Penggambaran Elemen Kolom.....	67
3.11.2 Penggambaran Elemen Balok	71
3.11.3 Penggambaran Elemen Pelat	73
3.12 Hasil Permodelan Elemen Struktur	75
3.13 Input <i>Beban Statik</i>	76
3.14 Perhitungan dan Input Beban Mati.....	77
3.15 Perhitungan dan Input Beban Hidup	78
3.16 Asumsi dalam Perancangan.....	79
3.16.1 Taraf Penjepitan Lateral	79
3.17 Rigid Zone Factor.....	79
3.18 Diafragma.....	80
3.19 Mass Source	80
3.20 Modal	81
3.21 Elemen Struktur Atap.....	83
3.22 Elemen Struktur Kuda-Kuda.....	89
3.23 Perencanaan Pembebanan Kuda-Kuda.....	92
3.24 Elemen Struktur Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>).....	93
BAB IV	95
HASIL DAN PEMBAHASAN	95
4.1. Data Struktur Gedung	95
4.1.1. Deskripsi Umum Struktur	95
4.1.2. Perancangan Awal Dimensi Struktur (<i>Preliminary Design</i>)	98
4.1.2.1. <i>Preliminary</i> Elemen Pelat	98
4.1.2.2. <i>Preliminary</i> Elemen Balok	99
4.1.2.3. <i>Preliminary</i> Elemen Kolom	99
4.1.2.4. <i>Preliminary</i> Elemen Dinding Geser	100
4.2. Pemodelan Elemen Struktur	101

4.2.1. Pemodelan Pelat	101
4.2.2. Pemodelan Balok	102
4.2.3. Pemodelan Kolom	102
4.2.4. Pemodelan Dinding Geser	103
4.2.4. Pemodelan Pondasi	103
4.3. Pemodelan Struktur	104
4.3.1. Pemodelan 1	104
4.3.2. Pemodelan 2	107
4.3.3. Pemodelan 3	110
4.3.4. Pemodelan 4	113
4.4. Pembebanan Struktur	116
4.4.1. Pembebanan Gravitasi	116
4.4.2. Pembebanan Gempa	117
4.4.3. Kombinasi Pembebanan Struktur	122
4.5. Pengecekan Perilaku Struktur Bangunan	124
4.5.1. Rasio Partisipasi Massa	124
4.5.2. Perhitungan Faktor Skala Gempa	125
4.5.2.1. Perhitungan Koefisien Respons Seismik (C_s)	125
4.5.2.2. Perhitungan Faktor Skala Gaya	126
4.5.3. Pengecekan Gaya Geser	128
4.5.4. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	129
4.5.5. Pengecekan <i>P-Delta</i>	132
4.5.6. Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi	134
4.5.6.1. Pengecekan Eksentrisitas	134
4.5.6.2. Perhitungan Ketidakberaturan Torsi	137
4.5.7. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal	138
4.5.8. Pengecekan Kontribusi <i>Frame</i> Memikul Minimal 25% Gaya Lateral	142
4.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang	143
4.6.1. Perancangan Pelat	143
4.6.1.1. Properti Material dan Penampang	143
4.6.1.2. Gaya Dalam	144
4.6.1.3. Penulangan Lentur Pelat (Analisis untuk per m')	144

4.6.1.4. Pengecekan Kapasitas Geser	156
4.6.1.5. Pengecekan Lendutan Pelat	157
4.6.1.6. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	162
4.6.2. Perancangan Balok	163
4.6.2.1. Properti Material dan Penampang	163
4.6.2.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok	164
4.6.2.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok	178
4.6.2.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok	184
4.6.2.5. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok	195
4.6.3. Perancangan Kolom	196
4.6.3.1. Properti Material dan Penampang	196
4.6.3.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom	197
4.6.3.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom	200
4.6.3.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom	205
4.6.4. Perancangan <i>Strong Column-Weak Beam</i>	205
4.6.5. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>)	206
4.6.5.1. Syarat Panjang <i>Joint</i>	206
4.6.5.2. Tulangan Geser untuk <i>Confinement</i>	206
4.6.5.3. Gaya Geser pada <i>Joint</i>	207
4.6.5.4. Gaya Geser pada Kolom	207
4.6.5.5. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok	207
4.6.5.6. Kuat Geser pada <i>Joint</i>	208
4.6.5.7. Kuat Geser yang dikekang Keempat Sisi	208
4.6.6. Perancangan Dinding Geser	209
4.6.6.1. Properti Material dan Penampang Dinding Geser SW01	210
4.6.6.2. Gaya Dalam	211
4.6.6.3. Pengecekan Geometri	211
4.6.6.4. Kebutuhan Tulangan Minimum	212
4.6.6.5. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (<i>SPColumn</i>) ...	212
4.6.6.6. Pengecekan Kapasitas Geser	214
4.6.6.7. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus	215
4.6.6.8. Penulangan Elemen Batas Khusus	217

4.6.6.9. Properti Material dan Penampang Dinding Geser SW06	221
4.6.6.10. Gaya Dalam	222
4.6.6.11. Pengecekan Geometri	222
4.6.6.12. Kebutuhan Tulangan Minimum	223
4.6.6.13. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn) .	224
4.6.6.14. Pengecekan Kapasitas Geser	225
4.6.6.15. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus	226
4.6.6.16. Penulangan Elemen Batas Khusus	228
4.6.6.17. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser	232
4.6.7. Perancangan Pondasi <i>Spun Pile</i>	233
4.6.7.1. Properti Material dan Penampang	234
4.6.7.2. Data Tanah dan <i>Output</i> Reaksi Tumpuan	234
4.6.7.3. Perhitungan Daya Dukung Izin Satu Tiang	235
4.6.7.4. Perhitungan Tahan Lateral Satu Tiang	236
4.6.7.5. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang	237
4.6.7.6. Kontrol Gaya Aksial dan Lateral Pada Tiang	238
4.6.7.7. Perhitungan Penulangan Pada <i>Pilecap</i>	241
4.7. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan	244
BAB V PENUTUP	254
5.1. Kesimpulan	254
5.2. Saran	256
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Parameter Gerak Tanah (Ss) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)	20
Gambar 2. 2 Parameter Gerak Tanah (S1) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan, Risiko-Tertarget (MCER)	20
Gambar 2. 3 Spektrum Respons Desain.....	22
Gambar 2. 4 Peta Transisi Periode Panjang (TL).....	23
Gambar 2. 5 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	27
Gambar 2. 6 Bentuk Ketidakberaturan Horizontal	31
Gambar 2. 7 Bentuk Ketidakberaturan Vertikal	33
Gambar 2. 8 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (<i>Wide Beam</i>).....	36
Gambar 2. 9 Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK	37
Gambar 2. 10 Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK	37
Gambar 2. 11 Contoh Sengkang Tertutup (<i>Hoop</i>) yang Dipasang Bertumpuk dan Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal	38
Gambar 2. 12 Geser Desain untuk Balok dan Kolom	39
Gambar 2.13 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom.....	40
Gambar 2.14 Luas <i>Joint</i> Efektif	42
Gambar 3. 1 <i>Model Initialization</i>	56
Gambar 3. 2 <i>New Model Quick Templates</i>	56
Gambar 3. 3 <i>Grid System Data</i>	57
Gambar 3. 4 <i>Story Dimention</i>	58
Gambar 3. 5 <i>Story Data</i>	58
Gambar 3. 6 <i>Display Units</i>	59
Gambar 3. 7 Mutu Beton f_c' 30 MPa	59
Gambar 3. 8 Mutu BJTD 42	60
Gambar 3. 9 Mutu Baja Profil f_y 420 MPa.....	61
Gambar 3. 10 <i>Section Shape Concrete</i>	62
Gambar 3. 11 Input Dimensi Kolom K 70x70	62
Gambar 3. 12 Efektifitas Penampang Kolom.....	63
Gambar 3. 13 <i>Reinforcement Data Column</i>	63
Gambar 3. 14 <i>Input Dimensi Beam</i>	64

Gambar 3. 15 Efektifitas Penampang Balok	65
Gambar 3. 16 Reinforcement Data Beam	65
Gambar 3. 17 Data Slab	66
Gambar 3. 18 Efektifitas Penampang Pelat	67
Gambar 3. 19 Konfigurasi Kolom Lantai 1	68
Gambar 3. 20 Konfigurasi Kolom Lantai 2	69
Gambar 3. 21 Konfigurasi Kolom Lantai 3	69
Gambar 3. 22 Konfigurasi Kolom Lantai 4	69
Gambar 3. 23 Konfigurasi Kolom Lantai 5	70
Gambar 3. 24 Konfigurasi Rangka Baja	70
Gambar 3. 25 Konfigurasi Atap Dak Beton	70
Gambar 3. 26 Properties B1 35x70	71
Gambar 3. 27 Penggambaran Balok Arah X Denah Lantai 2	71
Gambar 3. 28 Penggambaran Balok Arah Y Denah Lantai 2	72
Gambar 3. 29 Properties Balok Anak B1 30x60	72
Gambar 3. 30 Penggambaran Balok Anak Denah Lantai 2	73
Gambar 3. 31 Properties Pelat Lantai	74
Gambar 3. 32 Penggambaran Pelat Lantai Denah Lantai 3	74
Gambar 3. 33 Plan of 2D Model	75
Gambar 3. 34 3D Model View	75
Gambar 3. 35 Pendefinisian Pola Beban	76
Gambar 3. 36 Load Case Data	76
Gambar 3. 37 Berat Mati Tambahan Pelat Lantai	77
Gambar 3. 38 Berat Mati Tambahan Pelat Atap	78
Gambar 3. 39 Input Berat Beban Hidup Lantai	78
Gambar 3. 40 Perletakan Jepit	79
Gambar 3. 41 Rigid Zone Factor	80
Gambar 3. 42 Diaphragm Data	80
Gambar 3. 43 Mass Source by Load Patterns	81
Gambar 3. 44 Modal by Load Cases	82
Gambar 3. 45 Jumlah Mode yang Berkontribusi	82
Gambar 3. 46 Elemen Slab Atap	83

Gambar 3. 47 Gambar Desain Atap Dak	84
Gambar 3. 48 Elemen Atap 350x75x7x11.....	85
Gambar 3. 49 <i>Property/Stiffness Modification Factors</i> 350x175x7x11.....	85
Gambar 3. 50 Elemen Atap 250x125x6x9	86
Gambar 3. 51 <i>Property/Stiffness Modification Factors</i> 250x125x6x9.....	86
Gambar 3. 52 Elemen Atap CNP 150x65x20x2,3.....	87
Gambar 3. 53 <i>Property/Stiffness Modification Factors</i> CNP 150x65x20x2,3.....	87
Gambar 3. 54 Elemen Atap <i>Bracing</i> D16.....	88
Gambar 3. 55 <i>Property/Stiffness Modification Factors</i> <i>Bracing</i> D16.....	88
Gambar 3. 56 Konfigurasi <i>Frame</i>	89
Gambar 3. 57 <i>Property of object</i> 350x175x7x11	89
Gambar 3. 58 <i>Replicate</i>	90
Gambar 3. 59 <i>Frame</i> kerangka kuda-kuda	90
Gambar 3. 60 <i>Frame</i> kerangka kuda-kuda lengkap	90
Gambar 3. 61 Gording CNP 150x65x20x2,3	91
Gambar 3. 62 <i>Bracing</i> D16.....	91
Gambar 3. 63 3D <i>Model View All Structure</i>	92
Gambar 3. 64 <i>Input Data</i> Dinding Geser	94
Gambar 3. 65 Efektifitas Penampang Dinding Geser.....	94
Gambar 4. 1. Denah Lantai Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Banda Aceh, Aceh	96
Gambar 4. 2. Denah Lantai 1-5 Pemodelan Awal	96
Gambar 4. 3. Denah Lantai 1 Pemodelan 1	105
Gambar 4. 4. Model 3D Pemodelan 1	105
Gambar 4. 5. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 1	106
Gambar 4. 6. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 1	107
Gambar 4. 7. Denah Lantai 1 Pemodelan 2	108
Gambar 4. 8. Model 3D Pemodelan 2	108
Gambar 4. 9. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 2	109
Gambar 4. 10. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 2	110
Gambar 4. 11. Denah Lantai 1 Pemodelan 3	111
Gambar 4. 12. Model 3D Pemodelan 3	111

Gambar 4. 13. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 3	112
Gambar 4. 14. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 3	113
Gambar 4. 15. Denah Lantai 1 Pemodelan 4	114
Gambar 4. 16. Model 3D Pemodelan 4	114
Gambar 4. 17. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 4	115
Gambar 4. 18. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 4	116
Gambar 4. 19. Spektrum Respons Desain Lokasi Perancangan	122
Gambar 4. 20. Diagram Gaya Geser Gempa Arah X	129
Gambar 4. 21. Diagram Gaya Geser Gempa Arah Y	129
Gambar 4. 22. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X	131
Gambar 4. 23. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y	132
Gambar 4. 24. Diagram <i>P-Delta</i> Arah X	133
Gambar 4. 25. Diagram <i>P-Delta</i> Arah Y	134
Gambar 4. 26. Tipe Pelat	143
Gambar 4. 27. Penulangan Pelat	162
Gambar 4. 28. Denah Balok G1 Sampel	163
Gambar 4. 29. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1	165
Gambar 4. 30. Momen Ultimit Lapangan Balok G1	165
Gambar 4. 31. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok G1	178
Gambar 4. 32. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok G1	179
Gambar 4. 33. Gaya Torsi Balok G1	186
Gambar 4. 34. Potongan Memanjang Balok	194
Gambar 4. 35. Tulangan Tumpuan Balok	195
Gambar 4. 36. Tulangan Lapangan Balok	195
Gambar 4. 37. Denah Kolom K1 Sampel	196
Gambar 4. 38. Tulangan Longitudinal Kolom K1	198
Gambar 4. 39. Diagram Interaksi P_n-M_{pr} SPColumn Kolom K1	199
Gambar 4. 40. Diagram Interaksi P_n-M SPColumn Kolom K1 dengan $1,25 f_y$	202
Gambar 4. 41. Potongan Memanjang Kolom K1	204
Gambar 4. 42. Tulangan Ujung Kolom K1	205
Gambar 4. 43. Tulangan Tengah Kolom K1	205
Gambar 4. 44. Hubungan Balok Kolom (<i>Joint</i>)	209

Gambar 4. 45. Denah Lokasi Dinding Geser	209
Gambar 4. 46. Denah Dinding Geser Sampel SW01	210
Gambar 4. 47. Penampang Dinding Geser Rencana SW01	211
Gambar 4. 48. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser SW01	213
Gambar 4. 49. Denah Dinding Geser Sampel SW06	221
Gambar 4. 50. Penampang Dinding Geser Rencana SW06	222
Gambar 4. 51. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser SW06	224
Gambar 4. 52. Detail Tulangan Dinding Geser SW01	234
Gambar 4. 53. Detail Tulangan Dinding Geser SW06	234
Gambar 4. 54. Pemodelan Pondasi	235
Gambar 4. 55. Denah <i>Pilecap</i> PC 04	239
Gambar 4. 56. Konfigurasi <i>Pilecap</i> dan Tiang Pancang Arah X	243
Gambar 4. 57. Konfigurasi <i>Pilecap</i> dan Tiang Pancang Arah Y	245



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	8
Tabel 2. 2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (L_o) dan Beban Hidup Terpusat Minimum.....	8
Tabel 2. 3 Kombinasi Beban	13
Tabel 2. 4 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	14
Tabel 2. 5 Kategori Risiko Bangunan	16
Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa.....	18
Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs	19
Tabel 2. 8 Koefisien Situs (F_a)	21
Tabel 2. 9 Koefisien Situs (F_v)	21
Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (SDS)	23
Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik ($S1$)	23
Tabel 2. 12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	24
Tabel 2. 13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	25
Tabel 2. 14 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung (C_u).....	26
Tabel 2. 15 Simpangan Antar Tingkat Izin	28
Tabel 2. 16 Persyaratan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	30
Tabel 2. 17 Persyaratan Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur.....	32
Tabel 2. 18 Ketebalan Minimum Pelat 1 Arah.....	34
Tabel 2. 19 Ketebalan Minimum Pelat 2 Arah	34
Tabel 2. 20 A_{smin} untuk Pelat	35
Tabel 2. 21 Tinggi Balok Minimum (h)	35
Tabel 2. 22 Tulangan Transversal untuk Kolom-Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	41
Tabel 2. 23 Tulangan Transversal untuk Elemen Batas Khusus	45
Tabel 3. 1 Data umum proyek	50
Tabel 3. 2 Diagram Alir Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Banda Aceh	54
Tabel 4. 1. Data Model Struktur Gedung	95

Tabel 4. 2. Tinggi Antar Lantai Bangunan	97
Tabel 4. 3. Mutu Baja Tulangan	97
Tabel 4. 4. Mutu Beton Balok dan Pelat	97
Tabel 4. 5. Mutu Beton Kolom dan Dinding Geser	97
Tabel 4. 6. Tebal Minimum Pelat 1 Arah	98
Tabel 4. 7. Tebal Minimum Pelat 2 Arah	98
Tabel 4. 8. Dimensi Pelat Yang Dipakai	99
Tabel 4. 9. Hasil <i>Preliminary</i> Elemen Balok	99
Tabel 4. 10. Hasil <i>Preliminary</i> Elemen Kolom	100
Tabel 4. 11. Tebal Minimum Dinding	100
Tabel 4. 12. Dimensi Balok Setelah Pengecekan	102
Tabel 4. 13. Dimensi Kolom Setelah Pengecekan	102
Tabel 4. 14. Dimensi Dinding Geser Setelah Pengecekan	103
Tabel 4. 15. Tipe Pondasi Pada Kolom	103
Tabel 4. 16. Tipe Pondasi Pada Dinding Geser	104
Tabel 4. 17. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 1	106
Tabel 4. 18. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 1	106
Tabel 4. 19. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 2	109
Tabel 4. 20. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 2	109
Tabel 4. 21. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 3	112
Tabel 4. 22. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 3	112
Tabel 4. 23. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 4	115
Tabel 4. 24. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 4	115
Tabel 4. 25. Beban Mati Tambahan pada Lantai	117
Tabel 4. 26. Beban Mati Tambahan pada Atap	117
Tabel 4. 27. Beban Hidup	117
Tabel 4. 28. Nilai <i>N-SPT</i>	118
Tabel 4. 29. Data Parameter Respons Spektra Terpetakan	119
Tabel 4. 30. Parameter Respons Spektra	121
Tabel 4. 31. Kombinasi Pembebanan	123
Tabel 4. 32. Rekapitulasi Rasio Partisipasi Modal Massa	124
Tabel 4. 33. Koefisien Respons Seismik	126

Tabel 4. 34. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Statik (V)	126
Tabel 4. 35. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Dinamik (V_i)	127
Tabel 4. 36. Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala	127
Tabel 4. 37. <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Terkoreksi	128
Tabel 4. 38. Gaya Geser Desain	128
Tabel 4. 39. Gaya Geser Desain Per Lantai.....	128
Tabel 4. 40. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X	130
Tabel 4. 41. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y	131
Tabel 4. 42. Pengecekan <i>P-Delta</i> Arah X	132
Tabel 4. 43. Pengecekan <i>P-Delta</i> Arah Y	133
Tabel 4. 44. Data Eksentrisitas Torsi Bawaan dari ETABS	134
Tabel 4. 45. Data Eksentrisitas Torsi Tidak Terduga	135
Tabel 4. 46. Nilai dari δ_{max} , δ_{min} , δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X	135
Tabel 4. 47. Nilai dari δ_{max} , δ_{min} , δ_{avg} dan A_y untuk Gempa Arah Y	136
Tabel 4. 48. Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu X	136
Tabel 4. 49. Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu Y	137
Tabel 4. 50. Pengecekan Ketidakberaturan Torsi pada Arah X	137
Tabel 4. 51. Pengecekan Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y	137
Tabel 4. 52. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X	138
Tabel 4. 53. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y	138
Tabel 4. 54. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X	140
Tabel 4. 55. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y	140
Tabel 4. 56. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X	140
Tabel 4. 57. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y	141
Tabel 4. 58. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)	141
Tabel 4. 59. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5a	142
Tabel 4. 60. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5b	142
Tabel 4. 61. Perbandingan Gaya Lateral pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen	143
Tabel 4. 62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	162
Tabel 4. 63. Rekapitulasi Tulangan Balok	195
Tabel 4. 64. Hasil Analisis Interaksi P_n - M_{pr} Kolom K1	199

Tabel 4. 65. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$	202
Tabel 4. 66. Rekapitulasi Tulangan Kolom	205
Tabel 4. 67. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser SW01	211
Tabel 4. 68. Gaya Geser pada Dinding Geser SW01	211
Tabel 4. 69. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser SW01	213
Tabel 4. 70. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser SW06	222
Tabel 4. 71. Gaya Geser pada Dinding Geser SW06	222
Tabel 4. 72. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser SW06	224
Tabel 4. 73. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser	232
Tabel 4. 74. Nilai N-SPT	234
Tabel 4. 75. Nilai Reaksi Tumpuan Pada Kolom	237
Tabel 4. 76. Nilai Reaksi Tumpuan Pada <i>ShearWall</i>	237
Tabel 4. 77. Konfigurasi Tiang Pancang Pondasi PC 04	239
Tabel 4. 78. Jumlah Tiang Pancang Pada Kolom	240
Tabel 4. 79. Jumlah Tiang Pancang Pada <i>ShearWall</i>	240
Tabel 4. 80. Parameter Respons Spektra	247
Tabel 4. 81. Gaya Dalam pada Dinding Geser	250
Tabel 4. 82. Gaya Reaksi Pada Kolom	251
Tabel 4. 83. Gaya Reaksi Pada Dinding Geser (<i>ShearWall</i>)	251
Tabel 4. 84. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	251
Tabel 4. 85. Rekapitulasi Tulangan Balok	252
Tabel 4. 86. Rekapitulasi Tulangan Kolom	252
Tabel 4. 87. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser SW01	252
Tabel 4. 88. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pondasi	253

DAFTAR NOTASI

a	= Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
A_b	= Luas setiap batang atau kawat individu (mm ²)
A_{ch}	= Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal (mm ²)
A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm ²)
A_{cv}	= Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau pada kasus dinding dan luas bruto penampang beton dalam kasus diafragma, tebalnya tidak melebihi lebar diafragma (mm ²)
A_{cw}	= Luas penampang beton pilar tunggal, segmen horizontal dinding, atau balok kopel yang menahan geser (mm ²)
A_g	= Luas bruto penampang (mm ²)
A_j	= Luas penampang efektif pada <i>joint</i> di bidang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam <i>joint</i> (mm ²)
A_l	= Luas total tulangan longitudinal untuk menahan torsi (mm ²)
A_o	= Luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser (mm ²)
A_{oh}	= Luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm ²)
A_s	= Luas tulangan tarik longitudinal nonprategang (mm ²)
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm ²)
A_{sh}	= Luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang) dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c
$A_{s \min}$	= Luas minimum tulangan lentur (mm ²)
A_{st}	= Luas total tulangan longitudinal nonprategang (mm ²)
A_t	= Luas 1 kaki sengkang tertutup menahan torsi dalam spasi s (mm ²)
A_v	= Luas tulangan geser dalam spasi s (mm ²)
$A_{v \min}$	= Luas minimum tulangan geser dalam spasi s (mm ²)
A_x	= Faktor amplifikasi torsi
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm ²)
b	= Lebar muka tekan komponen struktur (mm)

b_c	= Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh} (mm)
b_f	= Lebar sayap efektif penampang T (mm)
b_w	= Lebar badan, tebal dinding, diameter penampang lingkaran (mm)
c	= Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)
c_c	= Selimut bersih (<i>clear cover</i>) tulangan (mm)
c_t	= Jarak dari muka interior kolom ke tepi pelat yang diukur paralel terhadap c_1 , tetapi tidak melebihi c_1 (mm)
c_1	= Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (<i>capital</i>), atau braket yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan (mm)
c_2	= Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (<i>capital</i>), atau braket yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap c_1 (mm)
C	= Konstanta penampang untuk menentukan properti torsi pelat dan balok
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_s	= Koefisien respons seismik
C_u	= Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
C_v	= Koefisien vertikal
d	= Tinggi efektif pelat; jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
d'	= Jarak serat tekan jauh ke pusat tulangan tekan longitudinal (mm)
d_b	= Diameter nominal batang tulangan (mm)
D	= Pengaruh beban mati layan
D_F	= Faktor distribusi momen di bagian atas dan kolom yang didesain
E	= Pengaruh gaya gempa horizontal dan vertikal
E_c	= Modulus Elastisitas beton (MPa)
E_h	= Pengaruh gaya seismik horizontal
E_s	= Modulus Elastisitas tulangan dan baja struktural (MPa)
E_v	= Pengaruh gaya seismik vertikal
f'_c	= Kekuatan tekan beton (MPa)

f_t	= Modulus hancur (<i>rupture</i>) beton (MPa)
f_s	= Tegangan tarik dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)
f_s'	= Tegangan dalam tulangan tekan terkena beban terfaktor (MPa)
f_y	= Kekuatan leleh tulangan (MPa)
f_{yt}	= Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa)
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik)
F_i, F_x	= Bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkat- i atau tingkat- x
F_p	= Gaya seismik yang bekerja pada elemen atau komponen dari struktur
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
F_x	= Gaya seismik lateral (kN) di level- x
h	= Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm)
h_n	= Batasan tinggi struktur (m)
h_{sx}	= Tinggi tingkat untuk tingkat- x (mm)
h_w	= Tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas atau tinggi bersih segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau (mm)
h_x	= Spasi horizontal ikat silang atau kaki sengkang pengekang (<i>hoop</i>) pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom
I_{cr}	= Momen inersia penampang retak ditransformasi ke beton (mm ⁴)
I_e	= Faktor keutamaan gempa; momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi (mm ⁴)
I_g	= Momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan (mm ⁴)
k	= Faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan
k_f	= Faktor kekuatan beton
k_n	= Faktor efektivitas pengekangan
l	= Panjang bentang balok atau pelat satu arah (mm)
l_c	= Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat <i>joint</i> (mm)
l_n	= Panjang bentang bersih diukur muka ke muka tumpuan (mm)
l_o	= Panjang, diukur dari muka <i>joint</i> sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus disediakan (mm)
l_w	= Panjang seluruh dinding, atau panjang segmen dinding atau pilar

	dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser (mm)
L	= Pengaruh beban hidup layan
L_r	= Pengaruh beban hidup atap layan
MCE_R	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
M_{cr}	= Momen retak (N-mm)
M_{max}	= Momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar yang bekerja (N-mm)
M_n	= Kekuatan lentur nominal pada penampang (N-mm)
M_{nb}	= Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam <i>joint</i> (N-mm)
M_{nc}	= Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam <i>joint</i> , yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur yang terendah (N-mm)
M_{pr}	= Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka <i>joint</i> yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (N-mm)
n	= Jumlah batang tulangan
N_i	= Tahanan penetrasi standar sesuai SNI 4153:2008
$\bar{N}$	= Tahanan penetrasi standar rata-rata lapisan 30 m paling atas
$\bar{N}_{ch}$	= Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas
N_u	= Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u (N-mm)
p_{cp}	= Keliling luar penampang beton (mm)
p_h	= Keliling pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm)
P_n	= Kekuatan aksial nominal penampang (N)
P_u	= Gaya aksial terfaktor (N)
q_u	= Beban terfaktor per satuan luas (N/m ²)

Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal
r	= Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm)
R	= Koefisien modifikasi respons
s	= Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)
s_o	= Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang I_e (mm)
s_u	= Kuat geser <i>niralar</i>
$\bar{s}_u$	= Kuat geser niralar rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
s_{ui}	= Kuat geser niralar suatu lapisan tanah kohesif i di dalam lapisan 30 m paling atas
S_a	= Respons spektra percepatan
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	= Percepatan percepatan respons spektral <i>MCE</i> pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	= Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> dari peta gempa pada periode pendek
S_1	= Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> dari peta gempa pada periode 1 detik
S_n	= Kekuatan momen, geser, aksial, torsi atau tumpu nominal
t	= Tebal dinding penampang (mm)
T	= Periode fundamental bangunan
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_{cr}	= Momen retak torsi (N-mm)
T_L	= Peta transisi periode panjang
T_n	= Kekuatan momen torsi nominal (N-mm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm)
U	= Kekuatan perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang terkait dengan kombinasinya
v_s	= Kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil (m/detik) ($< 10^{-3}$ persen)

$\bar{v}_s$	= Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas
v_{si}	= Kecepatan rambat gelombang geser dalam lapisan tanah atau batuan ke- i , di dalam lapisan 30 m paling atas
V	= Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
V_c	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
V_e	= Gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa (N)
V_{IX}	= Gaya geser dasar inelastik pada arah X
V_{IY}	= Gaya geser dasar inelastik pada arah Y
V_n	= Kekuatan geser nominal (N)
V_s	= Kekuatan geser nominal diberikan oleh penulangan geser (N)
V_{sway}	= Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
V_t	= Nilai desain dari gaya geser dasar akibat seismik
V_u	= Gaya geser terfaktor penampang (N)
V_x	= Geser seismik desain di tingkat-x
V_X	= ELF gaya geser dasar pada arah X
V_Y	= ELF gaya geser dasar pada arah Y
w_c	= Berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan (kg/m^3)
w_u	= Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah (N/mm)
W	= Berat seismik efektif bangunan
W_t	= Berat total struktur
x	= Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek (mm)
y	= Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang (mm)
α	= Sudut yang menentukan orientasi tulangan
α_c	= Koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kekuatan geser dinding nominal
β_1	= Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi

	ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
δ	= Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan
δ_u	= Perpindahan desain
δ_{max}	= Perpindahan maksimum (mm) di tingkat-x
δ_{avg}	= Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat-x
δ_x	= Defleksi pusat massa di tingkat-x
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi ditentukan dengan analisis elastik
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar tingkat yang diizinkan
ε_t	= Regangan tarik <i>netto</i> dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal, tidak termasuk regangan akibat dari prategang efektif, rangkai, susut, dan suhu
ε_{ty}	= Nilai regangan tarik <i>netto</i> pada lapisan terluar dari tulangan tarik longitudinal yang digunakan untuk menentukan penampang terkontrol tekan
θ	= Sudut antara sumbu <i>strut</i> , diagonal tekan, atau bidang tekan dan kord (<i>chord</i>) tarik komponen struktur; Koefisien stabilitas untuk pengaruh <i>P-Delta</i>
ρ	= Rasio A_s terhadap bd ; Faktor redundansi struktur
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
λ	= Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama; Faktor pengaruh waktu
Ω_0	= Faktor kuat lebih; Faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Berita Acara Seminar Proposal Tugas Akhir
Lampiran 2 : Berita Acara Seminar Hasil Tugas Akhir
Lampiran 3 : Lembar Koreksi Tugas Akhir
Lampiran 4 : Daftar Hadir Dosen Penguji Seminar Hasil Tugas Akhir
Lampiran 5 : Daftar Hadir Seminar Hasil Tugas Akhir
Lampiran 6 : Lembar Bimbingan Tugas Akhir
Lampiran 7 : Turnitin
Lampiran 8 : Gambar Kerja



DESAIN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT 5 LANTAI DI KOTA BANDA ACEH

Abstrak

Semakin kompleksnya masalah kesehatan serta pesatnya pertumbuhan penduduk di Kota Banda Aceh yang merupakan ibukota Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam menuntut adanya ketersediaan fasilitas kesehatan yang layak dan memadai. Kurangnya fasilitas kesehatan yang memadai dapat mengakibatkan pelayanan kesehatan bagi masyarakat belum bisa diberikan secara optimal.

Pada Tugas Akhir ini dilaksanakan proses desain rumah sakit 5 lantai yang terletak di Kota Banda Aceh dengan bantuan *software* analisa struktur ETABS 18.1.1. Pada tahap awal perencanaan diawali dengan *preliminary design* untuk menentukan dimensi awal struktur kemudian dilanjutkan proses pemilihan sistem struktur yang paling sesuai. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan sistem struktur yang digunakan yaitu sistem ganda (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktural Khusus). Sesuai dengan SNI 1726:2019 struktur *frame* memikul minimal 25% gaya lateral pada arah X sebesar 29,594 % dan pada arah Y sebesar 34,495 %. Terdapat 3 tipe kolom dengan dimensi paling besar yaitu 1200x1200 mm dan 3 tipe balok dengan dimensi terbesar yaitu 500x1000 mm. Simpangan antar tingkat yang terjadi telah memenuhi syarat dengan nilai terbesar 32,89 mm kurang dari simpangan izin yaitu 35,38 mm. Pengecekan *strong column-weak beam* diperoleh kuat lentur kolom lebih besar dari kuat lentur balok dengan rasio 5,64 lebih dari rasio minimumnya yaitu 1,2.

Kata kunci : Fasilitas Kesehatan; Desain Struktur; Sistem Struktur

STRUCTURE DESIGN OF 5 FLOOR HOSPITAL BUILDING IN THE CITY OF BANDA ACEH

Abstract

Increasing complexity of health problems and the rapid population growth in Banda Aceh City which is the capital of the Province of Nanggroe Aceh Darussalam requires the availability of proper and adequate health facilities. Lack of adequate health facilities can result in health services for the community not being provided optimally.

In this Final Project, the design process for 5 floor hospital building located in Banda Aceh City used ETABS structural analysis software. In the early stages of designing, it begins with a preliminary design to determine the initial dimensions of the structure, then the process of selecting the most suitable structural system. Based on the analysis and design result, the structural system used is a dual system (Special Moment Resisting Frame System and Special Structural Wall System). In accordance with SNI 1726:2019 the frame structure carries a minimum of 25% lateral force in the X direction of 29.594% and in the Y direction of 34.495%. There are 3 types of columns with the largest dimensions is 1200x1200 mm and 3 types of beams with the largest dimensions is 500x1000 mm. The story drift has passed the requirements 32.89 mm less than the permit deviation of 35.38 mm. Checking the strong column-weak beam shows that the flexural strength of the column is greater than the flexural strength of the beam with a ratio of 5.64, more than the minimum ratio of 1.2.

Keyword : Health facility; Structural Design; Structural System

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin kompleksnya masalah kesehatan serta pesatnya pertumbuhan penduduk di Kota Banda Aceh yang merupakan ibukota Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam menuntut adanya ketersediaan fasilitas kesehatan yang layak dan memadai. Pada saat ini telah terdapat beberapa fasilitas kesehatan yang telah dimiliki antara lain puskesmas, klinik serta rumah sakit. Kota Banda Aceh yang merupakan ibukota provinsi hendaknya memiliki fasilitas kesehatan yang paling memadai dibanding daerah lain sekitarnya mengingat fasilitas kesehatan di Kota Banda Aceh ini juga menjadi rujukan. Kurangnya fasilitas kesehatan yang memadai dapat mengakibatkan pelayanan kesehatan bagi masyarakat belum bisa diberikan secara optimal.

Rumah sakit harus dibangun, dilengkapi dan dipelihara dengan baik untuk menjamin kesehatan dan keselamatan pasiennya serta harus menyediakan fasilitas yang lapang dan terjamin bagi kesembuhan pasien. Meningkatnya kebutuhan masyarakat akan pelayanan kesehatan, baik bagi masyarakat Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam khususnya yang berada di daerah Kota Banda Aceh maupun masyarakat sekitarnya yang menyebabkan terjadinya peningkatan permintaan terhadap fasilitas pelayanan kesehatan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka dibangunlah Gedung Rumah Sakit 5 Lantai di Kota Banda Aceh ini.

Laporan tugas akhir ini berisi analisa perencanaan struktur bagian atas dan bagian bawah gedung Rumah Sakit 5 Lantai di Kota Banda Aceh untuk mewujudkan bangunan yang sesuai SNI, aman, nyaman, kuat, efisien dan ekonomis. Agar suatu bangunan atau struktur dapat bertahan dalam waktu yang direncanakan, maka struktur bangunan harus mampu menahan beban dan gaya yang bekerja pada struktur.

1.2 Ruang Lingkup

Inti pokok pembahasan tugas akhir ini adalah terkait dengan desain struktur gedung lima lantai dengan tetap mempertahankan beberapa desain arsitektur dan struktural yang ada. Program komputer ETABS V.18.1.1 digunakan untuk permodelan struktural.

1.3 Rumusan Masalah

Beberapa masalah utama yang perlu diperhatikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan system struktur gedung rumah sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019?
2. Bagaimana menganalisa ketidakberaturan struktur bangunan gedung rumah Sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh, Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019 ?.
3. Bagaimana merencanakan detail struktur bagian atas dan struktur bagian bawah pada gedung rumah sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh?.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan system struktur bangunan gedung rumah sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019.
2. Menganalisa ketidakberaturan struktur pada bangunan gedung rumah sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019.
3. Merencanakan detail struktur bagian atas dan struktur bagian bawah pada gedung rumah sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh.

1.5 Batasan Masalah

Tugas Akhir dengan judul “Desain Struktur Rumah Sakit 5 Lantai di Kota Banda Aceh”, memiliki ruang lingkup pembahasan penelitian dalam pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Peraturan yang dipakai antara lain:
 - Melakukan perhitungan serta perencanaan terhadap struktur beton dipakai bangunan khususnya untuk gedung (SNI 2847:2019).
 - Mendeteksi ketahanan bangunan terhadap pengaruh gempa dengan cara melakukan perencanaan pada bangunan (SNI 1726:2019).
 - Membahas terkait dengan beban yang ada pada design minimum yang sesuai dengan kriteria untuk bangunan (SNI 1727:2020).
 - Memakai baja structural yang dipakai untuk pembangunan pada gedung (SNI 1729:2020).
2. Analisis struktur bangunan hanya terbatas pada struktur atas pondasi
3. Proses desain bangunan pondasi Rumah Sakit 5 lantai di kota Banda Aceh.
4. Desain tidak termasuk instalasi plumbing, kelistrikan dan mekanikal.
5. Tidak ada tinjauan analisis biaya dan metode pelaksanaan, dan manajemen konstruksi.
6. Untuk memodelkan struktur digunakan perangkat lunak ETABS ultimate 18.1.1.

1.6 Metodologi Perencanaan

Metodologi perencanaan digunakan untuk mengumpulkan data pada penulisan naskah penelitian:

1.6.1 Tinjauan Pustaka

Langkah ini mencakup pengumpulan dan tinjauan literatur terkait, baik secara domestik dan internasional. Bahan dikumpulkan, diteliti dan dirangkum sebagai bahan tersusun.

1.6.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi mengenai bangunan baik data primer dan data skunder. Data untuk memodelkan struktur, lalu dianalisis menggunakan program ETABS V.18.1.1.

1.6.3 Permodelan Struktur

Struktur bangunan dimodelkan sesuai dengan spesifikasi data yang diperoleh dari bangunan.

1.6.4 Hasil Analisis Struktur

Kesimpulan yang didapatkan bangunan berasal dari program ETABS untuk merencanakan dimensi dan kekuatan struktur atas dan struktur bawah.

1.7 Sistematika Penulisan

Sisematika Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan penjelasan isi dari latar belakang, tujuan serta manfaat dari analisis yang sudah dilakukan. BAB I ini juga memberikan informasi tentang lokasi, ruang lingkup permasalahan dan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan rencana pola struktur umum dari teori dalam merencanakan pembanguna gedung rumah sakit.

BAB III METODOLOGI PENULISAN

Pada bab ini berisi mengenai data perencanaan, metode atau perencanaan dan pengelolaan data secara sistematika perencanaan.

BAB IV PERHITUNGAN STRUKTUR

Bab ini merupakan penguraian mengenai hasil dari permodelan struktur konstruksi bangunan baik secara manual maupun dengan program aplikasi.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil perencanaan gedung lima lantai rumah sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh.

DAFTAR PUSTAKA

Menuliskan secara rinci referensi yang telah digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

PENUTUP

Berisi lampiran seperti tabel perhitungan, administrasi atau surat-surat, dan gambar struktur akhir (*final design drawing*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Struktur

Struktur adalah suatu kesatuan dari rangkaian elemen yang dirancang untuk mampu menahan beratnya sendiri dan beban luar tanpa mengubah bentuknya melebihi batas yang dipersyaratkan. Perancangan struktur gedung secara umum terdiri dari dua bagian utama, yaitu perancangan struktur bawah (*sub structure*) dan perancangan struktur atas (*upper structure*). Struktur bawah adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban ke dalam tanah. Desain struktur bagian bawah harus benar-benar terjamin keamanannya, sehingga keseimbangan struktur secara keseluruhan dapat terjamin dengan baik. (Atmadja & Maulana, 2017)

2.2. Sistem Struktur Penahan Gempa

Sistem struktur merupakan penggabungan dari berbagai macam elemen komponen struktur secara tiga dimensi menjadi satu kesatuan. Sistem ini berfungsi untuk memikul secara aman dan efektif suatu gaya atau beban yang bekerja pada bangunan dan mendistribusikannya ke tanah melalui pondasi.

Ada beberapa macam sistem struktur yang bisa dipakai untuk mendirikan bangunan gedung tahan gempa. Macam-macam sistem struktur yang terdapat pada SNI 1726:2019 diantaranya yaitu Sistem Dinding Penumpu, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen, Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus, Sistem Rangka Ruang, dan Sistem Kolom Kantilever. Diantara sistem tersebut, Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus yang akan dianalisis agar diperoleh kapasitas struktur maksimal dengan menambahkan dinding geser sebagai struktur tahan gempa.

2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa yang dirancang terutama untuk menahan lentur dan geser. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus berupa portal atau rangka dari komponen balok-balok horizontal dan kolom-kolom vertikal yang dihubungkan oleh sambungan balok-kolom secara kaku dan bekerja secara bersamaan dalam menahan beban-beban yang terjadi pada bangunan melalui mekanisme lentur.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus mempunyai tingkat daktilitas yang tinggi (daktilitas penuh) sehingga kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur secara tiba-tiba pada bangunan akibat gempa dapat dihindari. Sistem ini digunakan pada daerah dengan kategori risiko gempa yang tinggi.

2.2.2. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser merupakan suatu struktur berupa dinding vertikal yang diterapkan pada bangunan untuk memperkaku bangunan dalam menahan gaya geser lateral akibat gempa. Kekakuan dinding geser pada bangunan akan menyerap sebagian besar beban gempa. Desain dinding geser yang baik harus memperhatikan aspek pemilihan bentuk dinding, posisi penempatannya pada denah, dan jenis keruntuhannya. Penempatan dinding geser bisa diterapkan di luar, di dalam, atau dalam bentuk inti yang menahan *lift* atau tangga.

Bentuk dinding geser yang diterapkan pada bangunan dapat dibedakan berdasarkan letak dan fungsinya, antara lain :

1. ***Bearing Wall*** merupakan dinding geser yang dapat diterapkan sebagai dinding partisi yang dapat menopang sebagian besar beban gravitasi.
2. ***Frame Wall*** merupakan dinding geser yang dapat diterapkan di antara baris kolom bagian dalam untuk menahan beban lateral dengan rangka beton bertulang yang memberikan beban gravitasi.
3. ***Core Wall*** merupakan dinding geser yang dapat diterapkan pada poros elevator atau tangga yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam bangunan.

2.2.3. Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem Ganda merupakan suatu sistem struktur yang menggabungkan portal pemikul momen dengan dinding geser yang mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menahan gaya geser. Sistem ini dapat diterapkan pada struktur bangunan bertingkat yang berlokasi di daerah rawan gempa. Portal pemikul momen yang digabungkan dengan dinding geser dapat menghasilkan daktilitas dan kekakuan struktur dengan baik. Menurut standar SNI 1726:2019, sistem ganda tersusun sebagai berikut:

- a) Penopang seluruh beban gravitasi berupa rangka ruang.
- b) Dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen sebagai penopang beban lateral. Perencanaan rangka pemikul momen harus dilakukan secara terpisah dan mampu menopang kurang lebih 25% semua beban lateral,
- c) Perancangan kedua sistem digunakan untuk menopang secara bersamaan semua beban lateral dengan mempertimbangkan interaksi antara banyak sistem.

2.3. Beban yang Bekerja pada Struktur Bangunan Gedung

Beban menurut SNI 1727:2020 merupakan gaya atau aksi lainnya akibat berat seluruh bahan bangunan, penghuni, dan barang-barang yang dimilikinya, efek lingkungan, perbedaan pergerakan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Secara sederhana, beban juga dapat diartikan sebagai gaya yang akan bekerja pada suatu luasan struktur.

Ada beberapa macam beban yang terdapat pada struktur bangunan bertingkat. Menurut arah bekerjanya beban dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu beban vertikal (gravitasi) dan beban horizontal (lateral). Beban vertikal mencakup beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*) dan beban air hujan, sedangkan beban gempa (*earthquake*), beban angin (*wind load*), tekanan tanah dan air tanah merupakan bagian dari beban horizontal.

2.3.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati yaitu berat dari seluruh bagian konstruksi bangunan gedung yang terpasang, mencakup dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap,

finishing, komponen arsitektural dan struktural lainnya yang tetap dan tidak terpisahkan dari bangunan itu. Berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

No.	Jenis Beban Mati	Beban (kN/m ²)
1.	Beban Pasir setebal 1 cm	0,16
2.	Beban Spesi setebal 3 cm	0,66
3.	Beban Keramik setebal 1 cm	0,22
4.	Beban Plafond	0,2
5.	Beban Mekanikal & Elektrikal	0,25

(sumber : Tabel C3.1 SNI 1727:2020)

2.3.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yaitu beban yang bersifat berpindah-pindah dan tidak tetap yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (L_o) dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2,000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2,000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	

Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	
	100 (4,79)	
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in x 2 in. [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)

(sumber : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

Tabel 2. 2. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (L_o) dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Jalur penyelamatan saat kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen		Lihat Pasal 4.5.4
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10) Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.10.2
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	Lihat Pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	Lihat 4.5.1

Batang pegangan		Lihat 4.5.2
Helipad (Lihat Pasal 4.11)		
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.11.2
Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Lihat Pasal 4.11.2
Rumah sakit		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2.000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3.000 (13,35)
Gudang perkantoran		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2.000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2.000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2.000 (8,90)
Lembaga Hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, biliard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	
Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	

(sumber : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

Tabel 2. 2. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (L_o) dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o Psf (kN/m ²)	Terpusat Ib (kN)
Rumah Tinggal		
Hunian satu dan dua keluarga		

Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tangga lainnya		
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	
Ruang publik	100 (4,79)	
Koridor ruang publik	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
	100 (4,70)	
Atap untuk tempat berkumpul		
Atap vegetatif dan atap lansekap		
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
<i>Awning</i> dan kanopi		
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24)	200 (0,89)
	berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja		
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap di atas pabrik gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi Bengkel		2.000 (8,90)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)

Tabel 2. 2. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (L_o) dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1.000 (4,45)
<i>Scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, lalu lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8.000 (35,60)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 (1,33)
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 (1,33)
Gudang di atas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1.000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1.000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1.000 (4,45)
Penghalang kendaraan		Lihat Pasal 4.5.3
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

(sumber : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

2.3.3. Beban Gempa

Beban gempa yaitu beban statik ekuivalen pada sebuah bangunan yang terjadi akibat pengaruh gerakan tanah di bawah struktur bangunan atau bukan bangunan berdasarkan suatu analisa dinamik. Besarnya beban gempa rencana yang diperhitungkan bekerja pada struktur adalah gempa rencana sedang sesuai yang tercantum dalam standar SNI 1726:2019. Maka dari itu, jika terjadi gempa kuat,

maka gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen-elemen struktur dapat melampaui gaya-gaya dalam yang sudah diperhitungkan. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 % selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2.3.4. Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Beban terfaktor adalah beban yang ditetapkan oleh standar pembebanan yang berlaku, kemudian dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai. Faktor yang dikenakan pada masing-masing beban dipengaruhi oleh tingkat ketelitian sejauh mana pengaruh beban biasanya dapat dihitung dan variasi yang mungkin terjadi pada beban selama umur layan struktur.

Faktor-faktor beban memperhitungkan variabilitas dalam analisis struktur yang digunakan untuk menghitung momen-momen dan gaya-gaya geser. Dalam memberikan faktor-faktor pada kombinasi beban, beberapa pertimbangan harus diberikan terhadap kemungkinan terjadinya beban yang bersamaan.

Pemberian kombinasi beban berguna agar struktur gedung maupun bukan gedung mampu menerima dan memikul beban yang lebih besar daripada beban aktual dari struktur tersebut, sehingga struktur tidak mengalami kegagalan. Kombinasi beban menurut SNI 2847:2019 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Kombinasi Beban

Kombinasi Beban	Beban Utama
$U = 1,4 D$	D
$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	L
$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$	$Lr \text{ atau } R$
$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	W
$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$	E
$U = 0,9 D + 1,0 W$	W
$U = 0,9 D + 1,0 E$	E

(sumber : Tabel 5.3.1 SNI 2847:2019)

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup di atap

R = beban hujan

W = beban angin

2.3.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan digunakan untuk memperhitungkan kemungkinan terjadinya penurunan kekuatan akibat variasi yang terdapat pada kekuatan material dan dimensi pada saat pelaksanaan, pengaruh penyederhanaan dan asumsi di dalam persamaan desain, tingkat daktilitas, potensi mode kegagalan dari komponen, kebutuhan keandalan, dan signifikansi kegagalan dan ketersediaan lintasan beban alternatif pada komponen di dalam struktur. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang digunakan dalam perancangan dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
a.)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b.)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c.)	Torsi	0,75	-
d.)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e.)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-

(sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019)

Beranjut.....

Tabel 2. 4S. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) (Lanjutan)

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
f.)	Bracket dan korbel	0,75	-
g.)	Strut, ties, zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h.)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i.)	Beton polos	0,60	-
j.)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

(sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019)

2.4. Perancangan Struktur Bangunan Gedung

Perancangan struktur bangunan gedung mengacu pada standar SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Selain itu, faktor penting lain dalam perancangan bangunan gedung adalah analisa struktur karena akan dihasilkan gaya-gaya seperti momen lentur, gaya geser, dan gaya aksial dari analisa struktur yang akan menjadi patokan dalam mendesain elemen-elemen struktur sehingga diharapkan mampu menahan semua beban yang ada termasuk beban akibat gempa.

2.5. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Perancangan struktur bangunan tahan gempa memerlukan perencanaan dan perhitungan untuk meminimalkan risiko kerusakan bangunan akibat gempa. SNI 1726:2019 mengenai “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” digunakan sebagai pedoman dalam perancangan bangunan tahan gempa.

2.5.1. Gempa Rencana

Gempa rencana dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2.5.2. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko merupakan pengelompokan bangunan-bangunan gedung atau struktur-struktur lainnya untuk menentukan besaran beban-beban gempa berdasarkan risiko terjadinya gempa yang tidak dapat diterima. Faktor keutamaan merupakan suatu faktor yang memperhitungkan tingkat risiko terhadap keselamatan jiwa, kesehatan dan kesejahteraan terkait kerusakan properti atau kehilangan fungsi/kegunaan suatu fasilitas.

Kategori risiko bangunan bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Faktor Keutamaan Gempa dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung mempunyai 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

(sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
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 kedalam 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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

(sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
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, tsunami, 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 : Tabel 3 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 6. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(sumber : Tabel 4 SNI 1726:2019)

2.5.3. Klasifikasi Situs

Kegiatan klasifikasi suatu situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan berdasarkan kondisi tanah di lapangan. Hasil dari kegiatan klasifikasi situs dinamakan kelas situs. Ketentuan mengenai tipe kelas situs dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
SB (batuan)	750 sampai 1500	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
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, $P_I > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs)	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)		

(sumber : Tabel 5 SNI 1726:2019)

Keterangan :

$\bar{v}_s$ = Kecepatan rata-rata gelombang geser

$\bar{N}_s$ = Tahanan penetrasi standar rata-rata

$\bar{S}_u$ = Kuat geser niralir rata-rata

2.5.4. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik diperlukan untuk menentukan respons spektral percepatan gempa tertarget (MCE_R). Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v). Nilai F_a dan F_v dapat

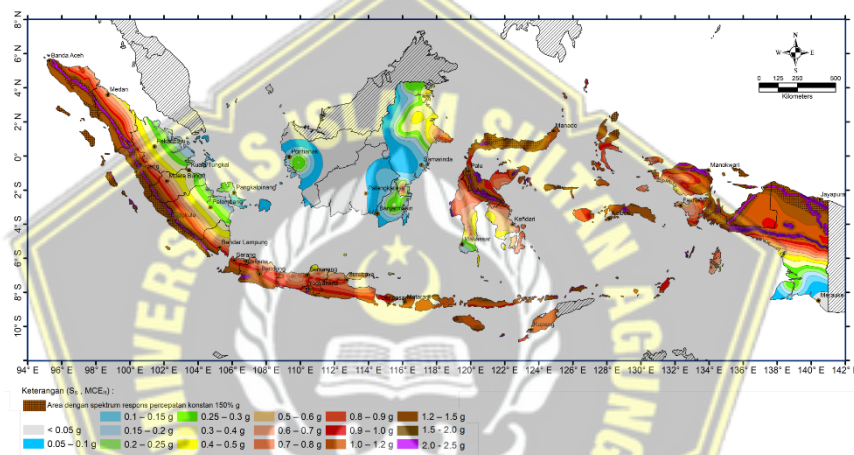
dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9. Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs dapat ditentukan melalui Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

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

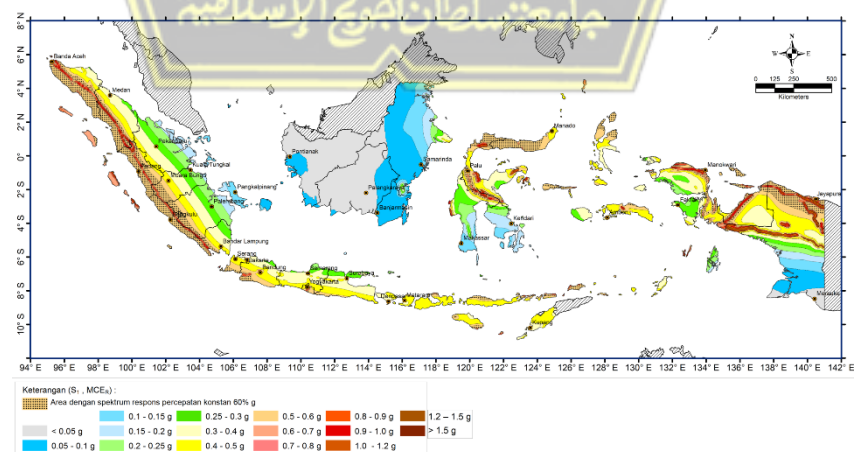
$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan untuk periode pendek (dapat dilihat pada Gambar 2.1)
- S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan untuk periode 1,0 detik (dapat dilihat pada Gambar 2.2)



Gambar 2. 1. Parameter Gerak Tanah (S_s) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)



Gambar 2. 2. Parameter Gerak Tanah (S_1) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Tabel 2. 8. Koefisien Situs (F_a)

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

(sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 9. Koefisien Situs (F_v)

Kelas Situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0

(sumber : Tabel 7 SNI 1726:2019)

2.5.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai parameter percepatan spektral desain periode pendek (S_{Ds}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dapat dicari sesuai ketentuan pada Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4.

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

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

Keterangan :

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

2.5.6. Spektrum Respons Desain

Nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.5 sampai Persamaan 2.8.

a) Untuk periode (T) yang lebih kecil dari T_0

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

b) Untuk periode (T) lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s

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

c) Untuk periode (T) lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.7)$$

d) Untuk periode (T) lebih besar dari T_L

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

T = Periode getar fundamental struktur

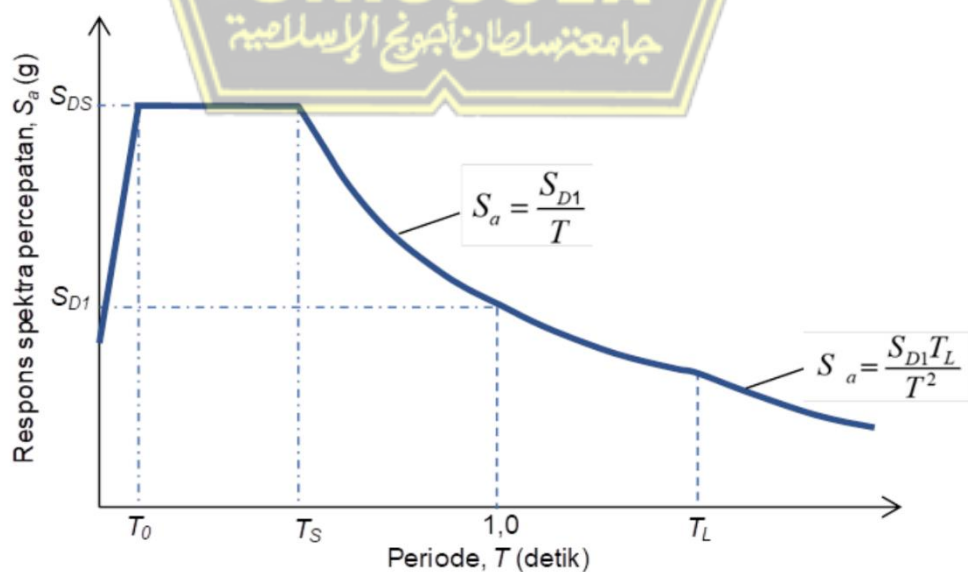
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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

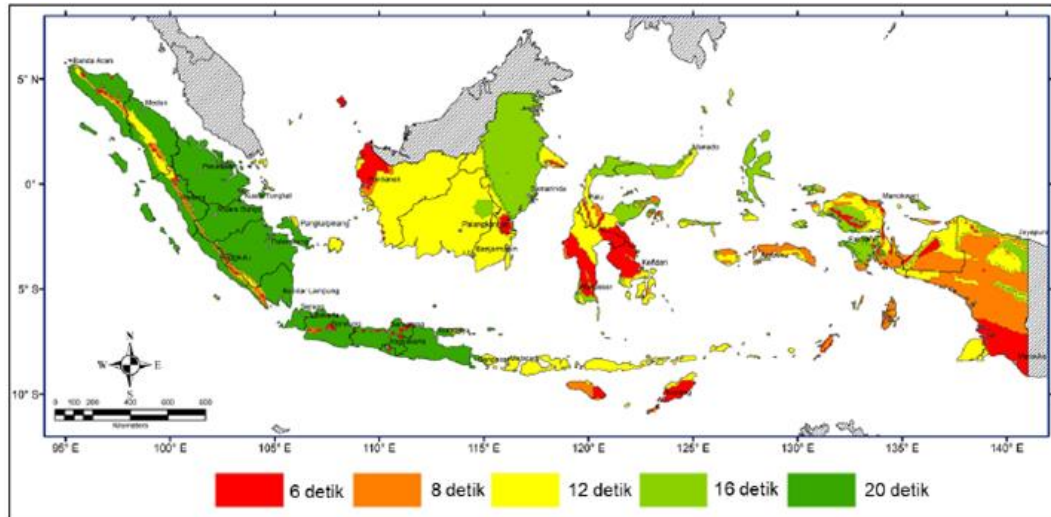
T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang nilainya diambil dari Gambar 2.4

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada 1 detik



Gambar 2. 3. Spektrum Respons Desain



Gambar 2. 4. Peta Transisi Periode Panjang (T_L)

2.5.7. Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang telah didapatkan dengan cara menentukan kategori risiko bangunan. Semakin tinggi huruf pada tabel kategori risiko maka semakin tinggi pula risiko gempa yang terjadi pada struktur bangunan. Ketentuan mengenai kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2. 10. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS})

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
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 11. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (S_{D1})

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
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019)

2.5.8. Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Arah yang Berbeda

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda boleh digunakan untuk menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (C_d), dan faktor pembesaran defleksi (Ω_0) harus diterapkan pada setiap sistem bila menggunakan sistem tersebut. Ketentuan mengenai nilai R , C_d , dan Ω_0 dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 12. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor Kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi C_d	Batas sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI

(sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019)

2.5.9. Periode Fundamental Pendekatan

Nilai periode fundamental pendekatan (T_a) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.9. Koefisien C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 2.13.

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

h_n = Ketinggian struktur (m)

Untuk ketinggian struktur tidak lebih dari 12 tingkat yang menggunakan sistem pemikul gaya seismik rangka pemikul momen berbahan beton atau baja dengan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m, nilai T_a dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.10.

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

Tabel 2. 13. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana 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 : Tabel 18 SNI 1726:2019)

2.5.10. Periode Fundamental Struktur

Nilai periode fundamental struktur (T) tidak diperbolehkan melebihi hasil perkalian koefisien batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Nilai C_u ditentukan berdasarkan nilai S_{D1} yang telah didapatkan yang dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2. 14. Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung (C_u)

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

(sumber : Tabel 17 SNI 1726:2019)

2.5.11. Gaya Geser Dasar Seismik

Nilai gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.11.

$$V = C_s W \quad (2.11)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien Respons Seismik

W = Berat seismik efektif

Nilai koefisien respons seismik (C_s) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.12.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral desain rentang periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung menggunakan Persamaan 2.12 tidak diharuskan melebihi :

- Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

- Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

Nilai C_s diharuskan tidak kurang dari :

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

Untuk lokasi struktur yang berada di daerah dimana nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari $0,6g$, maka nilai C_s dapat dicari berdasarkan Persamaan 2.16.

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

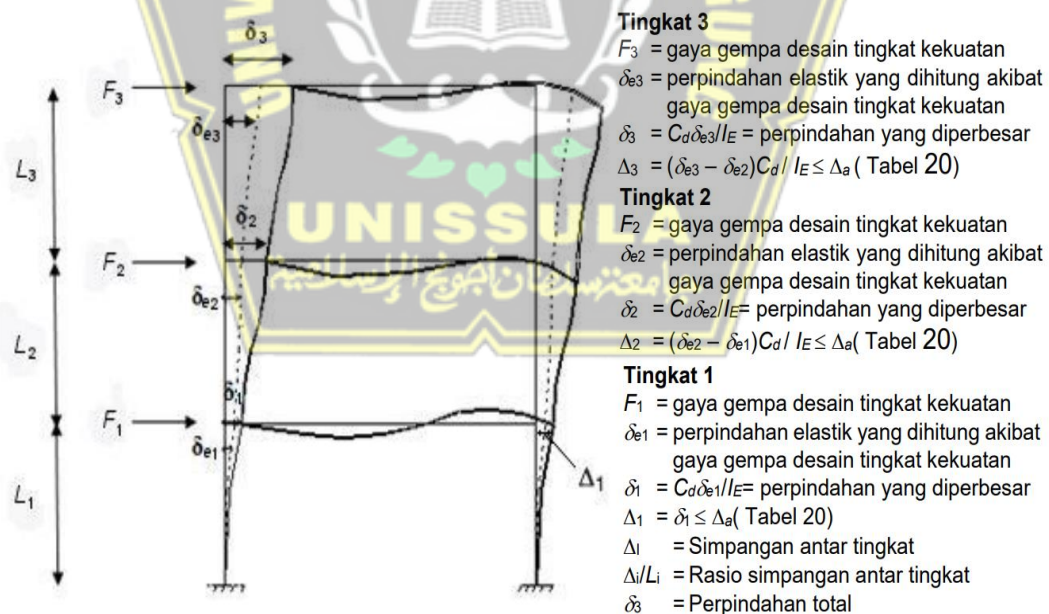
S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1,0 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_1 = Parameter percepatan respon spektral maksimum yang dipetakan

2.5.12. Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) wajib dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa pada arah vertikal tidak segaris, maka diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa lantai di atasnya. Jika desain tegangan izin dipergunakan, Δ wajib dihitung menggunakan gaya seismik desain tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



(sumber : Gambar 10 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 5. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) wajib ditentukan berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.17.

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

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpang

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak diperbolehkan melampaui simpangan antar tingkat izin (Δ_a) yang dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2. 15. Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Konstruksi 4 lantai atau kurang yang tidak terbuat dari dinding geser bata dan memiliki dinding bagian dalam, partisi, langit-langit, dan sistem dinding luar yang dapat mentolerir perubahan ketinggian antar tingkat.	$0,025 h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

(sumber : Tabel 20 SNI 1726:2019)

2.5.13. Pengaruh P-Delta

Analisis pengaruh *P-Delta* pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10. Nilai koefisien stabilitas (θ) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.18.

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot H_{sx} \cdot C_d} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila dihitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x-1 (kN)

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

C_d = Faktor pembesaran defleksi

2.5.14. Analisis Spektrum Respons Ragam

Analisis spektrum respons ragam dilakukan untuk menentukan ragam getar alami suatu struktur. Analisis memerlukan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan tersebut, ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

2.5.15. Ketidakberaturan Struktur

Bentuk suatu struktur bangunan dapat diklasifikasi berdasarkan ketidakberaturannya. Klasifikasi ketidakberaturan suatu bangunan diwajibkan berpedoman pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan.

2.5.15.1. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan struktur secara horizontal. Persyaratan dan bentuk ketidakberaturan horizontal suatu struktur dapat dilihat pada Tabel 2.16 dan Gambar 2.6.

Tabel 2. 16. Persyaratan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

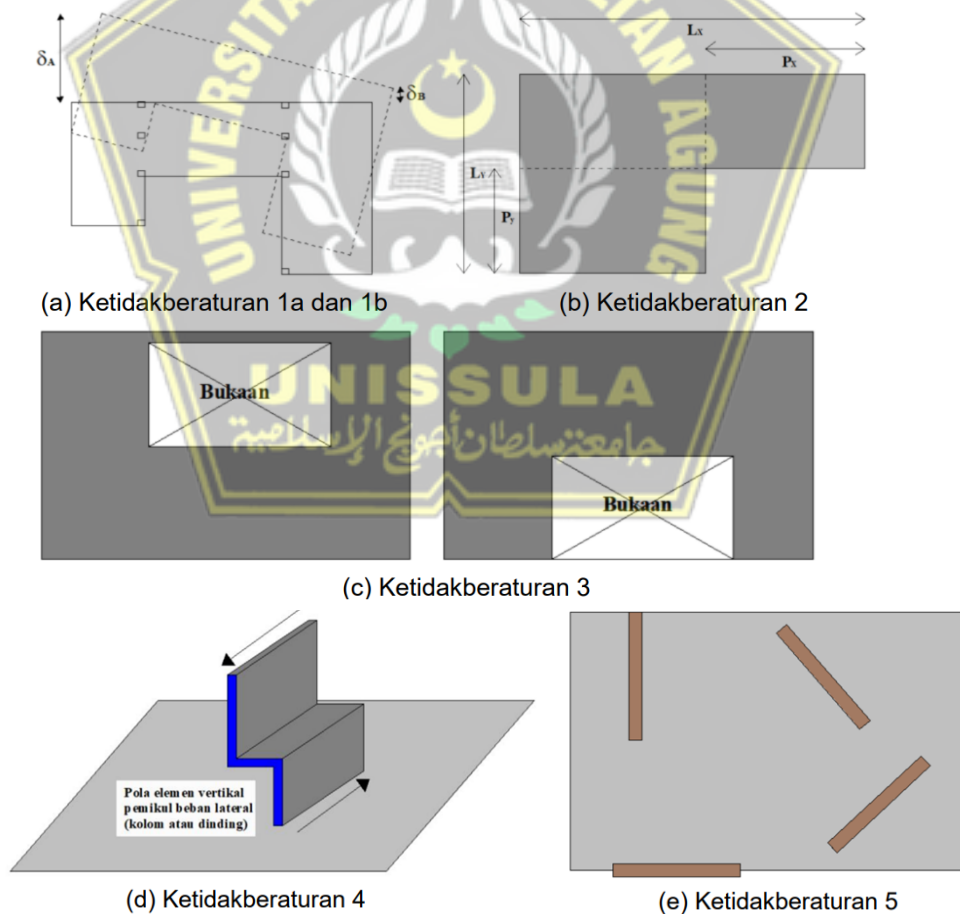
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi Apabila simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu $> 1,2$ kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	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 Apabila 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 $> 1,4$ kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 17.12.1 Tabel 16	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam Apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam $> 15\%$ dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma Apabila terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka $> 50\%$ daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif $> 50\%$ dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F

(sumber : Tabel 13 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 16. Persyaratan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur (lanjutan)

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang Apabila terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	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 non paralel Apabila elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(sumber : Tabel 13 SNI 1726:2019)



(sumber : Gambar 5 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 6. Bentuk Ketidakberaturan Horizontal

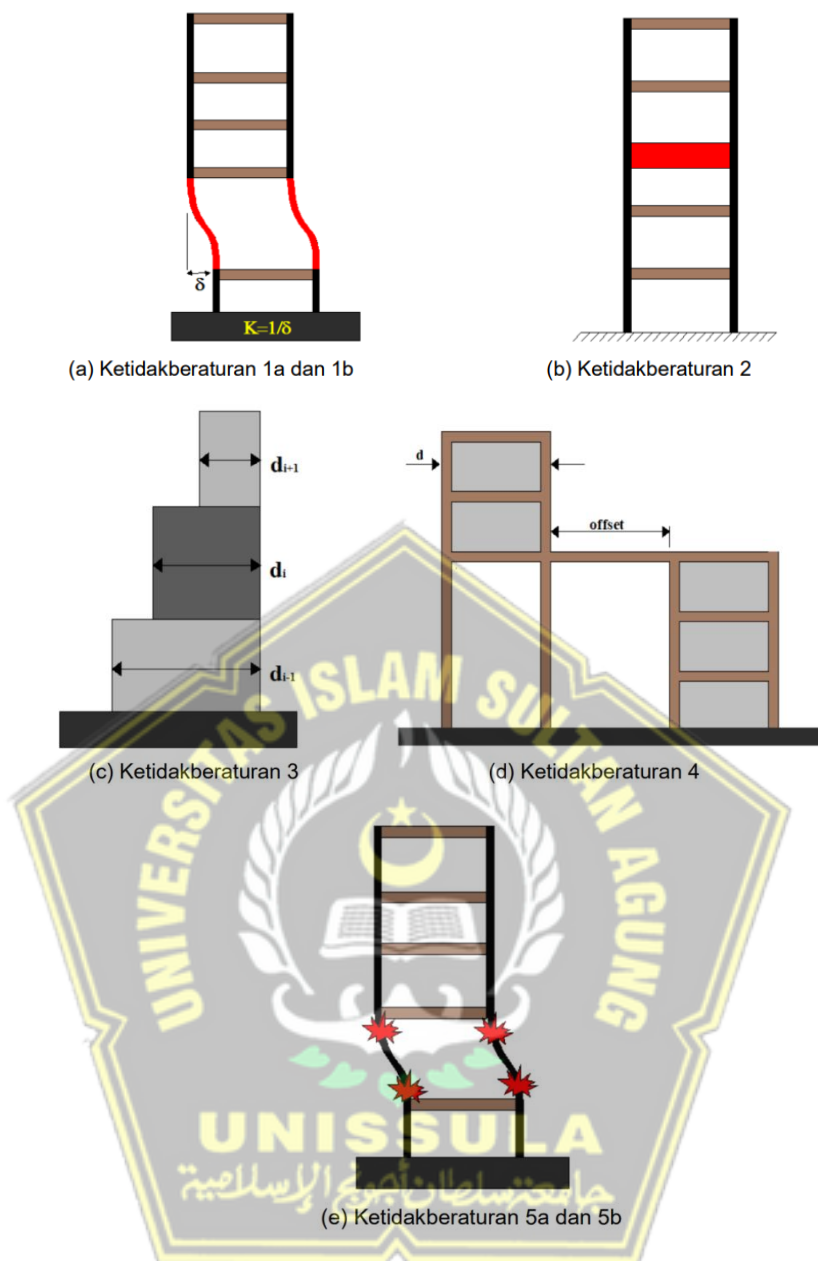
2.5.15.2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan struktur secara vertikal. Persyaratan dan bentuk ketidakberaturan vertikal suatu struktur dapat dilihat pada Tabel 2.17 dan Gambar 2.7.

Tabel 2. 17. Persyaratan Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

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

(sumber : Tabel 14 SNI 1726:2019)



(sumber : Gambar 6 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 7. Bentuk Ketidakberaturan Vertikal

2.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019

Perancangan elemen struktur bangunan memerlukan perencanaan dan perhitungan untuk meminimalkan risiko kerusakan bangunan. SNI 2847:2019 mengenai “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung” digunakan sebagai pedoman dalam perancangan elemen struktur bangunan.

2.6.1. Perancangan Pelat Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pelat beton bertulang merupakan struktur tipis dari bahan beton bertulang dengan arah bidang horizontal yang tegak lurus beban yang bekerja pada bidang tersebut. Bidang pelat beton bertulang mempunyai ketebalan yang relatif sangat kecil dibandingkan dengan bentang panjang maupun lebarnya. Pelat beton bertulang mempunyai sifat sangat kaku dan arahnya horizontal yang berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horizontal pada bangunan gedung untuk mendukung ketegaran balok portal (Asroni. A, 2014a: 161).

Ketebalan minimum pelat tidak tergantung pada pembebanan dan modulus elastisitas beton yang mempunyai pengaruh signifikan pada lendutan. Batasan ketebalan minimum pelat yang digunakan dalam merencanakan dimensi pelat dapat dilihat berdasarkan ketentuan pada Tabel 2.18 dan Tabel 2.19.

Tabel 2. 18. Ketebalan Minimum Pelat 1 Arah

Kondisi Perlekatan	Tebal minimum pelat (h) ^[1]
Perlekatan Sederhana	$L/20$
Satu ujung menerus	$L/24$
Kedua ujung menerus	$L/28$
Kantilever	$L/10$

(sumber : Tabel 7.3.1.1 SNI 2847:2019)

Tabel 2. 19. Ketebalan Minimum Pelat 2 Arah

f_y (MPa) ^[1]	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
420	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
520	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$

(sumber : Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019)

Tulangan lentur dibutuhkan untuk menahan momen lentur yang bekerja pada pelat. Ketentuan mengenai luas minimum tulangan lentur (A_{smin}) dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2. 20. A_{smin} untuk Pelat

Tipe Tulangan	f_y (MPa)	$A_s \text{ min}$	
Batang ulir	< 420	$0,0020A_g$	
Batang ulir / Kawat las	≥ 420	Terbesar dari :	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014A_g$

(sumber : Tabel 8.6.1.1 SNI 2847:2019)

2.6.2. Perancangan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Balok sistem rangka pemikul momen khusus merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik yang dirancang untuk menahan lentur dan geser. Apabila terkena gaya tekan aksial terfaktor lebih dari $(A_g f_c' / 10)$ akibat tiap kombinasi beban, setiap komponen rangka harus diproporsionalkan serta didetailkan.

Batasan dimensi balok sistem rangka pemikul momen khusus digunakan untuk menentukan lebar efektif maksimum balok yang dapat mentransfer gaya ke sambungan balok-kolom. Lebar efektif maksimum balok dapat dilihat pada Gambar 2.8. Dimensi balok diharuskan memenuhi ketentuan sesuai Pasal 18.6.2 sebagai berikut:

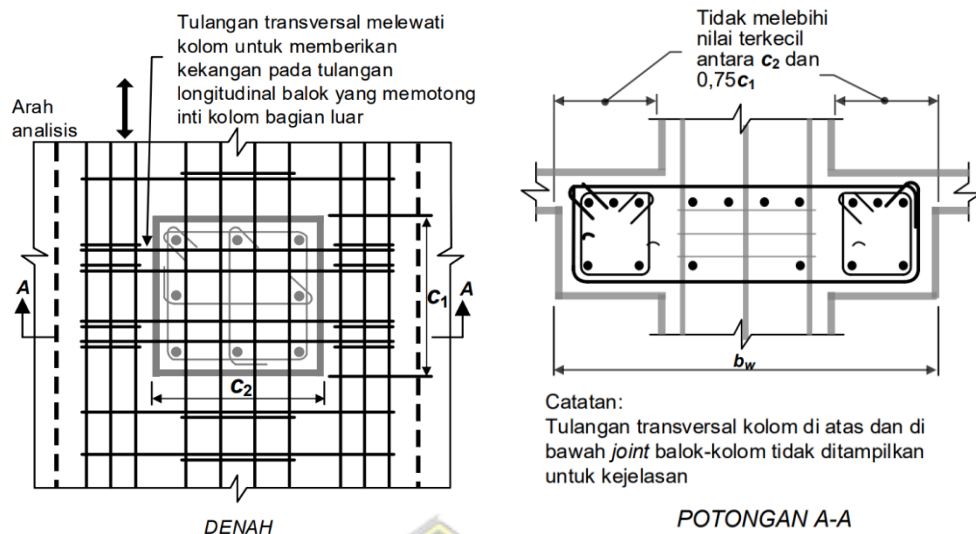
- a) Batasan tinggi minimum dimensi balok sesuai Tabel 2.21.

Tabel 2. 21. Tinggi Balok Minimum (h)

Kondisi Perlekatan	Tinggi balok minimum (h)
Perlekatan Sederhana	$L/16$
Menerus Satu Sisi	$L/18,5$
Menerus Dua Sisi	$L/21$
Kantilever	$L/8$

(sumber : Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019)

- b) Bentang bersih (L_n) diharuskan minimal $4d$
- c) Lebar penampang (b_w) harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- d) Proyeksi lebar balok yang melebihi lebar kolom penumpu pada tiap sisi kolom tidak diizinkan melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$



(sumber : Gambar R.18.6.2 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 8. Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (Wide Beam)

Tulangan lentur pada balok sistem rangka sistem rangka pemikul momen khusus diharuskan memenuhi ketentuan sesuai Pasal 9.6.1 sebagai berikut:

- a) Jumlah tulangan lentur di sebelah atas atau di sebelah bawah penampang (A_s) tidak diizinkan kurang dari Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20.

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.19)$$

(diambil yang terbesar) $\leq A_s \leq 0,025 \cdot b_w \cdot d$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.20)$$

Minimal harus dipasang dua buah tulangan longitudinal, baik di sisi atas maupun di sisi bawah.

- b) Kekuatan momen positif pada muka kolom harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka kolom sesuai Persamaan 2.21 dan Persamaan 2.22.

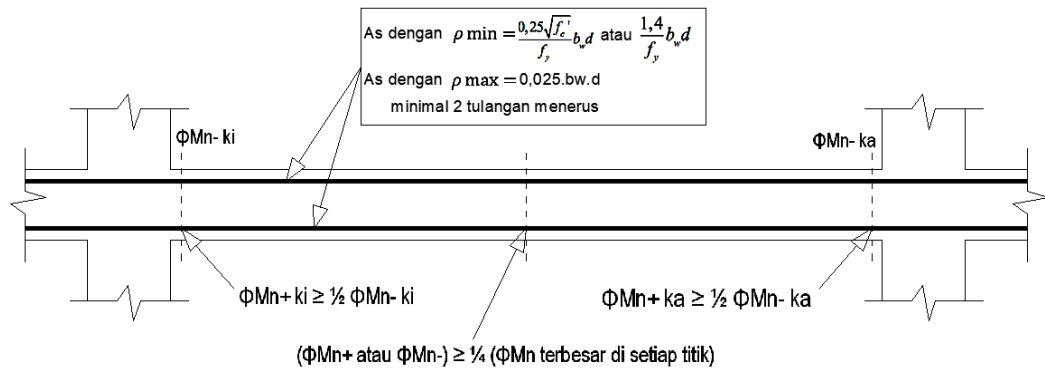
$$\phi M_n^+{}_{ki} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^-{}_{ki} \text{ (tumpuan kiri)} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\phi M_n^+{}_{ka} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^-{}_{ka} \text{ (tumpuan kanan)} \dots\dots\dots (2.22)$$

Kekuatan lentur negatif dan kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang harus lebih dari $\frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum pada kedua penampang kolom tersebut sesuai Persamaan 2.23.

$$(\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Persyaratan tulangan lentur dapat dilihat pada Gambar 2.9.



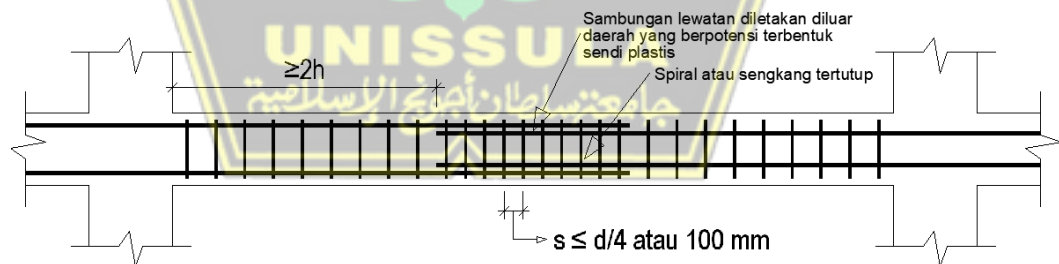
(sumber : SNI 2847:2019)

Gambar 2. 9. Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK

c) Sambungan tulangan lentur hanya diizinkan apabila bagian sambungan dilekatkan dengan tulangan spiral. Jaraknya tidak lebih dari $d/4$ atau 100 mm dapat digunakan untuk mengikat daerah sambungan layang. Sambungan lewatan tidak diizinkan untuk digunakan pada:

- Daerah hubungan balok-kolom
- Daerah hingga sejarak $2x$ tinggi balok dari muka kolom
- Tempat yang berdasarkan analisis menunjukkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan inelastis struktur rangka

Persyaratan sambungan lewatan dapat dilihat pada Gambar 2.10.

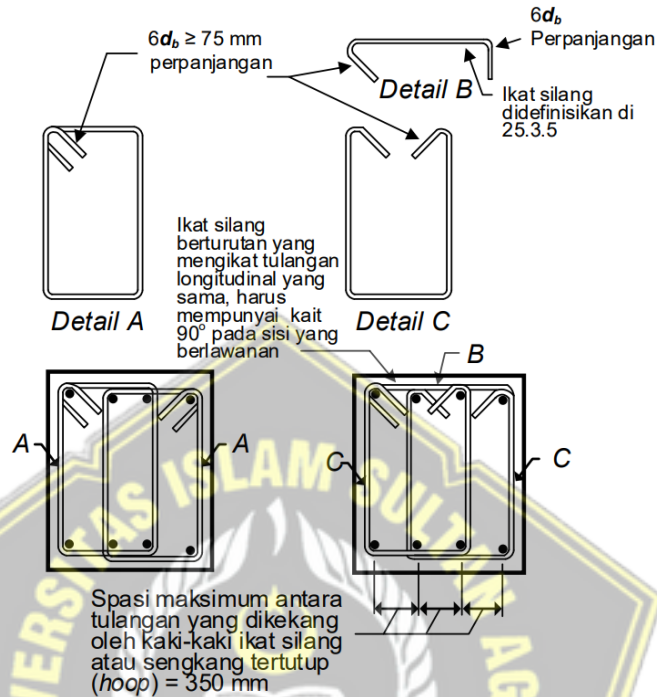


(sumber : SNI 2847:2019)

Gambar 2. 10. Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK

Penempatan sengkang pengeang pertama sesuai Pasal 18.6.4.4 diharuskan tidak lebih 50 mm dari muka kolom penumpu. Penempatan sengkang pengeang dapat dilihat pada Gambar 2.11. Jarak sengkang pengeang tidak diizinkan melebihi nilai terkecil dari hal berikut:

- a) $d/4$
- b) Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- c) 150 mm



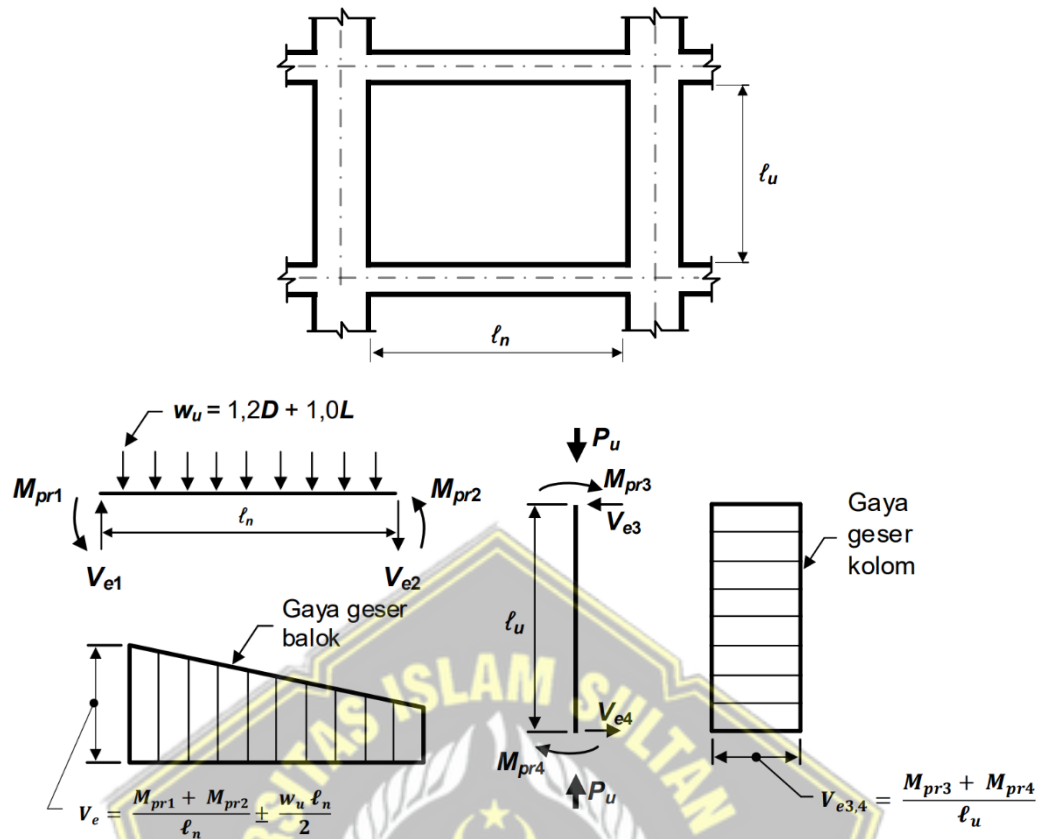
(sumber : Gambar R.18.6.4 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 11. Contoh Sengkang Tertutup (*Hoop*) yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

Perhitungan gaya geser desain (V_e) harus ditinjau dari gaya-gaya di bagian balok di antara kedua muka *joint*. Gaya geser desain dapat dilihat pada Gambar 2.12. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang mungkin terjadi terkait kekuatan momen lentur maksimum (M_{pr}) harus diperkirakan bekerja pada muka-muka *joint* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

Tulangan transversal sepanjang daerah teridentifikasi harus didesain untuk menahan geser dengan asumsi $V_c = 0$ sesuai dengan ketentuan Pasal 18.6.5.2 sebagai berikut:

- a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum pada bentang tersebut.
- b) Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) dengan pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$



(sumber : Gambar R.18.6.5 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 12. Geser Desain untuk Balok dan Kolom

2.6.3. Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) mempunyai beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Batasan dimensi kolom sesuai Pasal 18.7.2.1 harus memenuhi:
 - a) Penampang terkecil kolom harus mempunyai dimensi paling sedikit 300 mm yang diukur pada garis lurus melewati pusat geometri.
 - b) Perbandingan dimensi penampang terkecil kolom terhadap dimensi tegak lurus nya minimal 0,4.
2. Kekuatan lentur kolom sesuai Pasal 18.7.3.2 harus memenuhi Persamaan 2.24.

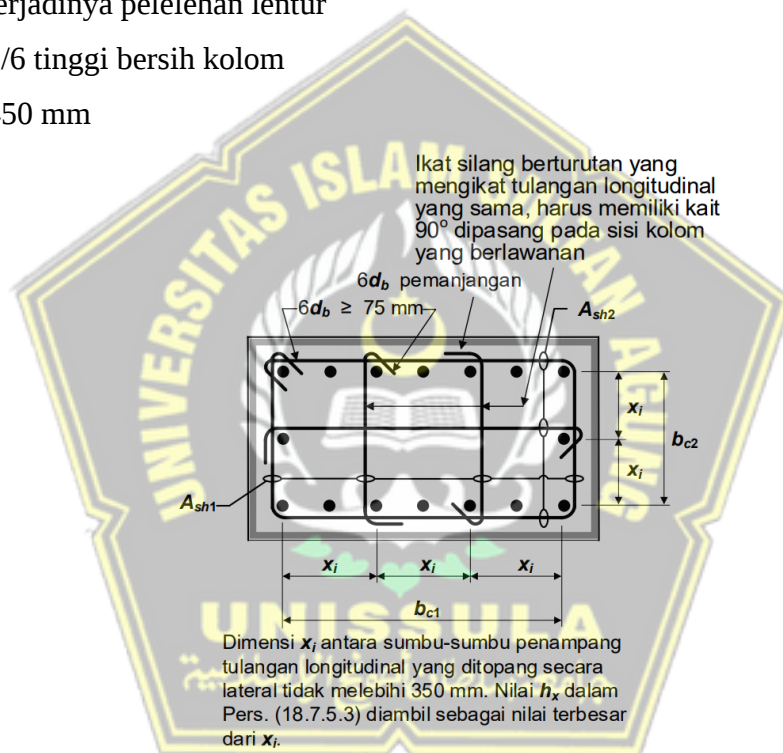
$$\sum M_{nc} = (1,2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Total kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi pada muka-muka *joint*.

$\sum M_{nb}$ = Total kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi pada muka-muka *joint*.

3. Luas tulangan longitudinal (A_{st}) sesuai Pasal 18.7.4.1 tidak diizinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih besar dari $0,06A_g$.
4. Tulangan transversal dipasang sepanjang l_0 dari masing-masing muka *joint* pada kolom. Penulangan transversal pada kolom dapat dilihat pada Gambar 2.13. Panjang l_0 sesuai Pasal 18.7.5.1 tidak diizinkan kurang dari nilai terbesar antara hal-hal sebagai berikut:
 - a) Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana dimungkinkan terjadinya pelelehan lentur
 - b) $1/6$ tinggi bersih kolom
 - c) 450 mm



(sumber : Gambar R.18.7.5.2 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 13. Contoh Penulangan Transversal pada Kolom

5. Spasi tulangan transversal sesuai Pasal 18.7.5.3 tidak diizinkan melebihi nilai terkecil dari hal-hal berikut :
 - a) 0,25 dimensi terkecil penampang kolom
 - b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - c) s_0 , yang dihitung dengan Persamaan 2.25.

$$s_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

Nilai s_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Ketentuan mengenai tulangan transversal dapat dilihat pada Tabel 2.22.

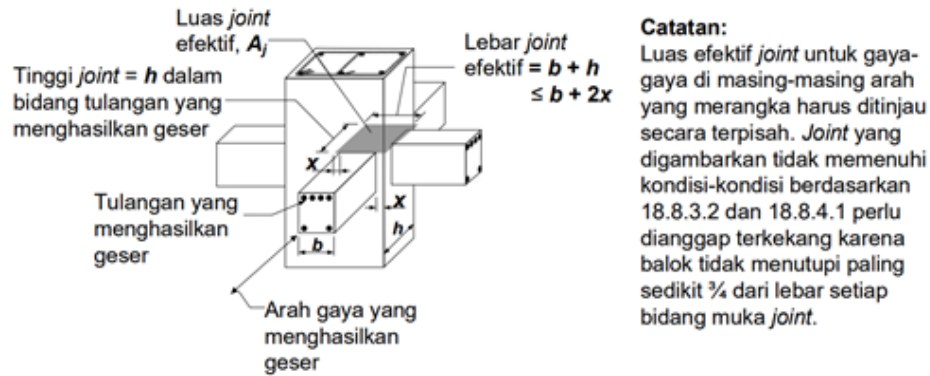
Tabel 2. 22.Tulangan Transversal untuk Kolom-Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{sh}/s_{bc} untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (a)$ $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (b)$
	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2 k_f \times k_n \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \quad (c)$
ρ_s untuk spiral atau sengkang pengekang lingkaran	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (a)$ $0,12 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (b)$ $0,35 k_f \times k_n \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \quad (c)$

(sumber : Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019)

6. Perkalian antara tinggi *joint* dengan lebar *joint* efektif menghasilkan luas penampang efektif suatu *joint* (A_j). Luas penampang efektif *joint* (A_j) dapat dilihat pada Gambar 2.14. Tinggi *joint* dan lebar *joint* efektif diharuskan selebar kolom (h). Lebar *joint* efektif diharuskan selebar kolom kecuali terdapat balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar. Lebar *joint* efektif sesuai Pasal 18.8.4.3 tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil dari hal-hal berikut :

- Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.



(sumber : Gambar R.18.8.4 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 14. Luas Joint Efektif

2.6.4. Perancangan *Strong Column-Weak Beam*

Persyaratan mekanisme perancangan *Strong Column-Weak Beam* (Kolom Kuat-Balok Lemah) sesuai dengan Persamaan 2.26.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Momen total muka sambungan yang dihubungkan dengan kekuatan lentur nominal kolom yang menopang sambungan dan dihitung untuk beban aksial terfaktor, sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ = Momen total muka sambungan yang dihubungkan kuat lentur nominal balok (termasuk pelat dalam tarik) yang menopang persimpangan.

2.6.5. Perancangan Hubungan Balok Kolom (*Joint*) pada SRPMK

Hubungan balok kolom (*joint*) merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus dirancang dan didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok-kolom dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Cek syarat panjang *joint*

Dimensi kolom sejajar tulangan balok beton standar dan beton ringan harus kurang dari 20 dan 26 kali diameter tulangan terbesar dari dimensi tulangan.

2. Cek tulangan geser untuk *confinement*

Jumlah tulangan *confinement* dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_o .

3. Hitung gaya geser pada *joint*

Momen balok yang timbul, sesuai dengan Persamaan 2.27.

$$M_c = 0,5 \times (M_{pr}^+ - M_{pr}^-) \dots\dots\dots (2.27)$$

4. Hitung gaya geser pada kolom, sesuai dengan Persamaan 2.28.

$$V_{goyangan} = \frac{M_e + M_c}{l_n} \dots\dots\dots (2.28)$$

5. Hitung gaya pada tulangan balok longitudinal

- Luas tulangan atas, sesuai Persamaan 2.29.

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.29)$$

- Gaya tekan bekerja pada beton di sisi kiri *joint*, sesuai Persamaan 2.30.

$$C_1 = T_1 \dots\dots\dots (2.30)$$

- Luas tulangan bawah, sesuai Persamaan 2.31.

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.31)$$

- Gaya tekan bekerja pada beton di sisi kanan *joint*, sesuai Persamaan 2.32.

$$C_2 = T_2 \dots\dots\dots (2.32)$$

6. Hitung kuat geser pada *joint*, sesuai Persamaan 2.33.

$$V_j = T_1 + T_2 - V_{goyangan} \dots\dots\dots (2.33)$$

7. Hitung kuat geser terkekang keempat sisinya, sesuai Persamaan 2.34 dan 2.35.

$$V_n = 1,7 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\phi V_n = 0,85 \times V_n \dots\dots\dots (2.35)$$

Dari analisis perhitungan yang dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya harus lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan.

2.6.6. Perancangan Dinding Geser

Perancangan dinding geser atau sistem dinding struktural khusus sesuai Pasal 18.10 harus memenuhi beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Dinding Geser Beton Bertulang Khusus digunakan untuk menahan kombinasi geser, momen dan gaya aksial. Syarat tulangan geser desain adalah apabila $V_u > 0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ maka disyaratkan rasio tulangan minimal harus diambil 0,0025 untuk tulangan longitudinal dan tulangan transversal serta jarak tulangan dinding struktural tidak diperbolehkan lebih dari 450 mm.
2. Dinding Geser harus menggunakan minimal 2 lapis tulangan jika:

$$V_u > 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$h_w/L_w \geq 2,0 \dots\dots\dots (2.37)$$

Keterangan:

h_w = Tinggi dinding keseluruhan

L_w = Panjang dinding keseluruhan

3. Kekuatan geser dinding struktural (V_n) harus mengikuti Persamaan 2.38.

$$V_n < A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

α_c = 0,25 untuk $h_w/L_w \leq 1,5$

= 0,17 untuk $h_w/L_w \geq 2,0$

= interpolasi linier antara 0,25 dan 0,17 untuk $1,5 < h_w/L_w < 2,0$

4. Pada segmen dinding horizontal dan balok kopel, V_n sesuai Pasal 18.10.4.5 harus mengikuti Persamaan 2.39.

$$V_n \leq 0,83 A_{cw} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.39)$$

Keterangan:

A_{cw} = luas penampang beton segmen dinding horizontal atau balok kopel

5. Elemen-elemen batas dinding struktural khusus sesuai Pasal 18.10.6.4 harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c - 0,1 L_w$ dan $c/2$.
- b) Lebar daerah tekan lentur (b), sepanjang jarak horizontal yang dihitung, termasuk sayap bilamana ada dan harus diambil minimal $h_u / 16$
- c) Untuk dinding dengan $h_w/L_w \geq 2,0$ yang dirancang mempunyai penampang kritis tunggal untuk beban-beban lentur dan aksial, dan dengan $c/L_w \geq 3/8$, lebar daerah tekan lentur (b) di sepanjang daerah dinding diharuskan lebih besar dari atau sama dengan 300 mm.
- d) Pada penampang bersayap, elemen batas termasuk lebar sayap efektif yang mengalami tekan harus diperpanjang minimal 300 mm ke badan dinding.
- e) Tulangan transversal elemen batas diharuskan memenuhi persyaratan, kecuali apabila nilai h_x tidak lebih dari nilai terkecil antara 350 mm dan $2/3$ ketebalan elemen batas, dan batasan spasi tulangan transversal harus diambil $1/3$ dari dimensi terkecil elemen batas.
- f) Jumlah tulangan transversal diharuskan sesuai dengan Tabel 2.23.

Tabel 2. 23. Tulangan Transversal untuk Elemen Batas Khusus

Tulangan transversal	Persamaan yang berlaku		
A_{sh} / S_{bc} untuk sengkang pengekang persegi	Nilai terbesar	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(a)
		$0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(b)
ρ_s untuk spiral atau sengkang pengekang lingkaran	Nilai terbesar	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(c)
		$0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(d)

(sumber : Tabel 18.10.6.4(f) SNI 2847:2019)

2.6.6.1. Tulangan Minimum

Persyaratan tulangan minimum yang digunakan dalam perancangan dinding geser adalah sebagai berikut:

1. Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton ρ_l , harus :
 - a. 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa, atau
 - b. 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya, atau
 - c. 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari Ø-16 atau D-16
2. Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton ρ_t , harus:
 - a. 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa, atau
 - b. 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
 - c. 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari Ø-16 atau D-16

2.6.6.2. Batas Ketinggian Bangunan yang Ditingkatkan untuk Dinding Geser Beton Bertulang

Batasan ketinggian bangunan yang dikembangkan dengan kategori desain seismik D atau E dapat dinaikkan dari 48 m menjadi 72 m. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh struktur apabila mempunyai dinding geser beton bertulang sebagai sistem penahan gaya gempa yang dicor di tempat:

- a. Konstruksi harus mematuhi definisi Tabel 2.16 tentang kelainan torsi yang parah (ketidakteraturan horizontal tipe 1b).
- b. Dinding geser beton bertulang yang dicor di tempat khusus harus mampu

menopang tidak lebih dari 60% dari total gaya seismik di setiap arah di semua bidang terlepas dari dampak torsi tak terduga.

2.6.6.3. Pengangkuran Dinding Struktural

Struktur pelat dan bahan-bahan konstruksi lain yang memberi tahanan lateral atau penopang dinding harus diamankan ke dinding struktur untuk menahan beban vertikal atau tahanan geser lateral dalam komponen struktur. Pengangkuran harus mampu memikul gaya horizontal yang dihitung paling sedikit 0,2 kali berat luas dinding dalam sambungan tetapi tidak lebih dari 0,24. Gaya ini harus diterapkan tegak lurus terhadap bidang dinding.

Dinding struktural harus terhubung langsung ke struktur pendukung dan mampu menahan gaya desain sesuai Persamaan 2.40.

$$F_p = 0,4 S_{DS} \times K_a \times I_e \times W_p \dots\dots\dots (2.40)$$

F_p tidak boleh diambil kurang dari $0,2 K_a \times I_e \times W_p$

$$K_a = 1,0 \frac{L_f}{30} \dots\dots\dots (2.41)$$

K_a tidak perlu diambil sebesar 2,0

Keterangan:

- F_p = Gaya desain pada angkur-angkur individu
- S_{DS} = Parameter percepatan respon spektra desain pada periode pendek
- I_e = Faktor keutamaan gempa (Tabel 2.6)
- K_a = Faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma
- L_f = Bentang diafragma fleksibel (dalam m) yang memberikan tumpuan lateral pada dinding; bentang tersebut diukur antara elemen-elemen vertikal yang menyediakan tumpuan lateral terhadap diafragma tersebut pada araha yang ditinjau.
- W_p = Berat dinding sesuai luasan pada daerah angkur

Bila angkur tidak terletak di atap dan seluruh diafragma tidak fleksibel, maka nilai yang diperoleh dari $F_p = 0,4 S_{DS} \times K_a \times I_e \times W_p$ diizinkan untuk dikalikan dengan faktor $\frac{1+2z/h}{3}$, dimana z adalah tinggi angkur di atas dasar struktur dan h adalah tinggi atap di atas dasar.

Dinding struktural harus didesain untuk menahan lentur antara angkur-angkur apabila spasi angkur melebihi 1200 mm.

2.6.6.4. Pengekangan pada Dinding Geser

Pengekangan pada dinding geser terjadi pada daerah elemen pembatas (*boundary element*). Elemen pembatas ini ditentukan dengan Persamaan 2.42.

$$c > \frac{L_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)}; \frac{\delta_u}{h_w} > 0,007 \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan:

c = Panjang dari serat terluar beton ke garis normal. Untuk nilai δ_u didapatkan dari *drift* hasil analisa menggunakan program

h_w = Tinggi dinding geser

Jika nilai $\frac{\delta_u}{h_w} < 0,007$, maka nilai yang digunakan adalah 0,007.

Jika $c > \frac{L_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)}$, maka dinding geser tidak memerlukan tulangan pengekang.

Tulangan pengekang harus dipasang sepanjang elemen pembatas (*boundary element*). Untuk panjang elemen pembatas harus dipasang secara horizontal tidak kurang dari :

- $c - L_w$
- $\frac{c}{2}$

Luas tulangan pengekangan pada dinding geser dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.43 dan Persamaan 2.44.

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \times b_c \times f_{cr}}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.43)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \times b_c \times f_{cr}}{f_y} \dots\dots\dots (2.44)$$

2.7. Perencanaan Struktur Bawah

Perencanaan truktur bawah disini meliputi pondasi, pile cap dan sloof. Kerangka yang memiliki fungsi sebagai penopang sebuah bangunan di sebut pondasi. Sub bab ini terdiri dari perhitungan fondasi tiang pancang (pile cap).

2.7.1. Pondasi Tiang Pancang

a. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Dari Uji Penetrasi Standard (SPT) Menurut Mayerhoff

Kapasitas ultimit tiang dapat dihitung secara *empiris* dari nilai N hasil ujung SPT. Rumus umum dalam kapasitas ultimit tiang pancang dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$P_n = 40 * N_b * A_b + \check{N} * A_s, \text{ dan harus } \leq \dots\dots\dots (2.45)$$

$$P_n = 380 * \check{N} * A_b \dots\dots\dots (2.46)$$

dimana ;

N_b = nilai SPT di sekitar dasar tiang, dihitung dari 8.D di atas dasar tiang s.d 4.D di bawah dasar tiang

$\check{N}$ = nilai SPT rata-rata di sepanjang tiang

A_b = luas dasar tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

b. Perhitungan Pondasi Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Untuk menghitung daya dukung kelompok tiang menggunakan metode *Converse-labrare* efisiensi kelompok tiang pancang dihitung berdasarkan persamaan:

$$Q_{all \text{ total}} = Eff. n. Q_{all}(2.92) \dots\dots\dots (2.47)$$

$$Eff = 1 - \frac{\emptyset}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m n} \right\} \dots\dots\dots (2.48)$$

dimana;

m = jumlah baris

n = jumlah tiang

$\emptyset$ = $\tan^{-1}$ (d/s)

d = diameer tiang pancang (cm)

s = jarak antar tiang pancang (cm)

Jika $Q_{all \text{ total}} = P_{group}$, maka kapasitas daya dukung tiang kelompok harus dicek dengan total beban yang diterima dari pondasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Jarak antar As

$$2,5D < s < 3D \quad (2.49)$$

- Jarak As ke tepi

$$s = 0,5D + 0,15 \text{ m} \quad (2.50)$$

c. Kontrol beban maksimum

Untuk menghitung gaya aksial maka harus ditinjau dari sumbu x dan y.

$$P_{max/min} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y X_{max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x Y_{max}}{\sum y^2} \leq P_{izin} \quad (2.51)$$

dimana;

P = beban aksial yang bekerja pada tiang pancang

M_x = momen luar sumbu x

M_y = momen luar sumbu y

X_{max} = Jarak antar tiang pancang terjauh dari sumbu x

Y_{max} = Jarak antar tiang pancang terjauh dari sumbu y

Σx² = Jumlah kuadrat jarak antar tiang pancang sumbu x

Σy² = Jumlah kuadrat jarak antar tiang pancang sumbu y

d. Kontrol gaya lateral (Metode Broms)

Tahanan lateral tiang (H) kategori tiang panjang, dapat dihitung dengan persamaan :

$$H = y_o * k_h * D / [2 * b * (e * b + 1)] \dots\dots\dots(2.52)$$

dengan,

$$\beta = [k_h * D / (4 * E_c * I_c)]^{0.25} \dots\dots\dots(2.53)$$

dimana;

D = diameter tiang pancang (m)

L = panjang tiang pancang (m)

f_c' = mutu beton (Mpa)

k_h = modulus subgrade horisontal (kN/m³)

E_c = modulus elastis tiang (kN/m²)

I_c = momen inersia penampang (m⁴)

m = jarak beban lateral terhadap muka tanah (m)

y_o = defleksi tiang maksimum (m)

β = koefisien defleksi tiang, (m)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data diperoleh oleh penulis dan digunakan sebagai acuan dalam penyusunan penelitian ini dengan menggunakan data skunder. Data skunder adalah efektifitas alat, efisiensi kinerja pekerja, perkiraan jam kerja, dan data dari referensi atau survei dan wawancara sebelumnya. Kegunaan dari data tersebut adalah untuk membantu proses desain struktur. Data yang dimaksud meliputi:

- Gambar Perencanaan teknis struktur bangunan gedung.
- Data seismic gempa daerah Banda Aceh.
- Data tanah yang mengacu dari data sondir yang diperoleh.

3.1.1 Data Umum Proyek

Informasi mengenai data umum bangunan gedung rumah sakit ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Data Umum Proyek

Proyek	: Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh
Lokasi	: Jl. Lkr. Kampus, Kopelma Darussalam, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Aceh 24411.
Luas Bangunan	: 18250 m ²
Jumlah Lantai	: 5 Lantai
Penggunaan Bangunan	: Gedung Rumah Sakit

3.2 Perencanaan Analisis Struktur

Pada tahap ini, perhitungan untuk pembangunan proyek yang sedang berlangsung dianalisis. Tahap awal analisis dan perhitungan untuk langkah dan referensi tertulis untuk tugas akhir ini:

1. Pengumpulan Data

Pengambilan data primer dan skunder pada pembangunan Gedung Rumah Sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh yang akan direncanakan serta dikembangkan. Pengumpulan data ini didapat dari Shop Drawing Gedung Rumah Sakit 5 lantai di Kota Banda Aceh, lalu gambar tersebut digunakan untuk permodelan ETABS V.18.1.1 yang merupakan langkah selanjutnya menggunakan software spColumn guna perhitungan kolom.

2. Permodelan Struktur Gedung

Permodelan struktur bangunan dilakukan sesuai dengan peraturan yang telah ditentukan untuk perencanaan gambar arsitektur dan struktur yang telah dibuat. Permodelan ini digunakan software ETABS V.18.1.1.

3. Perhitungan Pembebanan Static

Perhitungan berat beban disini tidak hanya dilihat dari benda yang diam saja tapi juga benda hidup atau bergerak juga diperhitungkan. Benda yang diam direncanakan berdasar pembebanan benda itu sendiri didalam aplikasi kemudian di input ke dalam *load case super DEAD* pembebanan sendiri tambahannya belum dapat dilakukan model yang ada didalam program software dalam *load case Super DEAD*.

4. Analisa Struktur

Analisis kerangka permodelan menggunakan Respon Spektrum untuk mendapatkan kurva respon spectrum sesuai lingkup area jangkauan gempa yang sudah direncanakan dengan bantuan software kementerian pekerjaan umum atau puskim.

5. Perencanaan Perhitungan Beban Gempa

Rencana untuk menghadapi terjadinya gempa bumi yaitu dalam pengerjaan konstruksi selalu mempertimbangkan setiap perencanaan elemen pada setiap kerangka bangunan yang dilaksanakan, maka beban/berat gempa akan menjadi beban statis yang ekuivalen pada setiap lantainya.

- Waktu getar (T_a)
- Distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa

6. Desain elemen-elemen struktur

A. Struktur Atas

Pada saat merencanakan struktur atas, merupakan perencanaan yang terletak dibagian atas dari tanah. Perencanaan kerangka atas tersebut meliputi bagian dari, kolom, balok, hubungan balok kolom(*joint*). Terdapat rincian detail dan tahap-tahapan yang akan disusun pada bab 4.

a. Perencanaan Pelat

Menghitung besaran momen pada pelat berdasarkan hasil analisa program. Yang digunakan untuk mendesain penulangan pelat dengan detail pada bab 4.

b. Perencanaan Balok

- Merencanakan tahanan torsi
- Merencanakan penulangan lentur
- Pengambilan data momen dan torsi dari software ETABS
- Merencanakan tulangan transversal
- Memastikan persyaratan lentur SRPMK

c. Perencanaan Kolom

- Mengekspor data gaya aksial serta momen dari software ETABS
- Memastikan komponen struktur tahan gempa
- Memilih tulangan komponen penahan lentur
- Mengontrol beban aksial suatu kolom terhadap beban aksial terfaktor
- Pemantauan perilaku struktur *strong column weak beam*
- Menghitung tulangan pada transversal sebagai *confinement*
- Menghitung gaya geser rencana (V_e)

d. Perencanaan Hubungan Balok Kolom (*Joint*)

- Menghitung gaya geser pada *joint*
- Menghitung keperluan tulangan transversal

B. Struktur Bawah

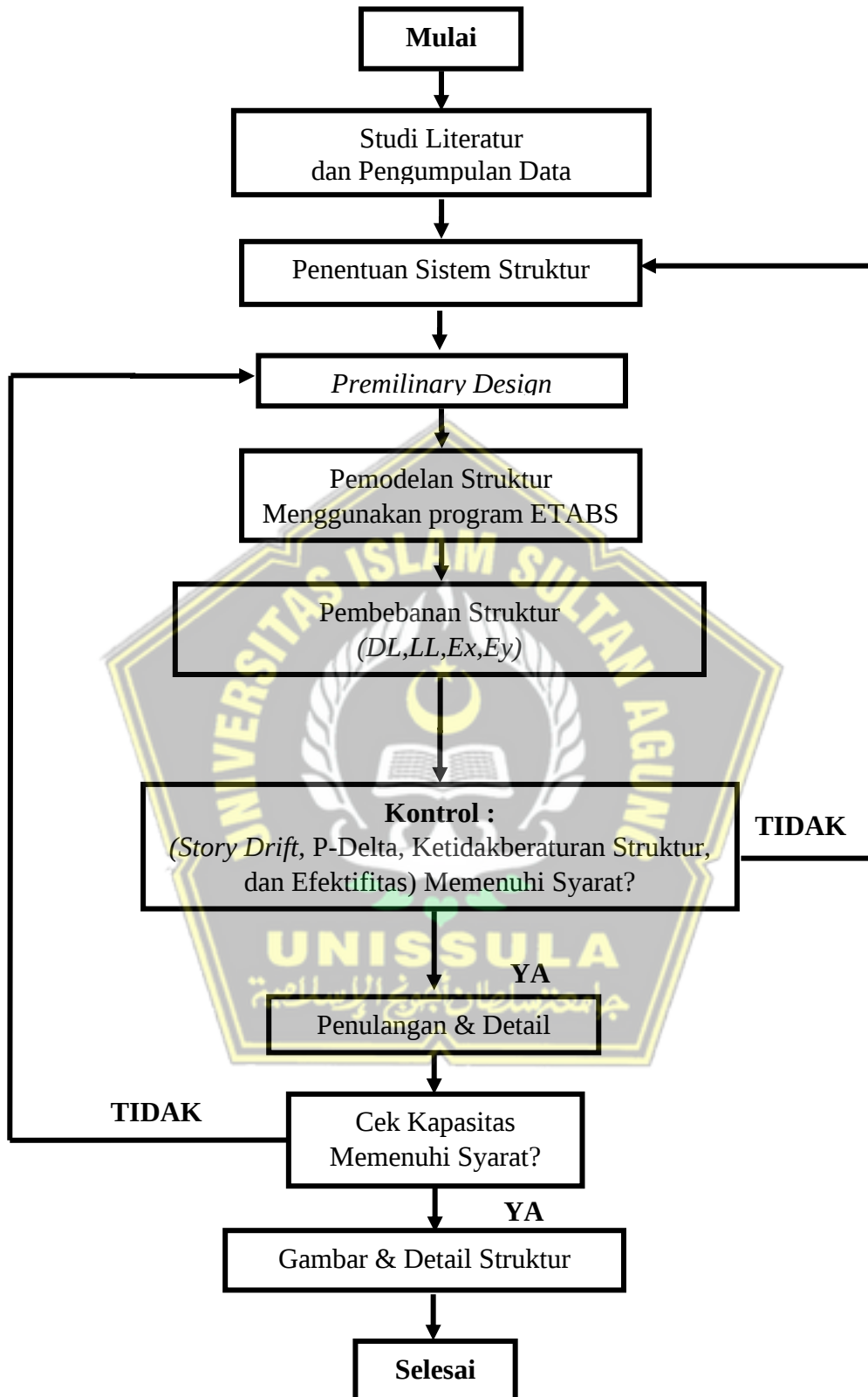
Struktur bagian bawah merupakan kerangka struktur yang terletak dibawah tanah yang mampu menahan bangunan dan menyalurkan beban bangunan ke tanah keras yang ada dibawahnya, tahap-tahapnya:

- a. Perencanaan pondasi tiang pancang
 - Memeriksa daya dukung pondasi berdasarkan beban yang akan diterima
 - Melakukan perhitungan beban yang terhitung secara maksimum
 - Mengontrol gaya geser lateral
- b. Perencanaan Pile Cap
 - Memeriksa tegangan geser 1 arah
 - Memeriksa tegangan geser 1 arah
- c. Penulangan Pile Cap
 - Mendesain penulangan lentur *Pile Cap*

3.3 Laporan Penggambaran

Penyusunan laporan ini mengikuti pedoman penulisan tugas akhir yang sudah diatur dalam program studi teknik sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang, bagian tersebut meliputi: Sistematika ejaan atau penulisan, penggunaan bahasa dan bentuk laporan. Gambar disesuaikan menggunakan aplikasi software AutoCAD.

3.4 Diagram Alir



Tabel 3.2 Diagram alir Desain Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh

3.5 Acuan Desain Standar

Perancangan Desain:

- SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Banguna Gedung
- SNI 1726:2019: Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Kerangka Bangunan Gedung dan Non Gedung
- SNI 1729:2020: Persyaratan Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural
- SNI 1729:2020: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- ASCE 7 – 16: *Minimum Design Loads for Building and Other Structures*.

3.6 Data Struktur

Beton yang digunakan pada pembangunan gedung rumah sakit ini adalah beton mutu $f_c'30$ Mpa (untuk struktur kolom, balok, dan pelat) adalah:

$$E_c = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

Mutu baja tulangan yang dipakai sesuai SNI 2847:2019 yaitu:

$$\text{Baja Tulangan (BJ 42)} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 525 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

3.6.1 Dimensi Elemen Struktur

Dimensi awal pada elemen struktur yang digunakan dalam pemodelan menggunakan program adalah sebagai berikut :

Kolom : -K1 1000x1000 mm

-K2 700x700 mm

-K3 1200x1200 mm

Balok : -G1 350x700 mm

-G2 350x650 mm

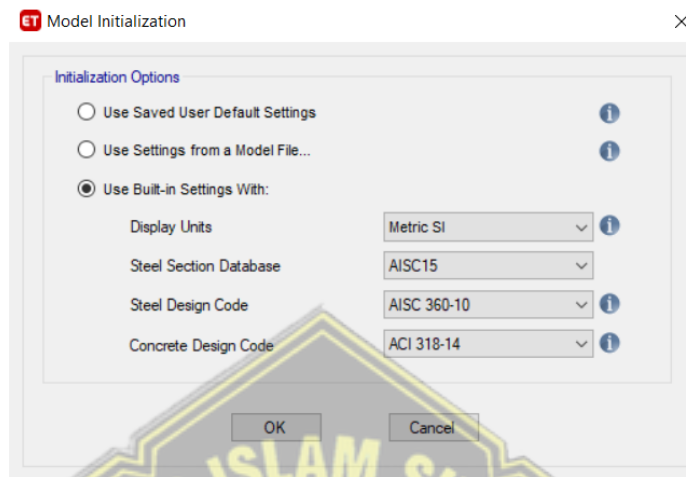
-B1 300x600 mm

Pelat : -S1 = 130 mm

-S2 = 100 mm

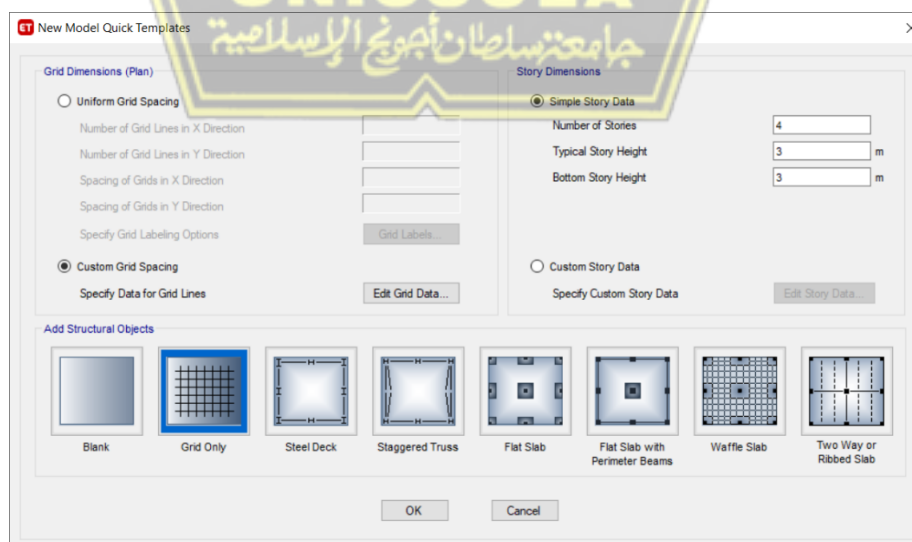
3.7 Permodelan Struktur Bangunan

Pertama buka software ETABS 2018 V.18.1.1 untuk laptop atau komputer, lalu diawali dengan start lalu pilih menu *File - New Model*. Gambaran Screen ETABS seperti dibawah ini.



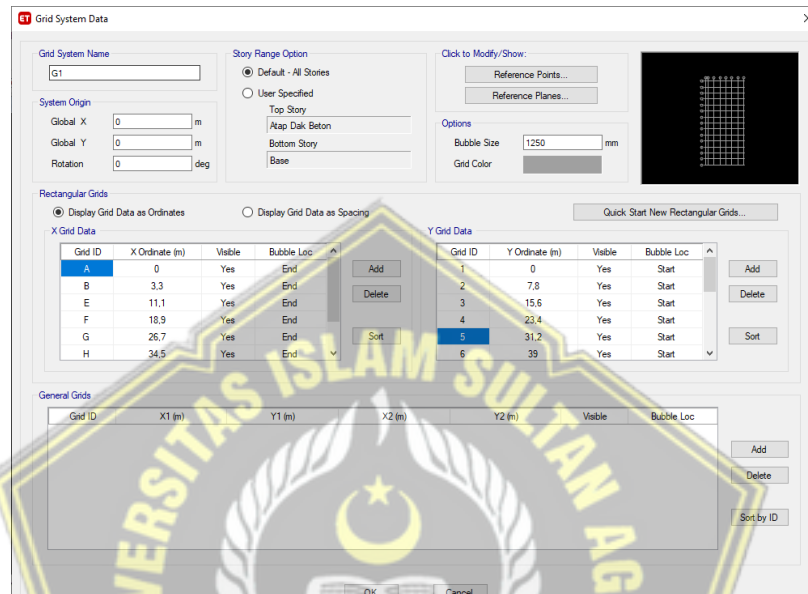
Gambar 3.1 *Model Initialization*

Opsi Inisialisasi, Digunakan opsi bawaan untuk memilih kode standar dan emtitas pakai guna membangun model desain. Pada gambar display unit, gunakan matric SI untuk satuan internasional dan untuk rencana beton bertulang pada kode rencana beton, Gunakan *ACI 318-14* yang merupakan rujukan khusus dari SNI terbaru di Indonesia 2847:2019. Kode standar yang dipakai dalam database komponen baja dan kode rencana baja yaitu default, kemudian klik OK.



Gambar 3.2 *New Model Quick Templates*

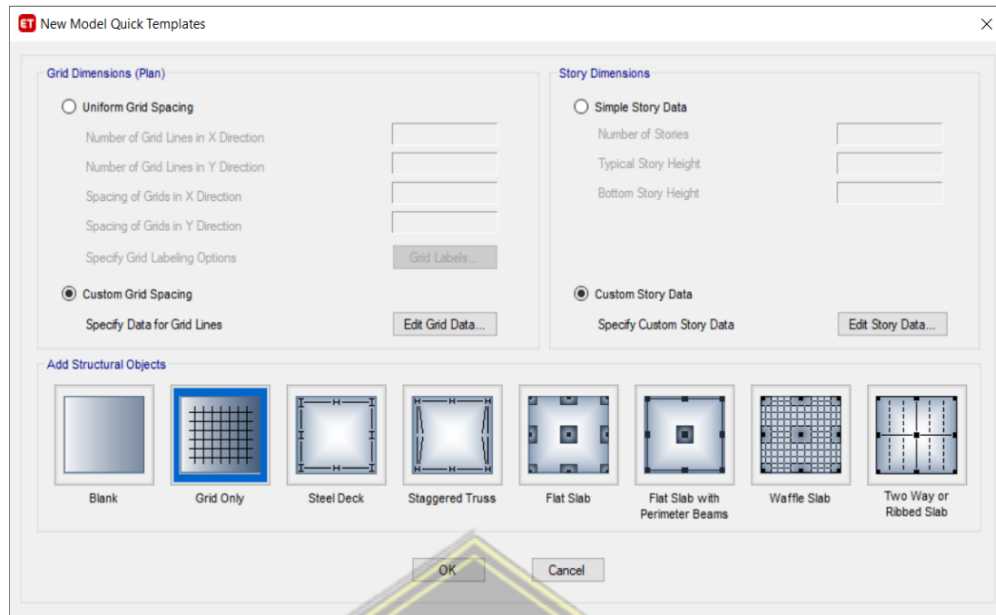
Pada Screen tampilan *New Model Quick Templates* Pilih *Costom Grid Spacing* – lalu *Edit Grid Data*. Kemudian Masukkan data dalam hitungan ordinat, Kemudian Pilih *Display Grid Data as Ordinates*. Kemudian atur data gambar denah sesnai dengan rencana pada bagian *X Grid Data* dan *Y Grid Data* dengan jarak antara As denah desain, Kemudian klik OK.



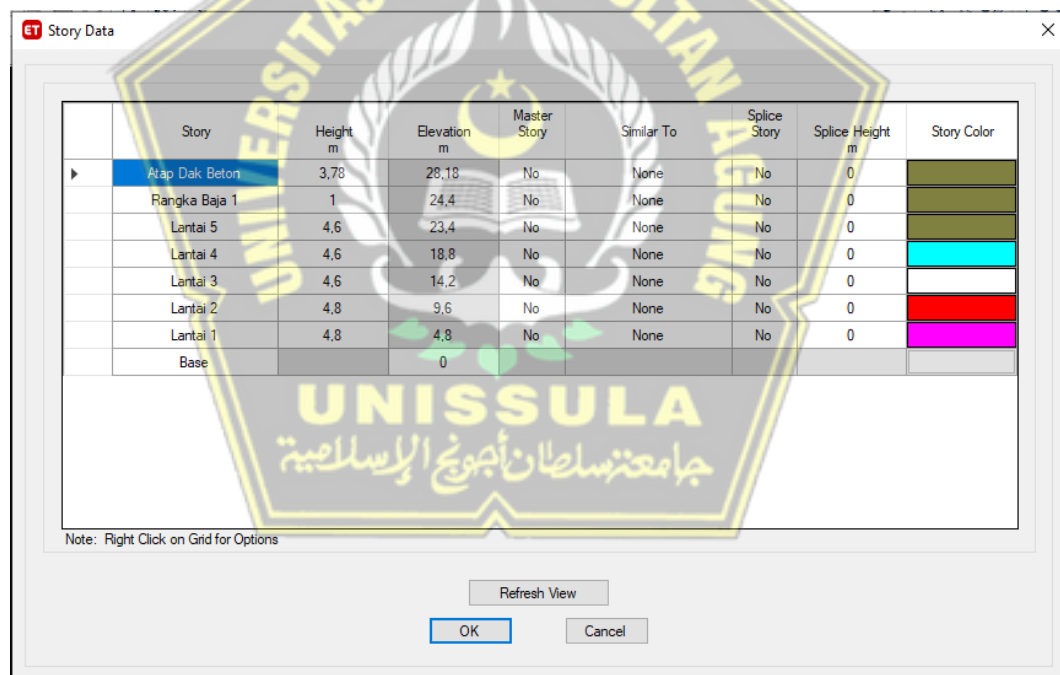
Gambar 3.3 *Grid System Data*

Lalu dapat diperhatikan pada bagian *Story Dimensions – Costum Story Data* kemudian pilih *Edit Story Data* setelah memasukkan data ketinggian bangunan kemudian klik OK.

- Base = 0 m
- Lantai 1-2 = 4,8 m
- Lantai 3-5 = 4,6 m
- Atap Dak Beton = 3,6 m



Gambar 3.4 *Story Dimention*

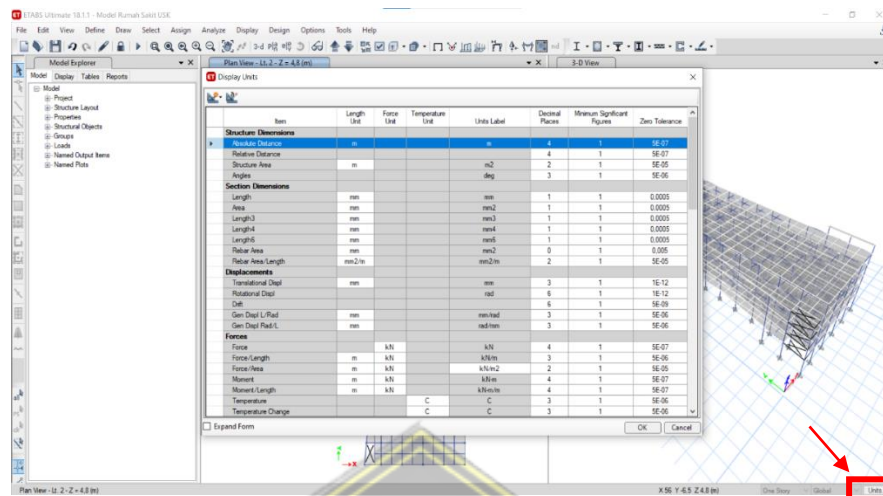


Gambar 3.5 *Story Data*

Setelah memasukan data ketinggian bangunan, Kemudian untuk bagian *Add Structural Objects*. Pilih *Grid Only* – OK.

3.8 Konversi Satuan

Pada perubahan konversi menggunakan cara pilih *Units – Show Units Form*.



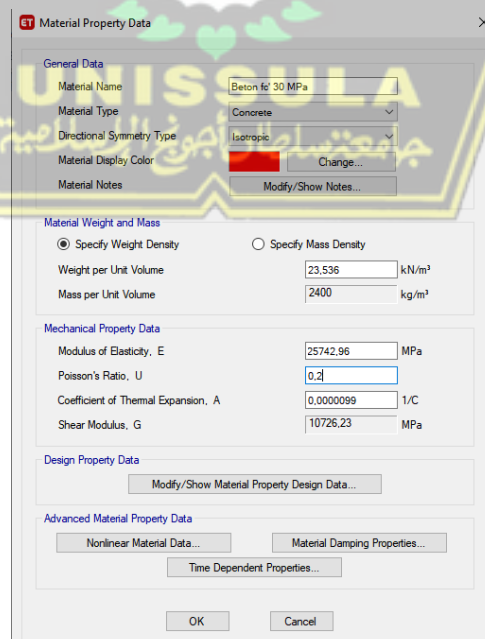
Gambar 3.6 Display Units

Satuan:

- *Force* : Force Units = kN, Units Label = kN
- *Mass* : Force Units = N, Units Label = kg
- *Force Area* : Force Units = kN, Units Label = kN/m²

3.9 Material Propertis Struktur Bangunan

Pilih menu pada *Define – Material Properties – Pilih 4000 psi (untuk beton) – Adjust/Display Material*



Gambar 3.7 Mutu Beton f_c' 30 Mpa

Mutu beton f_c' 30 Mpa:

- Ubah *Material Name* dengan f_c' 30 Mpa
- Isi kolom *Modulus of Elasticity*, sebelumnya yaitu 23500 Mpa.
- Properti pada bagian Properti, Nilai f_c sudah diedit (f_c' 30 Mpa) berdasarkan (guna meningkatkan siinder) Kemudian Pilih Ok.

Cara diatas juga sama jika ingin memasukan material Beton f_c' 30 Mpa.

Pilih A615Gr60 – *Change / Show Material* – ganti nama material menjadi “*Threaded / Smooth Reinforcing Steel*” – *Material Type: Rebar - Change / Show Material Properties Design Data* – masukan data desain *Material Properties* sesuai dengan kualitas yang sudah dikuatkan baja yang dipakai – seperti yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

The image shows two overlapping software dialog boxes from a program called 'ET'. The top dialog is titled 'Material Property Data' and contains the following fields:

- General Data**
 - Material Name: BJTD 420 MPa
 - Material Type: Rebar (dropdown menu)
 - Directional Symmetry Type: Uniaxial
 - Material Display Color: Yellow (with a 'Change...' button)
 - Material Notes: (with a 'Modify/Show Notes...' button)
- Material Weight and Mass**
 - ☐ Specify Weight Density
 - ☒ Specify Mass Density
 - Weight per Unit Volume: 76.9822 kN/m³
 - Mass per Unit Volume: 7850 kg/m³

The bottom dialog is titled 'Material Property Design Data' and contains the following fields:

- Material Name and Type**
 - Material Name: BJTD 420 MPa
 - Material Type: Rebar, Uniaxial
 - Grade: Grade 60
- Design Properties for Rebar Materials**
 - Minimum Yield Strength, F_y : 420 MPa
 - Minimum Tensile Strength, F_u : 525 MPa
 - Expected Yield Strength, F_{ye} : 420 MPa
 - Expected Tensile Strength, F_{ue} : 525 MPa

Both dialogs have 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Gambar 3.8 Mutu BJTD 42

Untuk mutu baja tulangan lainnya, dengan cara yang mudah yaitu pilih *Add Copy of Material*. Tata cara dalam melakukan input data yaitu baja tulangan polos sama dengan langkah-langkah seperti yang ada di atas.

The image shows two overlapping dialog boxes from the ETABS software. The top dialog, titled 'Material Property Data', contains the following fields:

- General Data:**
 - Material Name: Baja Profil fy420 MPa
 - Material Type: Steel
 - Directional Symmetry Type: Isotropic
 - Material Display Color: Blue (with a 'Change...' button)
 - Material Notes: (with a 'Modify/Show Notes...' button)
- Material Weight and Mass:**
 - ☒ Specify Weight Density
 - ☐ Specify Mass Density
 - Weight per Unit Volume: 76.9822 kN/m³
 - Mass per Unit Volume: 7850 kg/m³

The bottom dialog, titled 'Material Property Design Data', contains the following fields:

- Material Name and Type:**
 - Material Name: Baja Profil fy420 MPa
 - Material Type: Steel, Isotropic
 - Grade: Grade 50
- Design Properties for Steel Materials:**
 - Minimum Yield Stress, F_y : 420 MPa
 - Minimum Tensile Strength, F_u : 550 MPa
 - Expected Yield Stress, F_{ye} : 420 MPa
 - Effective Tensile Strength, F_{ue} : 550 MPa

Both dialogs have 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

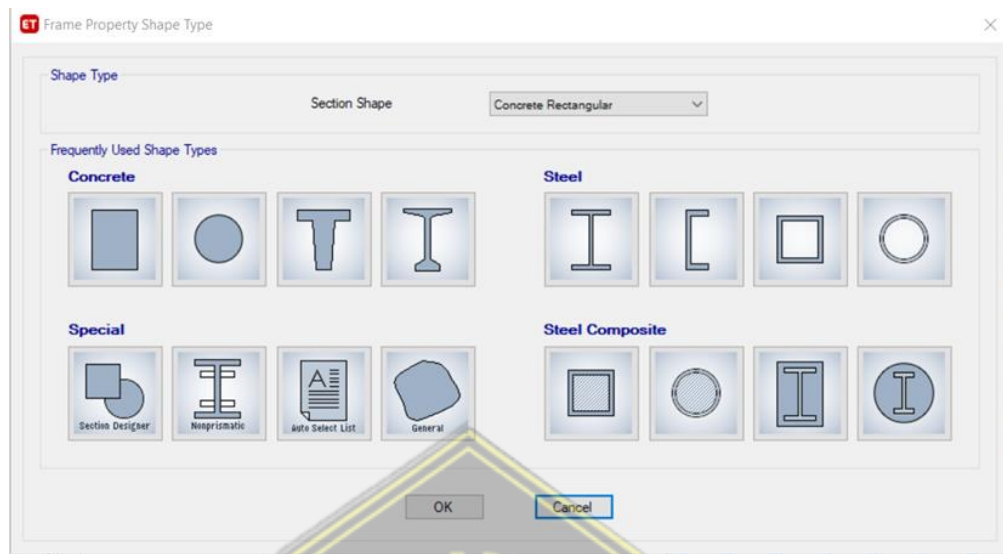
Gambar 3.9 Mutu Baja Profil Fy 420 MPa

3.10 Dimensi Elemen Struktur

3.10.1 Elemen Kolom

Apabila Kalian ingin menghilangkan properti bingkai default ETABS, kalian perlu melakukan tahap – tahap berikut: pilih beberapa properti pada sisi kanan – pilih bagian yang akan anda hapus (pilih semuanya) – Hapus bagian bingkai yang

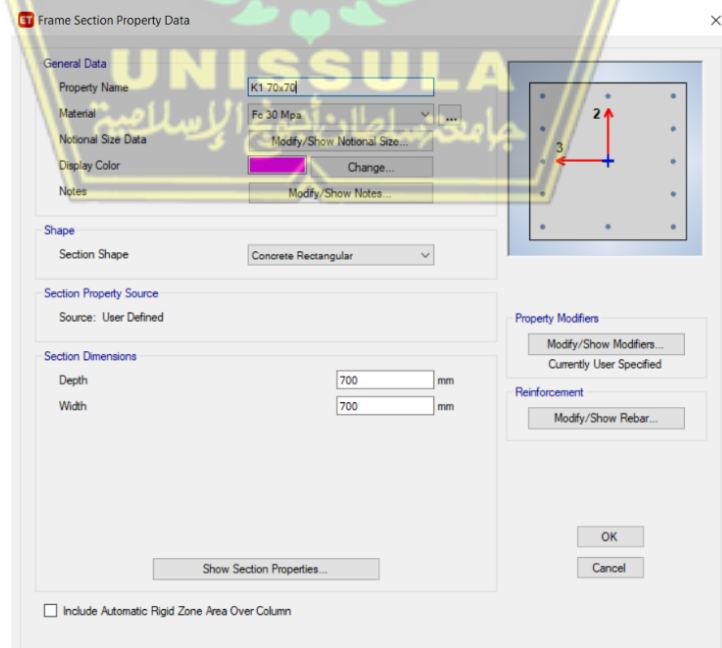
di tentukan – Pilih semua bingkai – bingkai yang telah dipilih hapus bagian – OK.
(Biasanya hanya tersisa satu bingkai default ETABS yang tersisa).



Gambar 3.10 Section shape Concrate

Pada kotak dialog *Frame Section Property Data*:

- *Property Name* : K1 70 x 70
- *Material* : Fc 30 Mpa
- *Display Color* : Untuk merubah warna dapat pilih fitur change
- *Section Dimensions* : Mengisi dimensi Kolom



Gambar 3.11 Input Dimensi Kolom K1 70x70

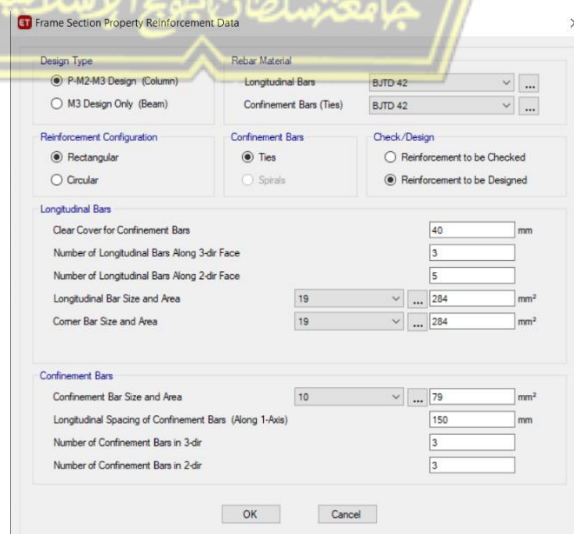
Kemudian pilih tampilan koreksi – Koreksi guna menentukan momen inersia efektif bagian rangka yang telah dibuat – untuk desai seismik, diasumsikan penampang penuh digunakan serta semua properti nilai analisis – Koreksi kekakuan penampang struktur dalam kondisi retak.

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 6.6.3.1.1 waktu getar alami ditentukan dengan menggunakan kondisi penampang retak dari penampang beton bertulang pada struktur yang dimodelkan. Untuk struktur kolom nilai momen inersia penampang kolom diubah menjadi 0,7.



Gambar 3.12 Efektifitas Penampang Kolom

Setelah itu Kemudian klik *Edit/Show Rebar*, lalu akan muncul kotak dialog pada layar seperti gambar berikut ini.



Gambar 3.13 Reinforcment Data Column

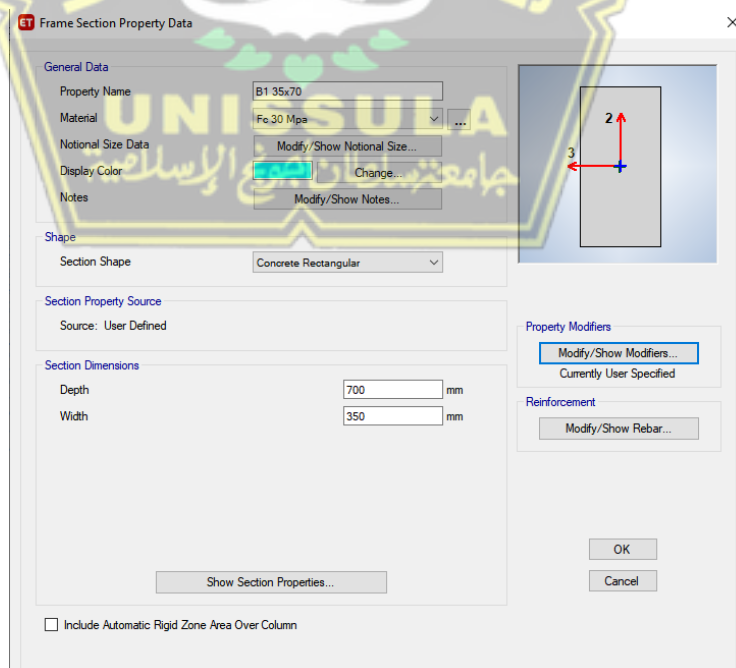
- Jenis Desain : P – M2 – M3 (dipakai kolom)
- Bahan Penguat : Pilih “baja BJTD”
- Konfigurasi gana : *Rectagular* (kolom segi-empat)
- Garis pelindung : *Ties* (tulangan sengkang kotak)
- Desain : *Reinforcement to be designed*
- Penutup transparan : 30 mm (selimut beton minimal)

Jika kalian memilih desain besi pada bagian pemeriksaan / desain, maka angka / nilai yang berisi informasi batang besi akan berbeda pada ETABS default karena batang besi akan dihitung secara terpisah setelah analisis struktur mendapat nilai gaya internal atau data terkait area kebutuhan zat besi, Ini akan diabaikan

3.10.2 Elemen Balok

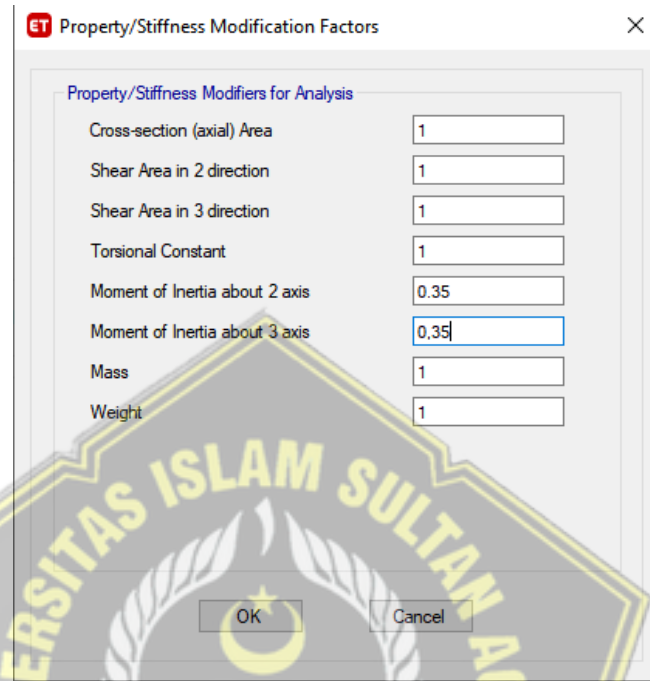
Terlihat pada kotak dialog *Frame Section Property Data*:

Property Name : G1 35x70
Material : Fc 30 Mpa
Display Color : Perubahan warna
Section Dimensions : *Width*, untuk lebar balok = 350 mm
Depth, untuk tinggi balok = 700 mm



Gambar 3.14 *Input Dimensi Beam*

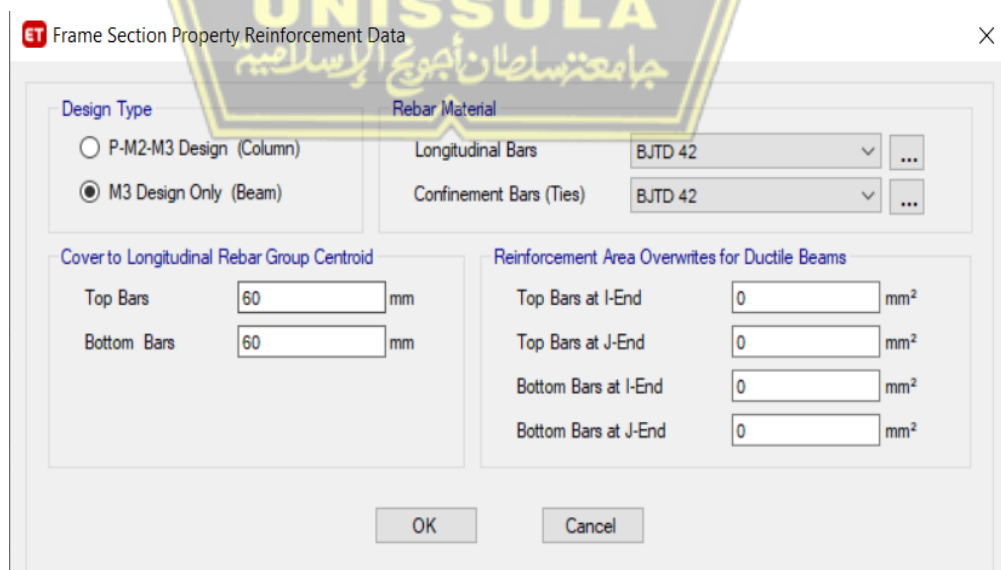
Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 6.6.3.1.1 waktu getar alami ditentukan dengan menggunakan kondisi penampang retak dari penampang beton bertulang pada struktur yang dimodelkan. Untuk struktur balok nilai momen inersia penampang balok diubah menjadi 0,35.



Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.35
Moment of Inertia about 3 axis	0.35
Mass	1
Weight	1

Gambar 3.15 Efektifitas Penampang Balok

Selanjutnya klik *Edit/Show Rebar*, kemudian akan timbul kotak dialog *Frame Section Properties Reinforced Data – Structure Type* (pilih M3 Struktur (Beam) only) – OK.



Design Type		Rebar Material	
☐ P-M2-M3 Design (Column)		Longitudinal Bars	BJTD 42
☒ M3 Design Only (Beam)		Confinement Bars (Ties)	BJTD 42

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid		Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams	
Top Bars	60 mm	Top Bars at I-End	0 mm²
Bottom Bars	60 mm	Top Bars at J-End	0 mm²
		Bottom Bars at I-End	0 mm²
		Bottom Bars at J-End	0 mm²

Gambar 3.16 Reinforcement Data Beam

- *Tipe desain* : M3 Design Only (Beam)
- *Bahan penguat* : Baja BJTD 42
- Penutup tengah dari kelompok tulangan longitudinal;
Top Bars = 60 mm*
Bottom Bars = 60 mm*
- Rentang jarak amplifikasi berlebihan untuk sinar: 0 cm²

3.10.3 Element Pelat

Cara mendesain atau membuat elemen pelat adalah dengan pilih menu pada *Define – Section Properties – Slab Section – Add New Property – Input data – OK*.

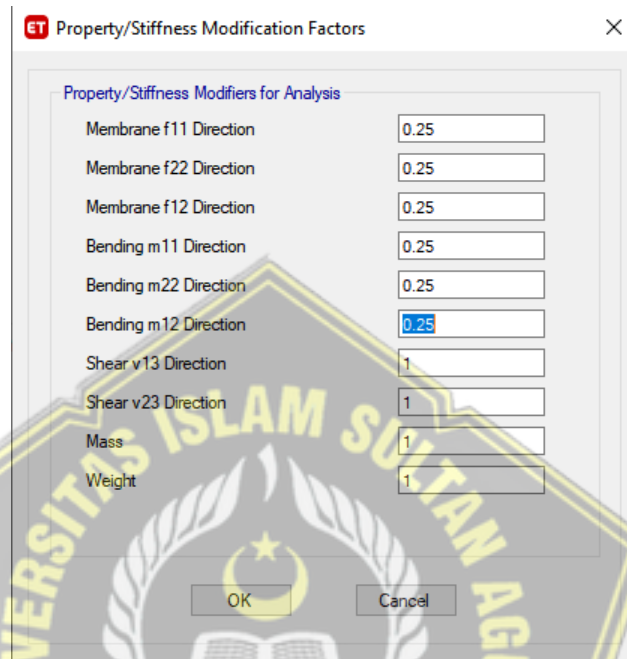


Gambar 3.17 *Data Slab*

Perhatikan bagian General Data:

- *Property Name* : PLAT 13cm
- *Slab Material* : Fc 30 Mpa
- *Modelling Type* : Membrane Shell-Thin

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 6.6.3.1.1 waktu getar alami ditentukan dengan menggunakan kondisi penampang retak dari penampang beton bertulang pada struktur yang dimodelkan. Untuk struktur pelat nilai momen *inersia* penampang pelat diubah menjadi 0,25.



Gambar 3.18 Efektifitas Penampang Pelat

Ubin lantai tipis yang mampu menahan 2 gaya yaitu gaya lentur/momen dan gaya geser/geser. *Shell-Thin* merupakan elemen pelat yang diharapkan mampu menyerap gaya vertikal yang diakibatkan berat gerak dan statis, serta gaya lateral/horizontal akibat gempa.

- Type : Slab
- Thickness : 130 mm

3.11 Penggambaran Elemen Struktur pada Denah

3.11.1 Penggambaran Elemen Kolom

Gambaran elemen yang berbentuk kolom dapat menggunakan icon yang letaknya ada dibagian kiri atas ETABS. Gambaran elemen yang berbentuk kolom K1 70 x 70 memilih jenis yang bisa tampil Lantai 3 pada jendela ETABS menggunakan cara View- Set Plan View – Pilih Lantai 3 – OK.

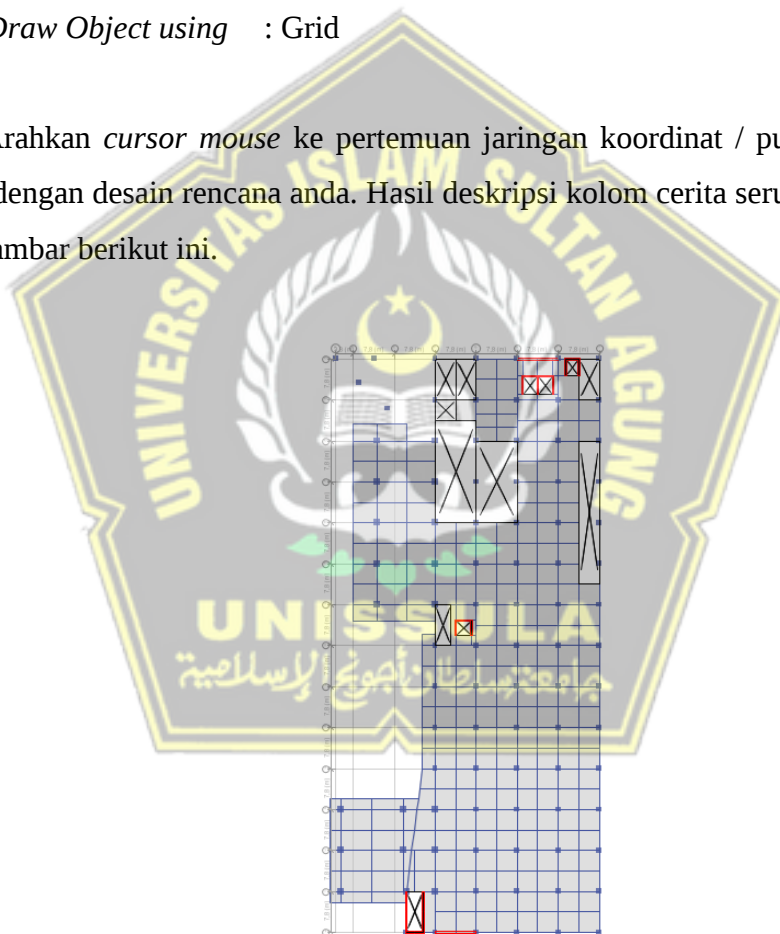
Jika menginginkan untuk menggunakan *icon* pada ETABS dapat memilih

icon yang berada disisi kiri ETABS 

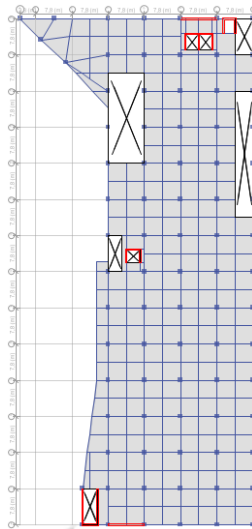
Perhatikan kotak dialog *properties of Object*:

- | | |
|--------------------------|---|
| <i>Property</i> | : Memilih bingkai untuk melakukan gambaran, K1
70 x 70 |
| <i>Momen releases</i> | : Pilih Lanjutkan Untuk |
| <i>Angel, deg</i> | : 0 (yang tidak menggunakan kearah kolom) |
| <i>Cardinal Point</i> | : 5 (middle Center) |
| <i>Draw Object using</i> | : Grid |

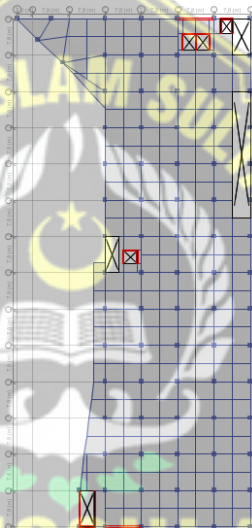
Arahkan *cursor mouse* ke pertemuan jaringan koordinat / pusatkan kolom sesuai dengan desain rencana anda. Hasil deskripsi kolom cerita serupa ditunjukkan pada gambar berikut ini.



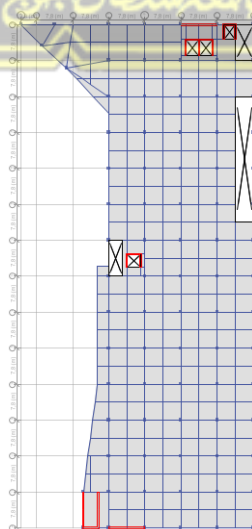
Gambar 3.19 Konfigurasi kolom Lantai 1



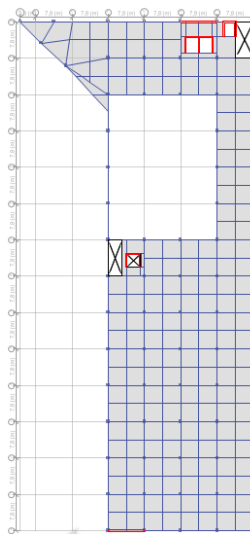
Gambar 3.20 Konfigurasi kolom Lantai 2



Gambar 3.21 Konfigurasi kolom Lantai 3



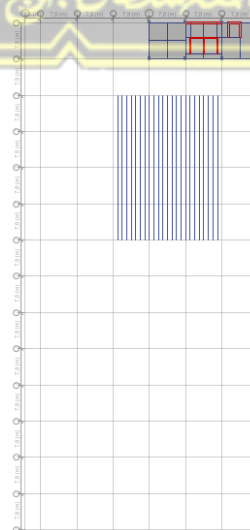
Gambar 3.22 Konfigurasi kolom Lantai 4



Gambar 3.23 Konfigurasi kolom Lantai 5



Gambar 3.24 Konfigurasi Rangka Baja



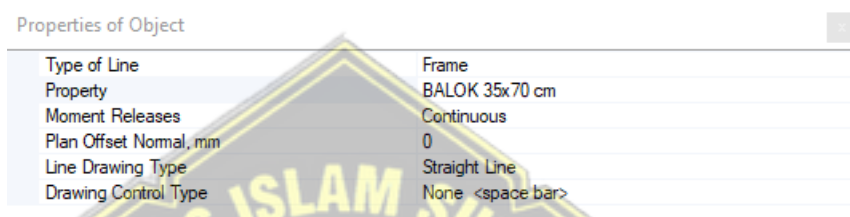
Gambar 3.25 Konfigurasi Atap Dak Beton

3.11.2 Penggambaran Elemen Balok

Pada dialog, klik menu *View- Set Display Options* – dan *Color View* klik *Section Properties* – lalu pilih *Object Assignments* dari tab atas – kemudian dibawah *frame Attributes Check / Select sections* – dan Klik “OK”.

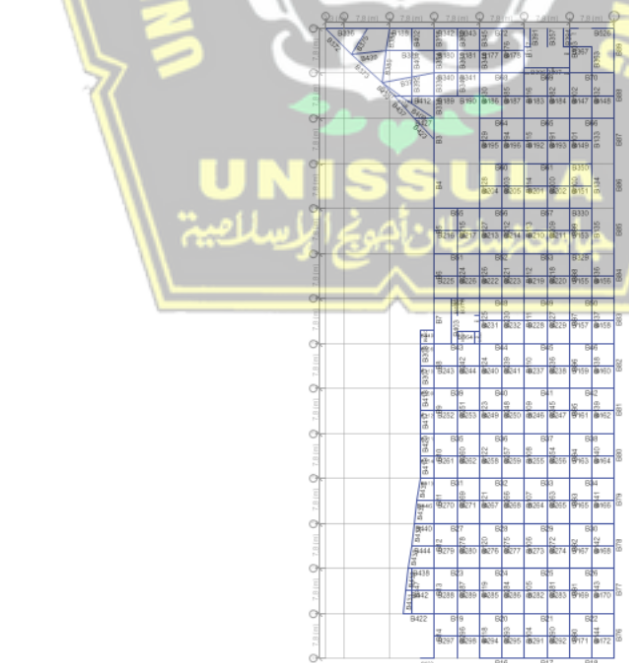
a. Elemen Balok Induk B1 35x70 (Arah X)

Jika ingin menggambar balok tinggi B1 35x70, gunakan menu *Draw – Draw Object Beam/Column/Brackets – Quick Drae Beam/Column (Plan, Student, #D)* – dapat dicek pada box berikut ini.



Gambar 3.26 Properties G1 35x70

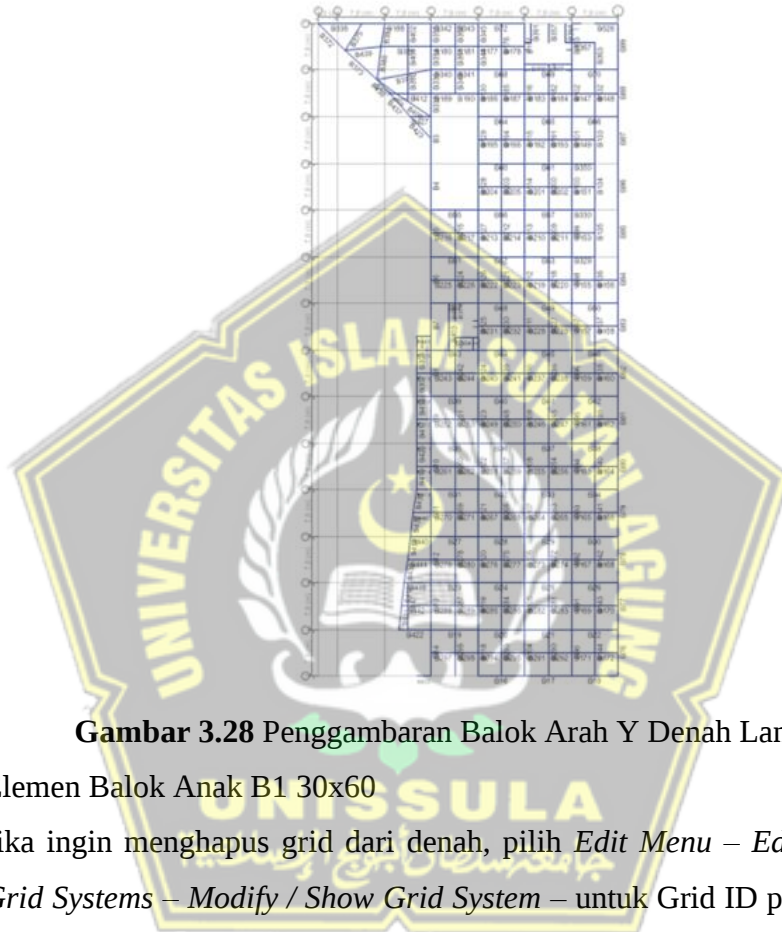
Arahkan kursor kalian ke atas garis petak petak hingga kalian melihat garis putus-putus dibawah, kemudian klik lagi garis tersebut. Tarik elemen balok seperti yang didesain.



Gambar 3.27 Penggambaran Balok Arah X Denah Lantai 2

b. Elemen Balok Induk G1 35x70(Arah Y)

Pada saat menggambar di B1 35x70, menu *Draw* akan dimatikan. Pilih menu *drawing – Draw object beam/Column/ Crack – Draw Beam/Column/Brace object (plan, 2D, Elevation, 3D) – Arahkan kursor diatas titik tengah kolom, lalu gambar sejajar dengan sumbu Y. tengah kolom berikutnya*



Gambar 3.28 Penggambaran Balok Arah Y Denah Lantai 2

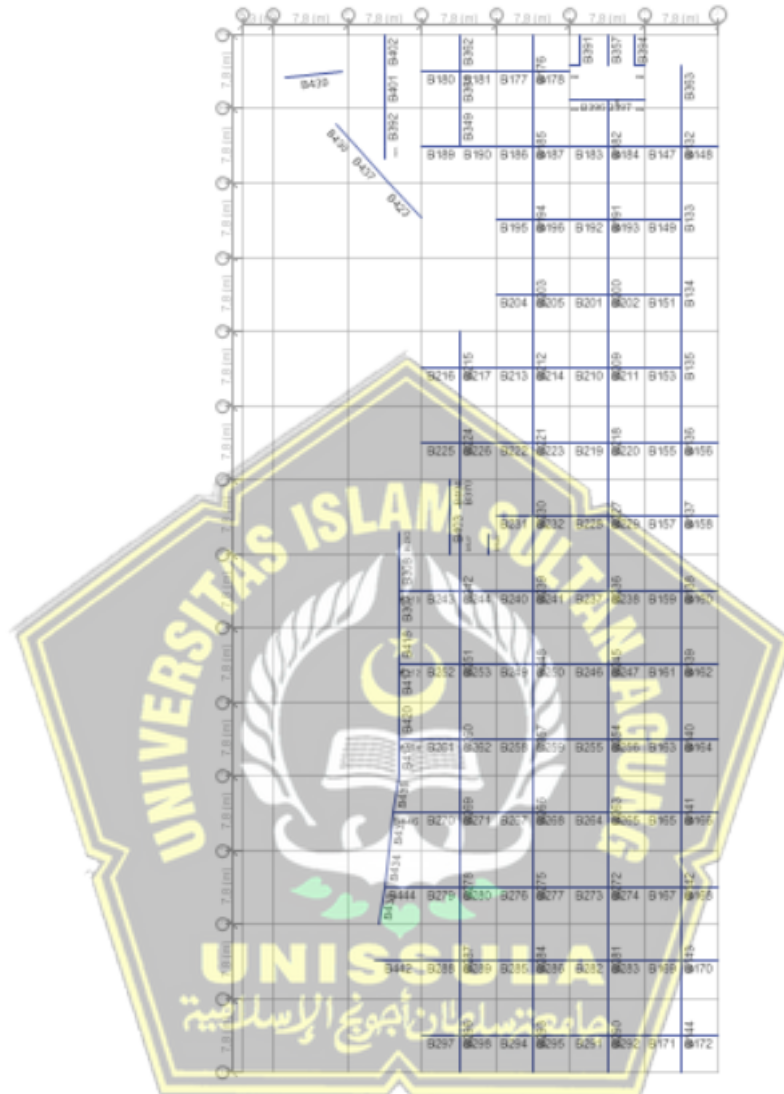
c. Elemen Balok Anak B1 30x60

Jika ingin menghapus grid dari denah, pilih *Edit Menu – Edit Stories and Grid Systems – Modify / Show Grid System –* untuk Grid ID pilih yang akan dihapus pada *Visible Box*, Ubah yang awalnya Yes menjadi No – OK. Drawing dilakukan dengan memilih *Drawing Menu – Drawing Beam/Rows/Supporting elements – Quick Draw Secondary Beams (Plan, 3D)*

Properties of Object	
Type of Line	Frame
Property	BALOK 30x60 cm
Moment Releases	Continuous
Plan Offset Normal, mm	0
Line Drawing Type	Straight Line
Drawing Control Type	None <space bar>

Gambar 3.29 Properties B1 30x60

Pemilihan *moment releases* dipakai sebagai perlakuan pada balok anak engineering *judgement* atau kebijaksanaan dan keputusan yang harus diambil.



Gambar 3.30 Penggambaran Balok Anak Denah Lantai 2

3.11.3 Penggambaran Elemen Pelat

Ditahapan ini digunakan 2 jenis ubin, yaitu yang dipakai untuk lantai dan atap. Grafik dibawah ini, jika kalian hendak menggambar poligon dengan simbol seperti berikut . Pada sisi kiri jendela ETABS, tetapi jika area yang ingin dibuat berbentuk persegi panjang, kita bisa memilih ikon yang mirip dengan ini . Item untuk menggambar pelat pada menu gambar – Menggambar objek

lantai / dinding- pilih mode menggambar yang sama dengan bentuk pelat yang tepat.

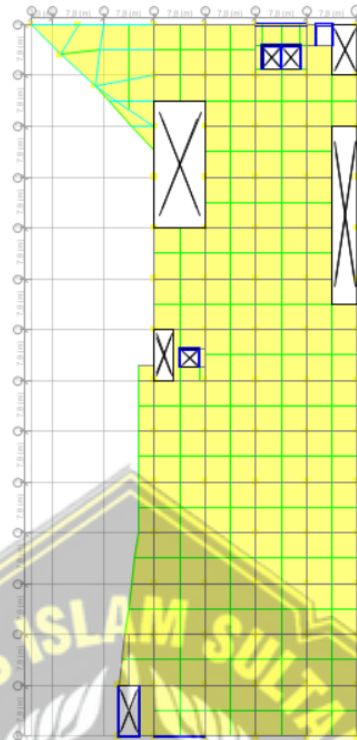
Properties of Object	
Property	PLAT LANTAI
Local Axis	0
X Dimension (if no drag), mm	0
Y Dimension (if no drag), mm	0

Gambar 3.31 *Properties Plat Lantai*

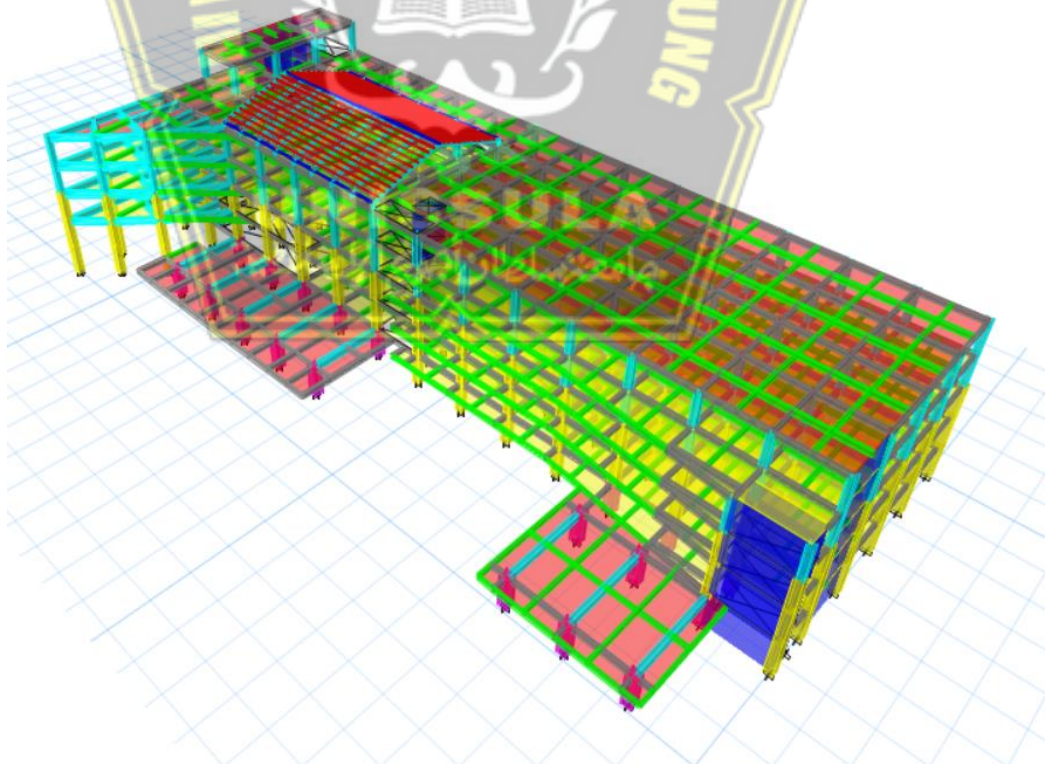


Gambar 3.32 *Penggambaran Plat Lantai Denah Lantai 2*

3.12 Hasil Permodelan Elemen Struktur



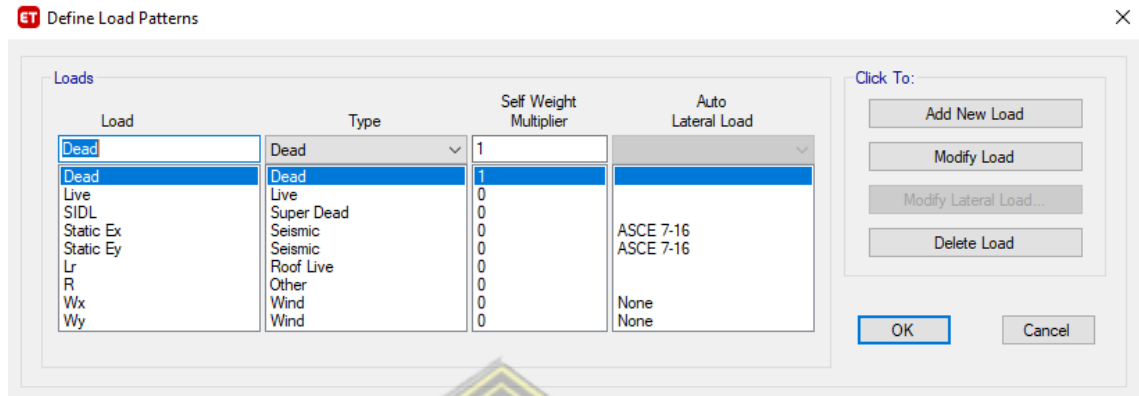
Gambar 3.33 *Plan of 2D Model*



Gambar 3.34 *3D Model View*

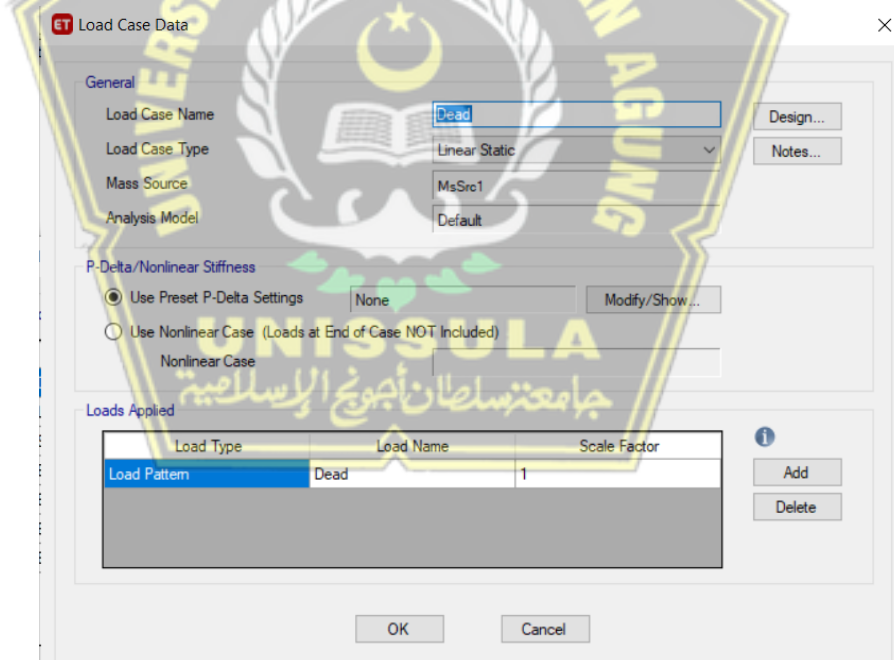
3.13 Input Beban Statik

Informasi beban yang dimasukkan dalam perhitungan ETABS tersedia pada menu Tentukan – Daftar Pola Muat – lihat kotak dialog Pola Muat berikut ini.



Gambar 3.35 Pendefinisian Pola Beban

Selanjutnya pada menu *Define – Load Cases – Modify/Show Case*, kita dapat mengetahui dan melihat pola loading pada hasil inputan.



Gambar 3.36 Load Case Data

Jika pada *Load Patterns* sebelumnya melakukan hal itu dibedakan sebelumnya berat diam (*SuperDead*). Untuk memasukkan beban angin arah X serta arah Y dan berat gerak atap langkahnya juga sama. *Self Weight Multiplier* diisikan dengan nilai 0.

3.14 Perhitungan dan Input Beban Mati Tambahan

(Perhitungan baban mati Tambahan Pelat lantai)

Pasir setebal 1 cm	= 0,16 kN/m ²
Spesi Setebal 3 cm	= 0,66 kN/m ²
Keramik Setebal cm	= 0,22 kN/m ²
Plafond & Penggantung	= 0,2 kN/m ²
ME (Mekanikal & Elektrikal)	= 0,25 kN/m ²
Jumlah	= 1,49 kN/m ²

*Beban dinding bata ringan 0,1 kN/m

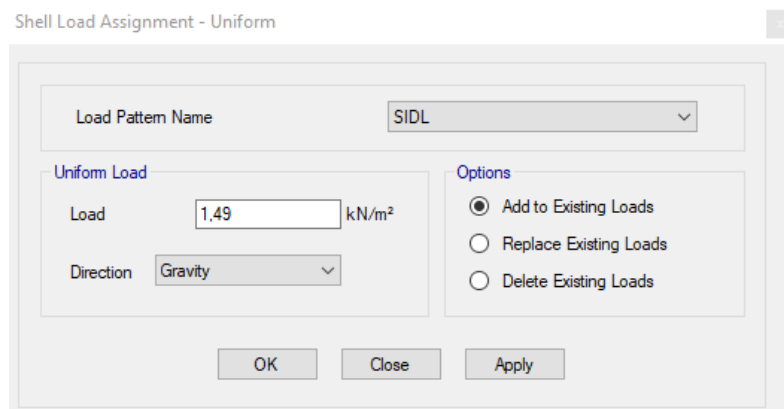
(Perhitungan beban mati tambahan Pelat Atap)

Beban <i>Finishing</i> Beton	= 0,21 kN/m ²
Plafond & Penggantung	= 0,2 kN/m ²
ME (Mekanikal & Elektrikal)	= 0,25 kN/m ²
Beban <i>Waterproofing</i>	= 0,1 kN/m ²
Jumlah	= 0,76 kN/m ³

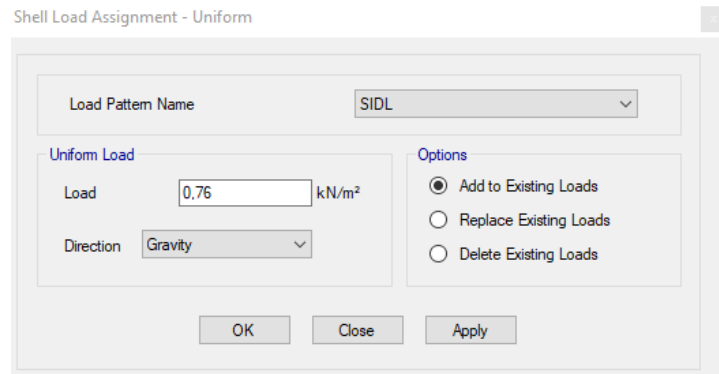
Beban Air Hujan = $0,05 \times 10 \text{ kN/m}^3$ = 0,5 kN/m²

Selanjutnya menghitung beban difrensial, dapat dibagi menjadi beban bagian plat seperti berikut ini:

Pada pilihan Menu – Klik – *Material – Elemen Slab – Klik Lantai / Plafon – Klik – Tutup*. Tetapkan Meenu – *Shell Loader – Dikumpulkan – Muat Input – Bantuan – OK*.



Gambar 3.37 Berat Mati Tambahan Pelat Lantai



Gambar 3.38 Beban Mati Tambahan Pelat atap

3.15 Perhitungan dan Input Beban Hidup

Besar berat beban pada lantai SNI 1727-2020, sebagai berikut:

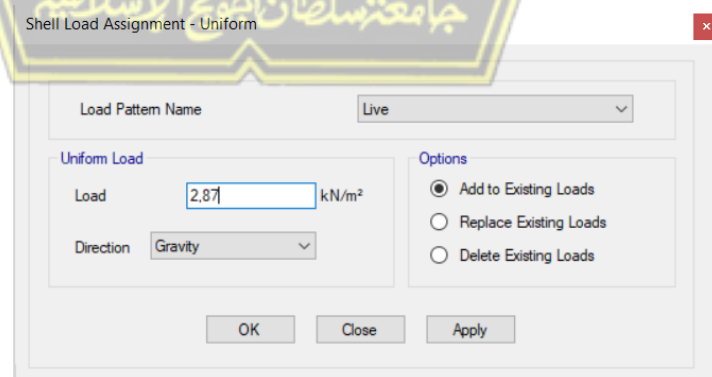
- Ruang Operasi/Laboratorium = 2,87 kN/m²
- Ruang Pasien = 1,92 kN/m²
- Koridor di atas lantai pertama = 3,83 kN/m²
- Lobby = 4,79 kN/m²

Berat beban hidup diatas disalurkan sesuai dengan kegunaan tiap ruangnya masing-masing pada suatu bangunan, selanjutnya didistribusikan sebagai beban area pada pelat dengan cara:

- Contoh Pendistribusian berat beban hidup lantai

Klik Menu – seleksi – Properti – Bagian Permukaan Pelat – Seleksi – Tutup.

Menu Assignment – Load Shell – Uniform – Load Input – Apply – OK.



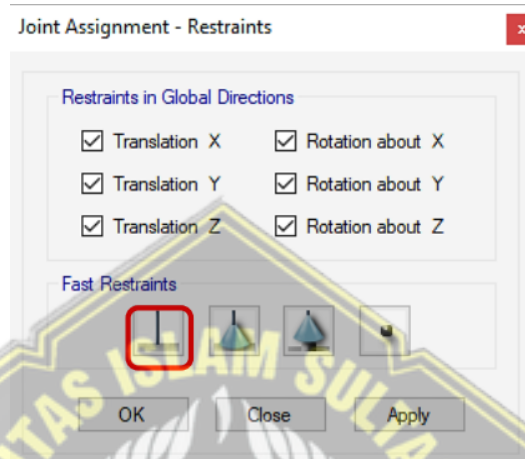
Gambar 3.39 Input Berat Beban Hidup Lantai

Jika menginginkan hasil dari penginputan pembebanan Show Menu – Load Assignment – Shell – klik pola load yang ingin anda lihat – OK.

3.16 Asumsi Dalam Perancangan

3.16.1 Taraf Penjepitan Lateral

Hidupkan One Story di pojok kanan bawah jendela ETABS – *View menu – Set Plan View – Klik Base – OK. Pin all plan to the ground floor – klik menu Assignment – Marge – Constraints – pada bagian Quick Constraints pilih clip (pertama lapangan – Terapkan – OK.*



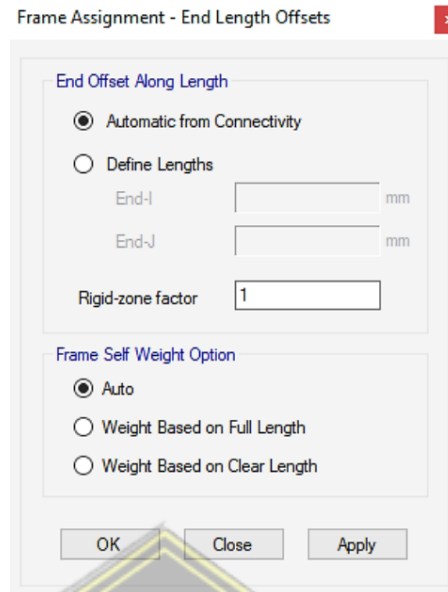
Gambar 3.40 Perletakan Jepit

3.17 Rigid Zone Factor

Rigid Zone Factor dapat dilihat berdasarkan pencapaian kapasitas pada suatu analisis struktur, seperti perincian berikut ini:

$\sum MCOL > 1,2 \sum MBEAM$, $zcol = 1$ dan $zbeam = 0$ (*Strong Column Weak Beam*)

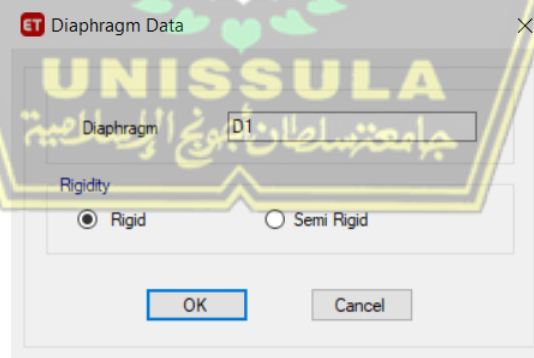
Desain ini plastik, jadi kami memilih konsep balok lemah kolom kuat. Pilih menu “*Selection*”- “*Selection Properties*”- “*Frame Section*”- Pilih semua jenis kolom – “*Selection*”- “*Close*”- Pilih menu “*Assign*”- “*Frame*”- “*End Gap Length*”- ganti keras faktor area ke 1 – “*Terapkan*”- “*OK*”.



Gambar 3.41 Rigid Zone Factor

3.18 Diafragma

Berdasarkan acuan SNI 1726:2019, diafragma di setiap tingkatan lantai adalah membran kaku di semua lever lantai, untuk masuk ke membran lantai klik menu *select* – klik *properties* – *Slab Section* – klik *Slab Type (Slab and Roof)* – Klik *close* – klik Menu *Assignment* – *Shell* – *Membrane* – Klik *D1* – *Modify/Show Definition* – klik *D1* – Klik guna mengubah/menampilkan *aperature* – klik *Hardness* di bawah *Hardness* – OK



Gambar 3.42 Diaphragm Data

3.19 Mass Source

Tetapkan massa total dan beban sesismik yang dihitung melalui software ETABS guna analisis waktu getaran. Pilihan mass source / mass definition diinputkan secara default pada menu “*Definition*” – “*Mass source*” – lalu pada kotak dialog

– kemudian sesuai dengan spesifikasi bangunan. Berdasarkan rencana gempa serta mengacu pada SNI 1726;2019, berat efektif gempa adalah $W_t = DL + LL$.

Gambar 3.43 Mass Souce by Load Patterns

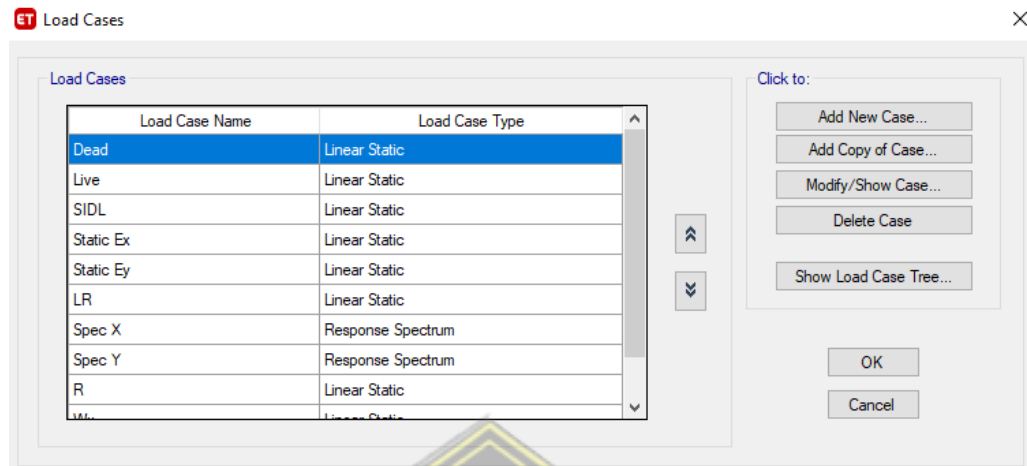
Jika ingin memilih sumber massal menggunakan pola beban yang ditentukan, kalian dapat melakukan hal berikut: Cek pada bagian Pola Beban yang ditentukan dan hilangkan centang pada bagian mess otomatis anggota dan messa tambahan. Lalu lengkapi tabel “Penentuan Koefisien Massa”. Beban termasuk “beban Statis, Beban Statis Tambahan, dan Beban Dinamis – Kira-kira”

- *Element Self Mass* : Massa total terhitung dengan berat mati adalah kolom, balok ataupun pelat
- *Additional Mass* : Massa struktur diperoleh dari beban yang ditambahkan
- *Specified Load Patterns* : Massa total berasal dari beban tertentu

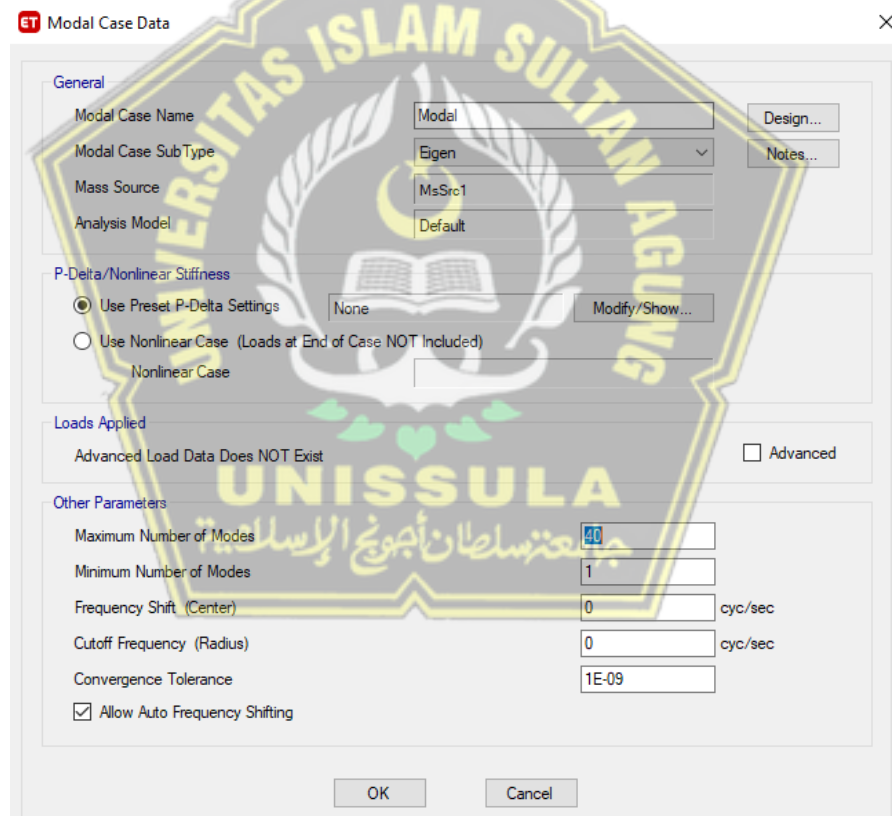
3.20 Modal

Analisi dinamik dalam studi mengenai prilaku vibrasi umum dari suatu struktur dalam baerbagai bentuk. Dalam analisis kali ini, terdapat jumlah modal yang culup guna mencapai ambang batas 90% akan memberikan bobot variasi dalam analisis dinamis, dikareakan analisis hutang cuterwall berdasarkan modek trasportasi primer variabel fundamental akan memberikan arah kontrol sumbu ortogonal “keduanya”. Tetapkan jumlah mode analisis struktur dinamis guna langkah awal ini, dan selanjutnya pertimbangkan jumlah lantai dalam sebuah kunci. Modul untuk membuat jumlah kode adalah seperti berikut: Pilih menu

Definisi – Sisipkan berburu – *Dead/Live* - Ubah / Atur perubahan – Jumlah mode maksimum = 40 – OK.



Gambar 3.44 Modal by Load Cases



Gambar 3.45 Jumlah Mode yang Berkontribusi

3.21 Elemen Struktur Atap

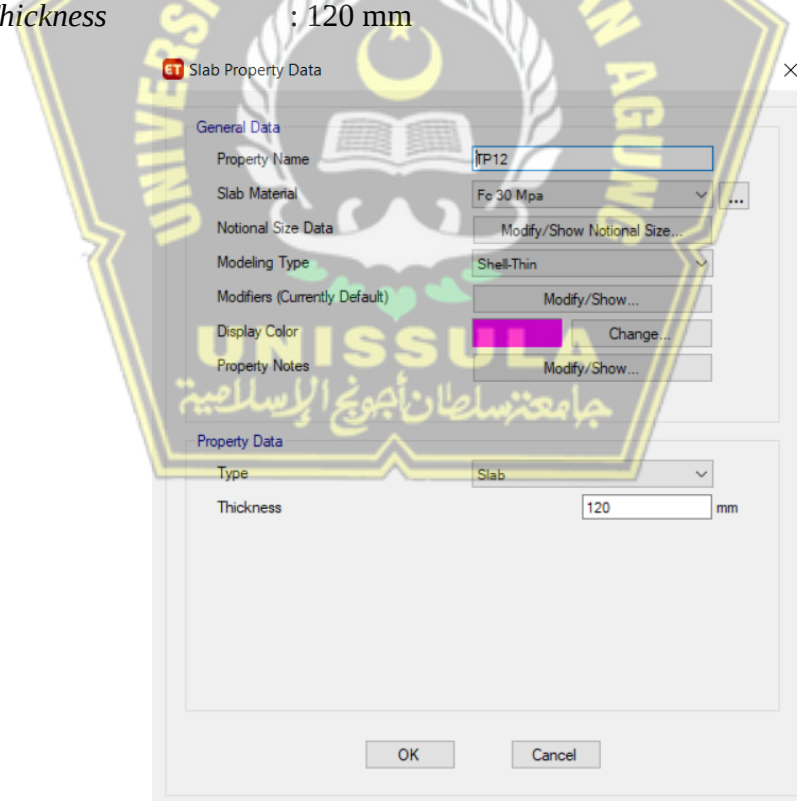
Untuk mengisi elemen struktur atap dak pembuatannya hampir sama dengan pembuatan plat pada lantai, dengan menggunakan menu pada *Define – Section Properties – Slab Seccion – Add New Property – Input data – OK*.

Perhatikan bagian General Data:

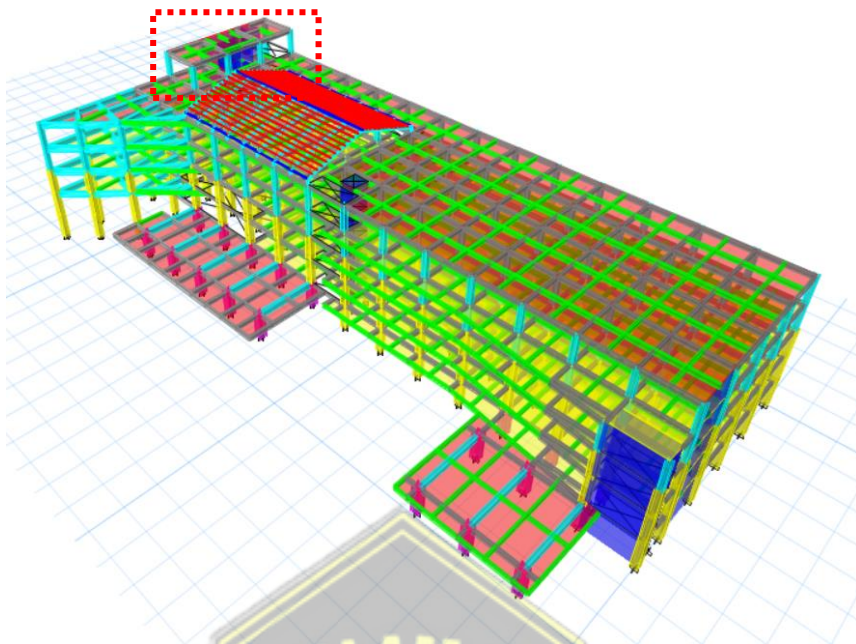
- Nama Barang : TP 12
- Slab Material : Fc 30 Mpa
- Modelling Type : Membrane Shell-Thin

Ubin lantai tipis yang mampu menahan 2 gaya yaitu gaya lentur/momen dan gaya geser/geser. Shell-Thin merupakan elemen pelat yang diharapkan mampu menyerap gaya vertikal yang diakibatkan berat gerak dan statis, serta gaya lateral/horizontal akibat gempa.

- Type : Slab
- Thickness : 120 mm



Gambar 3.46 Data Slab Atap



Gambar 3.47 Gambar Desain Atap Dak

Untuk mengisi elemen struktur untuk atap pilih item menu Define - Component Properties - Frame Components - kemudian dialog Frame Properties muncul. Di area *Frame Buildings* - pilih *Add New Field* - dialog *Frame Properties* akan muncul *Shape Type* - Area Pilih titik untuk melukis - OK. Material yang dapat dipakai :

- IWF 350x175x7x11
- IWF 250x125x6x9
- Gording CNP 150x65x20x2,3
- Bracing D16

Berikut ini merupakan cara input data untuk elemen struktur atap yang akan digunakan langkah-langkahnya antara lain :

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: 00-IWF 350x175x7x11

Material: Baja Profil fy420 MPa

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

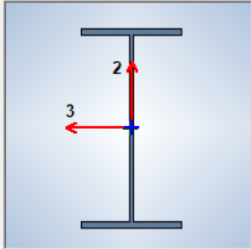
Total Depth	350	mm
Top Flange Width	175	mm
Top Flange Thickness	11	mm
Web Thickness	7	mm
Bottom Flange Width	175	mm
Bottom Flange Thickness	11	mm
Fillet Radius	0	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel



Gambar 3.48 Elemen Atap 350x75x7x11

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	1
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Gambar 3.49 Property/Stiffness Modification Factors 350x175x7x11

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: 00-IWF 250x125x6x9

Material: Baja Profil fy420 MPa

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

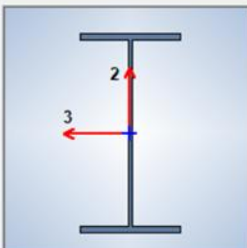
Total Depth	250	mm
Top Flange Width	125	mm
Top Flange Thickness	9	mm
Web Thickness	6	mm
Bottom Flange Width	125	mm
Bottom Flange Thickness	9	mm
Fillet Radius	0	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel



Gambar 3.50 Elemen Atap 250x125x6x9

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	1
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Gambar 3.51 Property/Stiffness Modification Factors 250x125x6x9

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: 00-CNP 150x65x20x2,3

Material: Baja Profil fy420 MPa

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel Channel

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Total Depth: 150 mm

Total Width: 65 mm

Flange Thickness: 2,3 mm

Web Thickness: 2,3 mm

Fillet Radius: 0 mm

Property Modifiers

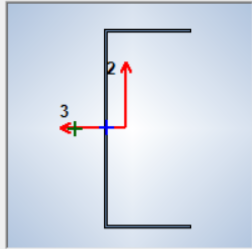
Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Mirror

☐ Mirror About Local 2-Axis

OK Cancel

Show Section Properties...



Gambar 3.52 Elemen Atap CNP 150x65x20x2,3

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area: 1

Shear Area in 2 direction: 1

Shear Area in 3 direction: 1

Torsional Constant: 1

Moment of Inertia about 2 axis: 1

Moment of Inertia about 3 axis: 1

Mass: 1

Weight: 1

OK Cancel



Gambar 3.53 Property/Stiffness Modification Factors CNP 150x65x20x2,3

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: 00-BRACING D16

Material: Baja Profil fy420 MPa

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel Rod

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

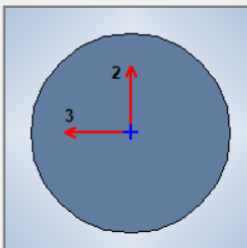
Diameter: 16 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Show Section Properties...



Gambar 3.54 Elemen Atap Bracing D16

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

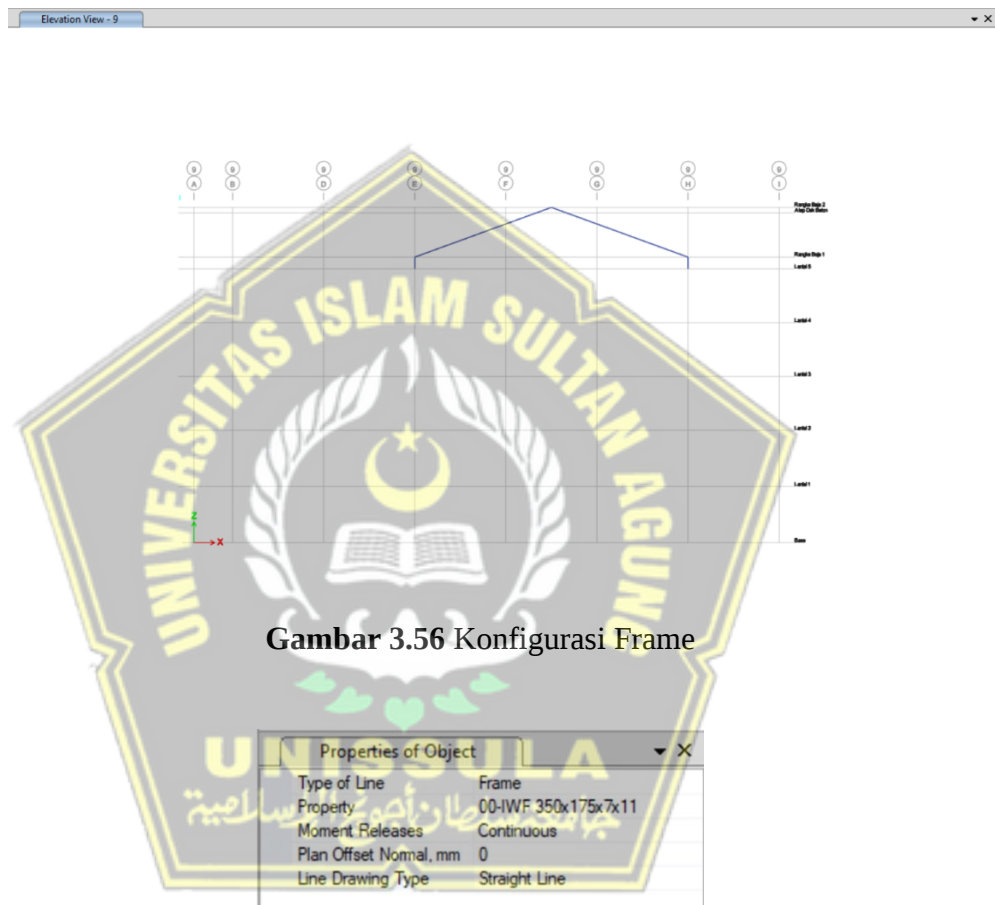
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	1
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Gambar 3.55 Property/Stiffness Modification Factors Bracing D16

3.22 Elemen Struktur Kudu-Kuda

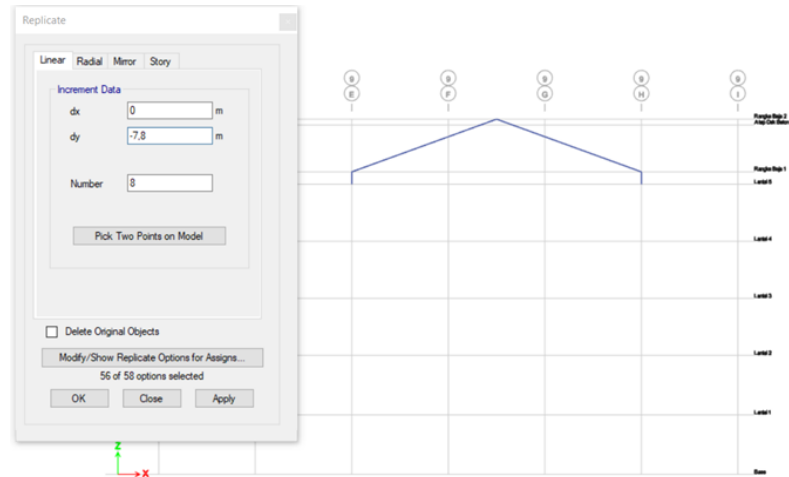
Penggambaran yang pertama adalah IWF dengan melalui pilih menu atau ikon di kiri gizela ETABS. Tampilkan grid 9 untuk set ETABS dengan mengklik *View - Set Elev View* - tampilan grid 9 - OK. Gambarlah dari menu di bawah ini, klik *Draw - Draw - Draw Objek Balok / Kolom / Penjepit - Quick Draw Columns (Student, 3D)*. Jika Anda ingin menggunakan ikon ETABS, Anda dapat memilih ikon ETABS di sisi kiri jendela.



Gambar 3.56 Konfigurasi Frame

Gambar 3.57 Property of object 350x175x7x11

Setelah 1 profil frame kuda – kuda tersusun replicate frame yang telah jadi sebelumnya, pilih frame lalu gunakan perintah “Ctrl + R” atau klik Edit – pilih Replicate. guna mereplication profil frame kuda – kuda sebanyak 8 kali ke arah Y, seperti gambar berikut.

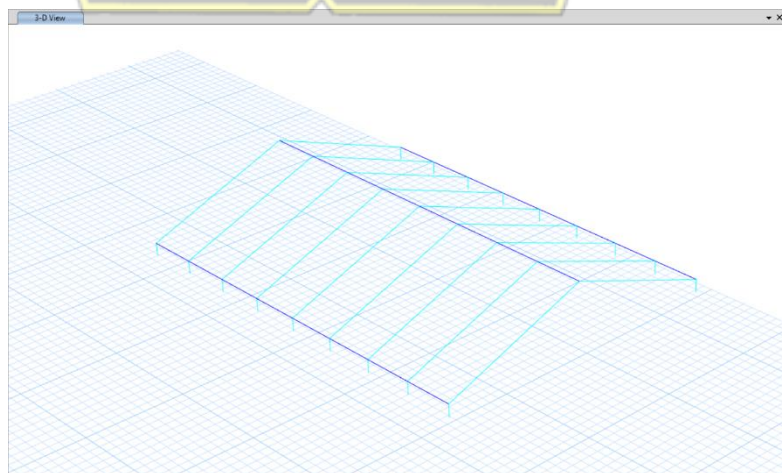


Gambar 3.58 Replicate

Setelah itu hasil permodelan fram kuda – kuda akan seperti pada gambar berikut.

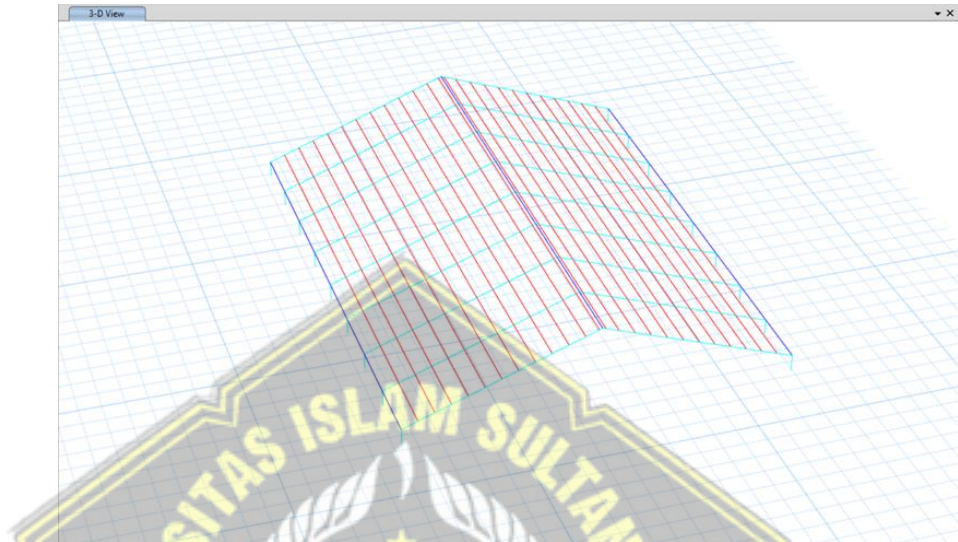


Gambar 3.59 Frame kerangka kuda-kuda

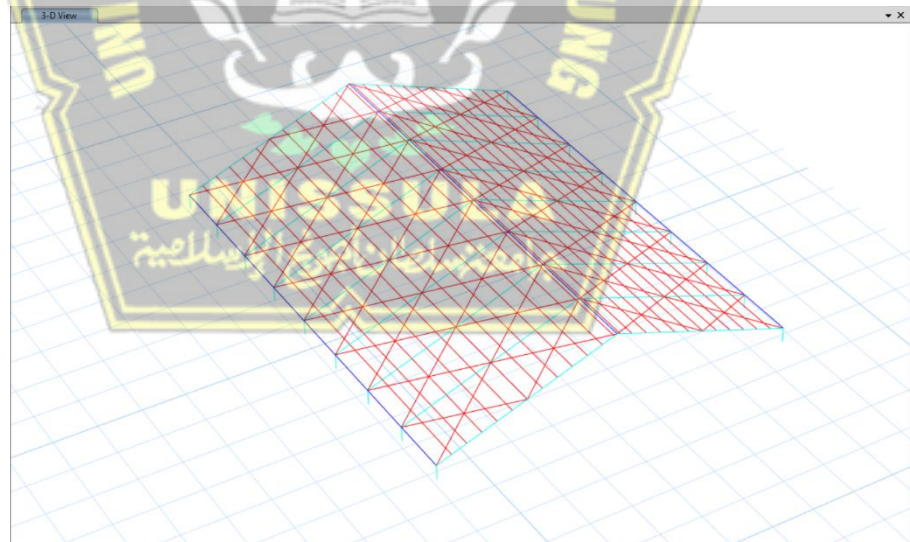


Gambar 3.60 Frame kerangka kuda-kuda lengkap

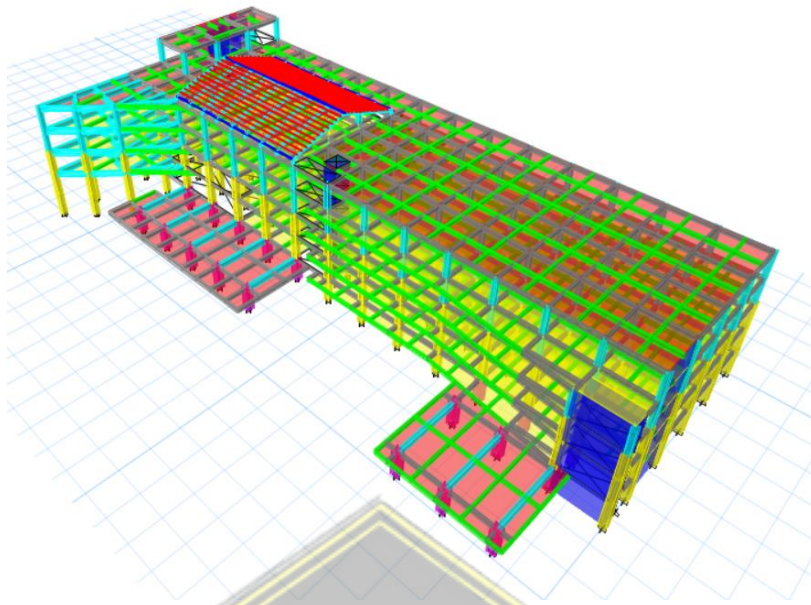
Setelah selesai untuk membuat frame kerangka kuda-kuda secara lengkap, kemudian kita akan membuat gording dan bracingnya. Untuk cara pembuatan/pemodelan dua elemen atap ini sama, yaitu dengan pilih menu *Draw - Draw Beam/Column/Brace Objects - (Plan, Elev, 3D)*. Gambar diseluruh bagian gording hingga saling menutup dan membentuk pola.



Gambar 3.61 Gording CNP 150x65x20x2,3



Gambar 3.62 Bracing D16



Gambar 3.63 3D Model View All Structure

3.23 Perencanaan Pembebanan Kuda-Kuda

Data Perencanaan :

- Bentang kuda-kuda : 23,4 m
- Jarak antar kuda-kuda : 3,9 m
- Kemiringan atap : 15°
- Jarak Gording : 1,05 m
- Penutup atap : Galvalume Lapis Emulsi

Perhitungan Pembebanan:

a. Beban Hidup

- Beban Pekerja 100 kg/m
- Beban Akibat Air Hujan

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Hujan} &= (40 - 0.8\alpha) \text{ kg/m}^2 \times \text{Jarak antar kuda-kuda} \\
 &= (40 - 0.8 \times 20) \text{ kg/m}^2 \times 3,9 \\
 &= 24 \times 3,9 \\
 &= 93,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban SIDL

Beban akibat berat material atap :

- Material Atap Galvalume tebal 0,4 mm = 3,92 kg/m²
- Beban penutup atap = 3,92 x Jarak antar kuda-kuda
= 3,92 x 3,9
= 15,288 kg/m

c. Beban Angin

Asumsi beban angin yang bekerja adalah 25kg/m² (untuk bangunan berjarak lebih dari 5 km dari pantai)

- Beban Angin Tekan

$$\begin{aligned}\text{Koefisien } (C_q) &= (0,02 \times \alpha) - 0,4 \\ &= (0,02 \times 20) - 0,4 \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban angin tekan} &= \text{Koefisien} \times \text{Jarak antar kuda-kuda} \times \text{Beban Angin} \\ &= 0 \times 3,9 \times 25 \\ &= 0 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban Angin Hisap

$$\text{Koefisien} = -0,4$$

$$\begin{aligned}\text{Beban angin tekan} &= \text{Koefisien} \times \text{Jarak antar kuda-kuda} \times \text{Beban Angin} \\ &= -0,4 \times 3,9 \times 25 \\ &= -39 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

3.24 Elemen Struktur Dinding Geser (Shear Wall)

Untuk membuat elemen struktur dinding geser (Shear Wall) dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut. *Define – Section Properties – Wall Section – Add New Property – Input data – OK.*

- Nama Section : Dinding Geser
- Slab Material : Fc 30 Mpa
- Modelling Type : Shell-Thick
- Thickness : 300mm

Gambar 3.64 *Input Data Dinding Geser*

Pada struktur dinding geser umumnya tidak didesain untuk memikul *out of plane* bending guna menghindari kebutuhan tulangan longitudinal yang berlebih. Untuk mnanggulangi hal ini maka digunakan *factor modifier* penampang yang kecil (m_{11} , m_{22} , $m_{12} = 0,1$), sehingga dapat menghindari *instabilisasi* perhitungan *numeric*.

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Direction	0,35
Membrane f22 Direction	0,35
Membrane f12 Direction	1
Bending m11 Direction	0,1
Bending m22 Direction	0,1
Bending m12 Direction	0,1
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

Gambar 3.65 *Efektifitas Penampang Dinding Geser*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Deskripsi Umum Struktur

Gedung bertingkat dengan tinggi 5 lantai akan dimodelkan dengan 4 jenis pemodelan. Pada model pertama, akan dimodelkan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada model kedua sebagai Sistem Ganda, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Sementara, pada model ketiga berdasarkan model kedua dengan ditambahkan kolom keliling. Pemodelan dilakukan sesuai dengan standar SNI 1726:2019.

Bangunan ini berfungsi sebagai gedung perkuliahan yang berlokasi di Banda Aceh, Aceh. Bangunan ini terdiri dari 5 lantai yang berfungsi sebagai bangunan Rumah Sakit. Secara umum, bangunan ini dirancang dengan material beton bertulang. Bangunan ini berbentuk persegi panjang dengan ketinggian total 28,18 meter. Data model struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 4.1.

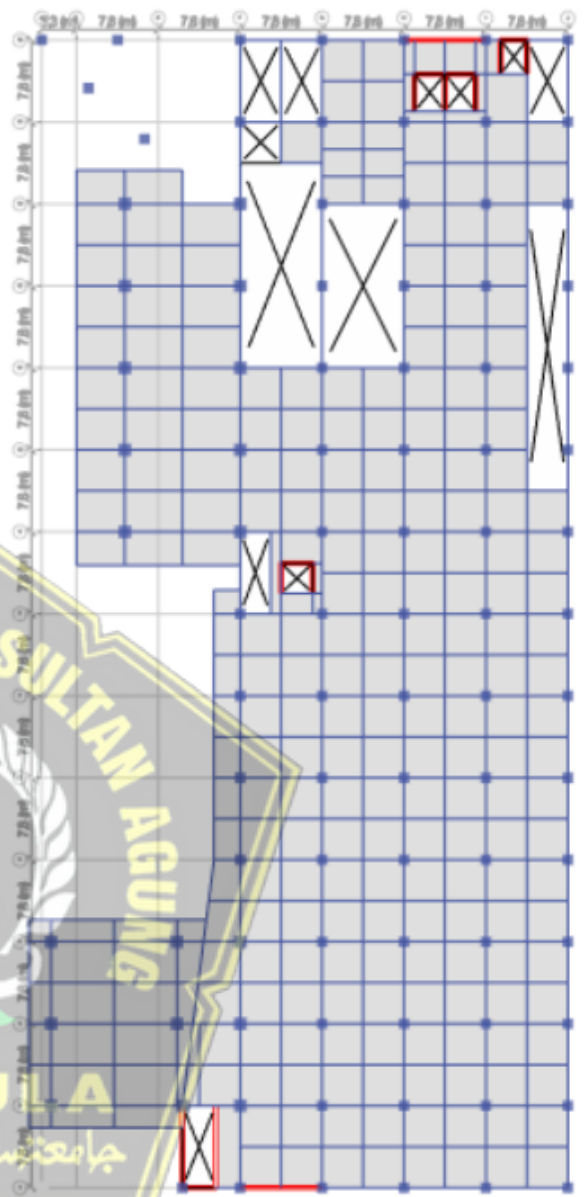
Tabel 4. 1. Data Model Struktur Gedung

Fungsi Bangunan	: Gedung Rumah Sakit
Lokasi	: Kopelma Darussalam, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Aceh
Jumlah Lantai	: 5 Lantai
Tinggi Total	: 28,18 m
Sistem Struktur 1	: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
Sistem Struktur 2	: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
Sistem Struktur 3	: Sistem Ganda (SRPMK dan SDSK)
Sistem Struktur 4	: Sistem Ganda (SRPMK dan SDSK)

Berikut denah arsitektur dari gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 1. Denah Lantai Gedung Rumah Sakit 5 Lantai Di Banda Aceh, Aceh



Gambar 4. 2. Denah Lantai 1-5 Pemodelan Awal

Berikut data tinggi antar lantai dan spesifikasi material yang digunakan :

- Tinggi antar lantai, sesuai Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Tinggi Antar Lantai Bangunan

Lantai	Tinggi Antar Lantai (m)
Lantai 1	4,8
Lantai 2	4,8
Lantai 3	4,6
Lantai 4	4,6
Lantai 5	4,6
Atap Dak Beton	4,78

- Spesifikasi material yang digunakan :

- 1) Mutu Baja Tulangan, sesuai Tabel 4.3

Tabel 4. 3. Mutu Baja Tulangan

No	Jenis Tulangan	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{ye} (MPa)	f_{ue} (MPa)
1	BJTS ($D \geq 10$ mm)	420	620	462	682

- 2) Mutu Beton, sesuai Tabel 4.4 dan Tabel 4.5

- a) Balok dan Pelat

Tabel 4. 4. Mutu Beton Balok dan Pelat

f'_c	30	MPa
E	25742,96	MPa

- b) Kolom dan Dinding Geser, sesuai Tabel 4.5

Tabel 4. 5. Mutu Beton Kolom dan Dinding Geser

f'_c	30	MPa
E	25742,96	MPa

Perhitungan Modulus Elastisitas (E) diperoleh berdasarkan Persamaan

4.1

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (4.1)$$

4.1.2. Perencanaan Awal Dimensi Struktur (*Preliminary Design*)

Perencanaan awal dimensi pada elemen struktur (*preliminary design*) merupakan tahap awal perencanaan bangunan struktur tahan gempa berupa penentuan dimensi awal dari masing-masing elemen struktur berdasarkan standar SNI 2847:2019, yaitu Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

4.1.2.1. *Preliminary* Elemen Pelat

Perancangan awal dimensi pelat mengacu kepada panjang bentang rencana. Menurut SNI 2847:2019 Pasal 7.3 dan 8.3, standar minimum dimensi pelat 1 arah dan 2 arah dicantumkan pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4. 6. Tebal Minimum Pelat 1 Arah

Kondisi Perlekatan	Tebal minimum pelat (h) ^[1]
Perlekatan Sederhana	$L/20$
Satu ujung menerus	$L/24$
Kedua ujung menerus	$L/28$
Kantilever	$L/10$

(sumber : Tabel 7.3.1.1 SNI 2847:2019)

Catatan:

L merupakan panjang bentang dalam mm

^[1]Berlaku untuk berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk kasus lain :

- 1) Untuk $f_y > 420$ MPa, persamaan pada Tabel 4.3 wajib dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$
- 2) Untuk pelat non prategang dari beton ringan dengan $w_c = 1440$ sampai 1840 kg/m³, persamaan pada Tabel 4.3 wajib dikalikan dengan nilai terbesar dari : a) $1,65 - 0,0003 w_c$ dan b) $1,09$

Tabel 4. 7. Tebal Minimum Pelat 2 Arah

f_y (MPa) ^[1]	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
420	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
520	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$

(sumber : Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019)

Pada penentuan tebal minimum untuk pelat 1 arah, yakni perbandingan sisi terpanjang dengan sisi terpendek lebih besar dari 2 digunakan rumus $L/28$ dengan L adalah sisi terpendek pelat. Sementara, pada penentuan tebal minimum untuk pelat 2 arah, yakni perbandingan sisi terpanjang dengan sisi terpendek lebih kecil dari 2 digunakan rumus $L_n/33$ dengan L_n adalah jarak bersih ke arah memanjang yang diukur dari muka ke muka tumpuan.

Maka Dimensi pelat yang digunakan pada gedung Rumah Sakit 5 Lantai ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 8. Dimensi Pelat Yang Dipakai

No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1	Lantai	130
2	Atap	120

4.1.2.2. Preliminary Elemen Balok

Pada perhitungan dimensi awal elemen balok, digunakan rumus tinggi balok minimum untuk Balok Induk adalah $L/14$ dan untuk Balok Anak adalah $L/16$. Selanjutnya, untuk nilai lebar balok, digunakan rumus $H/2$. Tipe balok yang digunakan adalah balok persegi panjang.

Hasil *preliminary* elemen balok dapat diketahui berdasarkan Tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4. 9. Hasil *Preliminary* Elemen Balok

Nama	Status Balok	Tipe Balok	L (mm)	H_{min}	$H_{dipakai}$	B_{min}	$B_{dipakai}$
G1	Induk	Persegi panjang	7800	557	600	300	300
G2	Induk	Persegi panjang	11000	786	800	400	400
B1	Anak	Persegi panjang	3900	244	300	200	200

4.1.2.3. Preliminary Elemen Kolom

Pada SNI 2847:2019, R10.3.1 batasan dimensi ukuran minimum eksplisit pada kolom tidak ditentukan sehingga penggunaan kolom beton bertulang dengan penampang kecil untuk struktur dengan beban ringan diizinkan, seperti rumah

tinggal dengan lantai rendah dan bangunan kantor sederhana. Jika penampang kecil dipakai, diperlukan ketelitian pekerjaan lebih baik, dan tegangan susut meningkat secara signifikan. Dimensi kolom yang digunakan pada Struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 10. Hasil *Preliminary* Elemen Kolom

No	Nama Kolom	Lebar Penampang Kolom (mm)	Tinggi Penampang Kolom (mm)
1	K1	120	120
2	K2	100	100
3	K3	70	70

4.1.2.4. *Preliminary* Elemen Dinding Geser

Dinding Geser merupakan elemen struktur yang umum digunakan dalam perancangan bangunan tinggi tahan gempa karena kekakuan Dinding Geser yang besar sehingga energi yang dapat diserap oleh Dinding Geser besar.

Dinding Geser memiliki ketebalan yang sama di sepanjang tinggi bangunan. Tebal Dinding geser direncanakan berdasarkan tinggi per lantai (h_w) terbesar dibagi 25 atau panjang dinding geser (L_w) dibagi 25, Diantara nilai tersebut dipilih yang terkecil dan tidak boleh lebih kecil dari 100 mm. Menurut SNI 2847:2019 Pasal 11.3, standar minimum tebal dinding dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11. Tebal Minimum Dinding Geser

Tipe dinding		Ketebalan minimum (h)	
Tumpu	Terbesar dari	100 mm	(a)
		1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(b)
Bukan tumpu	Terbesar dari	100 mm	(c)
		1/30 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(d)
Basemen dan fondasi eksterior		190 mm	(e)

(sumber : Tabel 11.3.1.1 SNI 2847:2019)

Berikut perhitungan ketebalan Dinding Geser :

- $t \text{ dinding} = \frac{h_w}{25} = \frac{4800}{25} = 192 \text{ mm}$
- $t \text{ dinding} = \frac{l_w}{25} = \frac{7800}{25} = 312 \text{ mm}$

Syarat kedua untuk tebal minimum elemen Dinding Geser berdasarkan Pasal 18.8.5 pada SNI 2847:2019, yaitu untuk panjang penyaluran (l_{dh}) dihitung berdasarkan Persamaan 4.2.

$$l_{dh} = \frac{f_y \times d_b}{5,4 \lambda \times \sqrt{f_c'}} \dots\dots\dots (4.2)$$

Sedangkan untuk mencari tebal minimum dinding dihitung berdasarkan Persamaan 4.3.

$$\text{Tebal minimum} = l_{dh} + t_{cover} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan:

- f_y = kekuatan leleh tulangan (MPa)
- d_b = diameter nominal batang tulangan (mm)
- λ = faktor modifikasi (0,75 untuk beton ringan, 1 untuk beton normal)
- f_c' = kuat tekan beton (MPa)
- t_{cover} = tebal *cover* dinding (mm)

Untuk tebal minimum Dinding Geser berdasarkan syarat kedua ini, yakni dengan menjumlahkan l_{dh} dengan tebal *cover* Dinding Geser yang digunakan.

- $l_{dh} = \frac{420 \times 16}{5,4 \times 1 \times \sqrt{30}} = 227,18 \text{ mm}$
- $t_{cover} = 40 \text{ mm}$

$$\text{Tebal minimum Dinding Geser} = l_{dh} + t_{selimut} = 267,18 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dimensi tebal Dinding Geser yang digunakan dalam *preliminary* adalah 300 mm.

4.2. Pemodelan Elemen Struktur

Pemodelan elemen struktur terdiri dari lima bagian, yaitu pemodelan pelat, pemodelan balok, pemodelan kolom, pemodelan Dinding Geser dan pemodelan pondasi.

4.2.1. Pemodelan Pelat

Pemodelan awal pelat satu arah dan dua arah menggunakan program ETABS dengan memodelkan sebagai *slab* dengan *shell-thin*. Berdasarkan *preliminary* desain, tebal pelat yang digunakan adalah 130 mm untuk pelat lantai dan 120 mm untuk pelat atap. Untuk memperhitungkan pengaruh keretakan beton ketika terjadinya gempa, momen inersia penampang pelat dan torsi direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur.

Elemen pelat akan dimodelkan *semi-rigid* pada program ETABS untuk menghitung gaya yang bekerja pada pelat.

4.2.2. Pemodelan Balok

Balok akan dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan *rigid joint* sehingga momen-momen maksimum tempat terbentuknya sendi plastis berada di ujung-ujung balok. Terdapat dua elemen balok yang dimodelkan, yaitu balok induk dan balok anak. Dimensi balok yang digunakan dalam desain dapat dilihat pada Tabel 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4. 12. Dimensi Balok Setelah Pengecekan

Nama	Status Balok	Tipe Balok	L (mm)	H _{dipakai}	B _{dipakai}
G1	Induk	Persegi panjang	7800	700	350
G2	Induk	Persegi panjang	11000	1000	500
B1	Anak	Persegi panjang	3900	600	300

Untuk memperhitungkan pengaruh keretakan beton ketika gempa terjadi, momen inersia dari penampang balok dan torsi direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur.

4.2.3. Pemodelan Kolom

Perancangan bangunan ini menggunakan empat tipe dimensi kolom dengan perbedaan dimensi setiap dua lantai. Kolom dimodelkan sebagai *frame* dan ujung-ujung kolom didesain jepit-jepit. Pada elemen kolom, momen inersia efektif kolom direduksi hingga 70% dari momen inersia awal untuk memperhitungkan keretakan beton akibat gempa. Torsi juga direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur. Dimensi kolom yang digunakan dalam desain dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Dimensi Kolom Setelah Pengecekan

Lokasi	Tipe	Dimensi Kolom Sisi Horizontal	Dimensi Kolom Sisi Vertikal
		mm	mm
Lantai 1	K1	1200	1200
Lantai 1-3	K2	1000	1000
Lantai 4-5	K3	700	700

4.2.4. Pemodelan Dinding Geser

Dinding Geser dimodelkan dengan ketebalan yang sama di sepanjang tinggi bangunan. Dengan bantuan program ETABS, Dinding Geser dimodelkan sebagai elemen *wall* dengan tipe *shell-thick*. Selanjutnya akan dilakukan pengecekan dengan menggunakan program *SPColumn* untuk mengecek kapasitas Dinding Geser. Berikut dimensi Dinding Geser yang digunakan dalam desain yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Dimensi Dinding Geser Setelah Pengecekan

Tipe	Jumlah	Tebal
		mm
SW 01	1	300
SW 02	1	300
SW 03	1	300
SW 04	1	300
SW 05	1	300
SW 06	1	300

Untuk memperhitungkan pengaruh keretakan beton (*cracking*) , Momen Inersia penampang Dinding Geser efektif diambil sebesar 70% dari Momen Inersia jika kondisi tidak retak atau 35% dari Momen Inersia penampang Dinding Geser efektif adalah sebesar 70%, kemudian nantinya dilakukan pengecekan masing - masing Dinding Geser. Torsi juga direduksi sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur.

4.2.5. Pemodelan Pondasi

Pondasi merupakan kerangka bangunan bagian bawah yang memiliki fungsi untuk menyalurkan beban-beban bangunan di atasnya ke tanah pendukung di bawahnya. Melakukan perancangan pondasi dari suatu kerangka bangunan mempertimbangkan berbagai hal diantaranya adalah jenis tanah, kondisi dan kerangka dari tanah di lokasi yang akan dibangun. Perencanaan yang baik dapat menghasilkan pondasi yang aman, efisien dan ekonomis dalam pelaksanaannya, uraian untuk Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Tipe Pondasi Pada Kolom

Tipe	Diameter	Kedalaman	Panjang 1 Tiang	Tebal <i>Pile Cap</i>
		(m)	(m)	(cm)
1	600	45	12	80
2	600	45	12	80
3	600	45	12	80

Tabel 4.16. Tipe Pondasi Pada Dinding Geser

Tipe	Diameter	Kedalaman	Panjang 1 Tiang	Tebal <i>Pile Cap</i>
		(m)	(m)	(cm)
1	600	45	12	80
2	600	45	12	80
3	600	45	12	80
4	600	45	12	80

4.3. Pemodelan Struktur

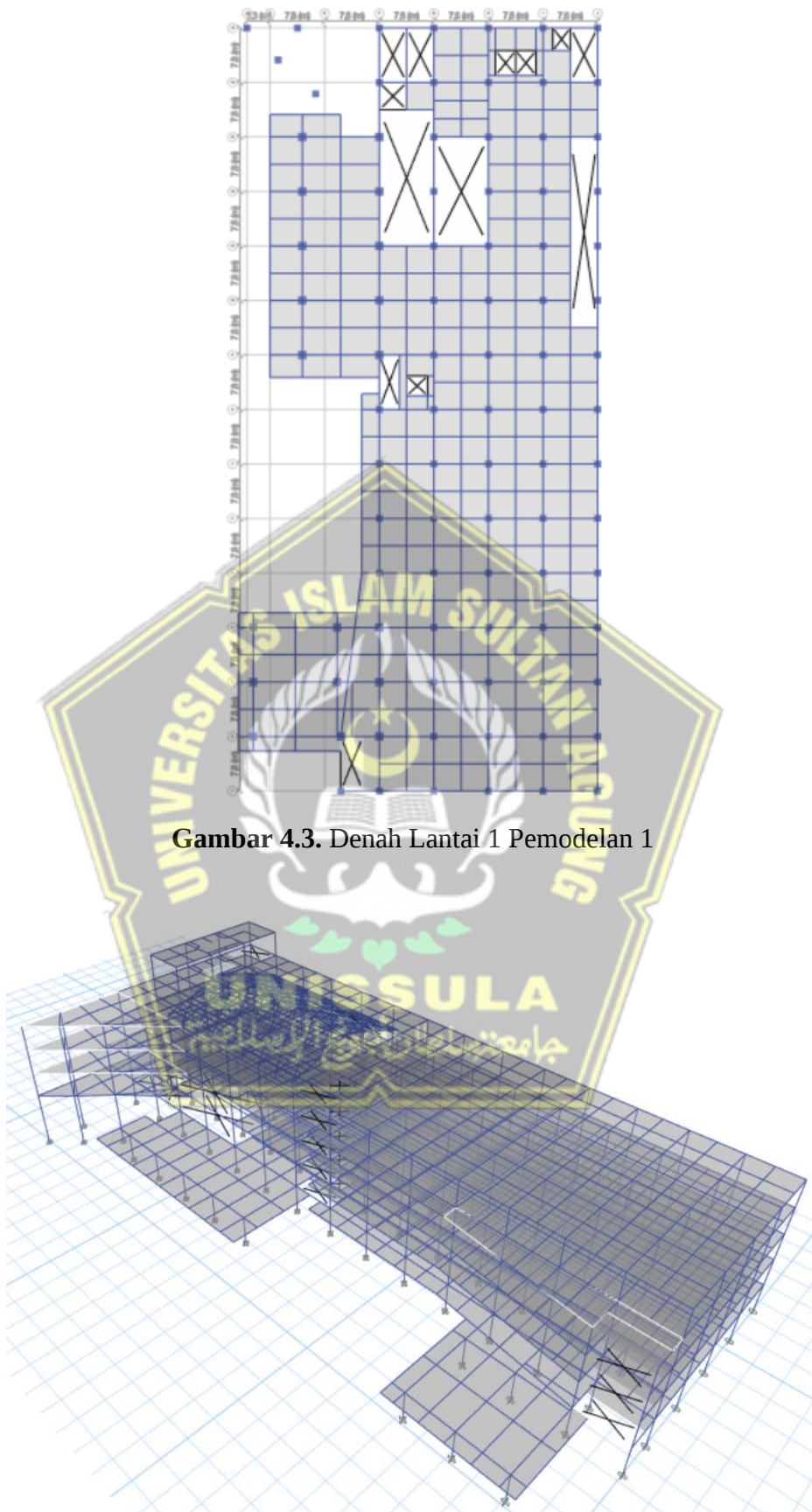
Pemodelan gedung pada akhirnya dirancang sebagai Struktur Gedung Sistem Ganda. Pemodelan awal dilakukan dengan bantuan program ETABS dengan dimodelkan sebuah sistem *grid*, dengan *grid* sebagai garis titik berat dari elemen struktur yang dimodelkan.

4.3.1. Alternatif Pemodelan 1

Pada model pertama, akan dimodelkan gedung tinggi 5 lantai yang dirancang berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu Beton f_c 30 MPa
- Kolom Dimensi 100x100 cm (kolom lantai 1-3)
- Kolom Dimensi 70x70 cm (kolom lantai 4-5)
- Balok Dimensi 35x70 cm (Balok Utama)
- Balok Dimensi 30x60 cm (Balok Anak & Konsol)
- Tebal Pelat Lantai 13 mm
- Tebal Pelat Atap Dak 12 mm

Berikut denah dan gambar 3D dari model gedung yang didesain Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3. Denah Lantai 1 Pemodelan 1

Gambar 4.4. Model 3D Pemodelan 1

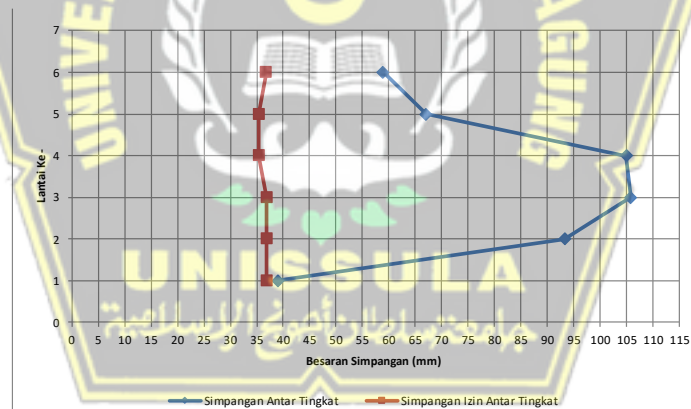
Pada model pertama, bangunan mengalami:

- Mode 1 : Rotasi (1,2972 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (1,2623 Detik)
- Mode 3 : Translasi X (1,2026 Detik)

Hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.5, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.17. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

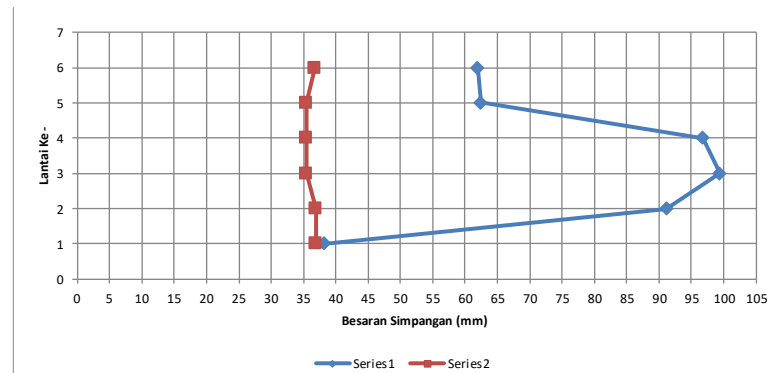
Story	<i>hsx</i>	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	127,91	469,01	58,86	36,77	NOT
Lantai 5	4600	111,86	410,15	67,04	35,38	NOT
Lantai 4	4600	93,57	343,10	104,96	35,38	NOT
Lantai 3	4800	64,95	238,14	105,81	36,92	NOT
Lantai 2	4800	36,09	132,33	93,27	36,92	NOT
Lantai 1	4800	10,66	39,07	39,07	36,92	NOT



Gambar 4.5. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

Tabel 4.18. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 1

Story	<i>hsx</i>	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	122,66	449,74	61,94	36,77	NOT
Lantai 5	4600	105,76	387,80	62,40	35,38	NOT
Lantai 4	4600	88,74	325,39	96,80	35,38	NOT
Lantai 3	4600	62,34	228,59	99,36	35,38	NOT
Lantai 2	4800	35,25	129,24	91,09	36,92	NOT
Lantai 1	4800	10,40	38,14	38,14	36,92	NOT



Gambar 4.6. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

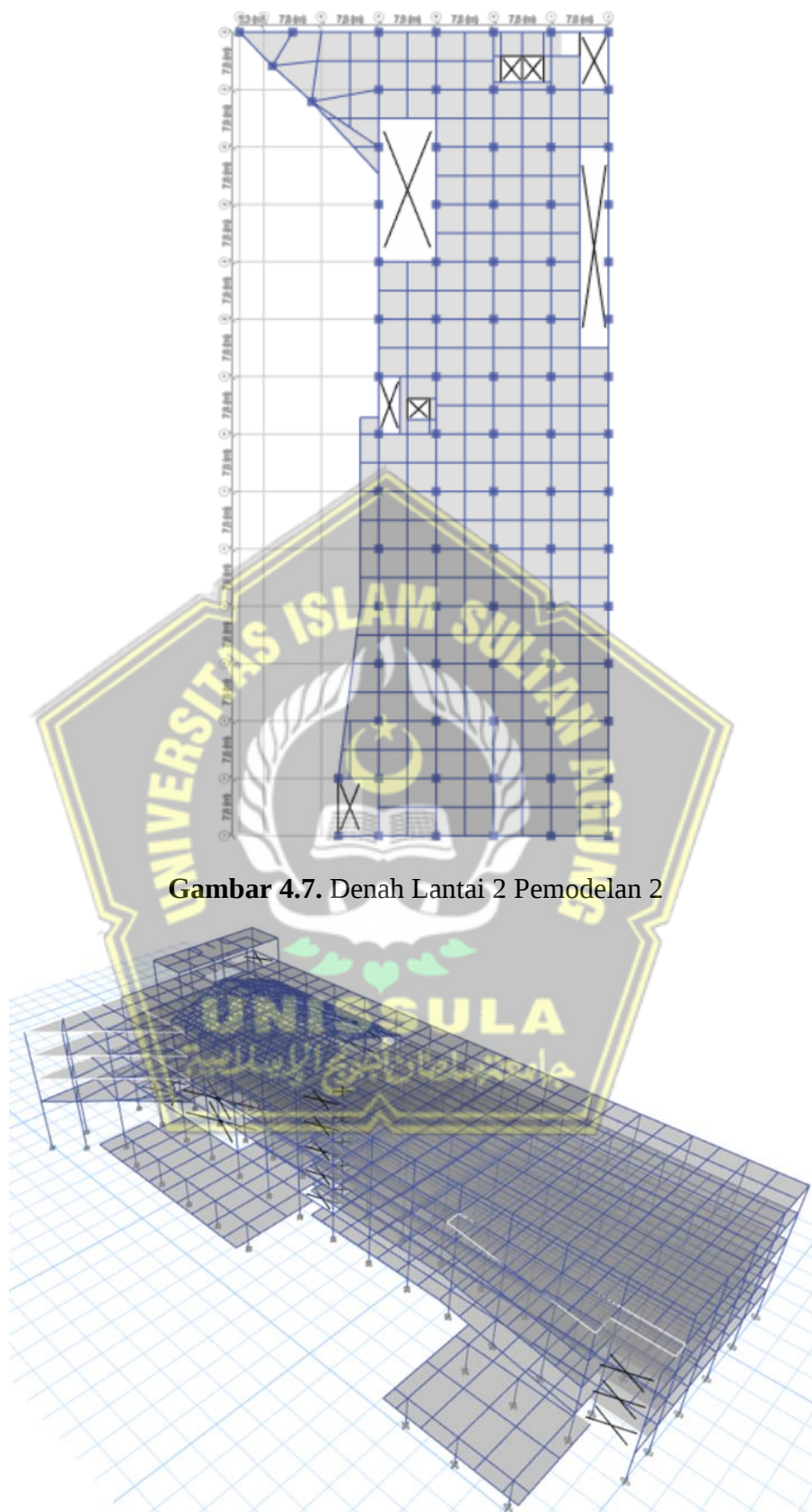
Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, Semua simpangan melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis mencoba melakukan perkuatan struktur dengan memperbesar ukuran kolom dan mutu beton yang digunakan pada Pemodelan 2 diharapkan agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.3.2. Alternatif Pemodelan 2

Pada model kedua, akan dimodelkan gedung tinggi 5 lantai yang dirancang berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu Beton $f_c' 40$ MPa
- Kolom Dimensi 120x120 cm (kolom lantai 1-3)
- Kolom Dimensi 100x100 cm (kolom lantai 4-5)
- Balok Dimensi 35x70 cm (Balok Utama)
- Balok Dimensi 30x60 cm (Balok Anak & Konsol)
- Tebal Pelat Lantai 13 mm
- Tebal Pelat Atap Dak 12 mm

Berikut denah dan gambar 3D dari model gedung yang didesain dan dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7. Denah Lantai 2 Pemodelan 2

Gambar 4.8. Model 3D Pemodelan 2

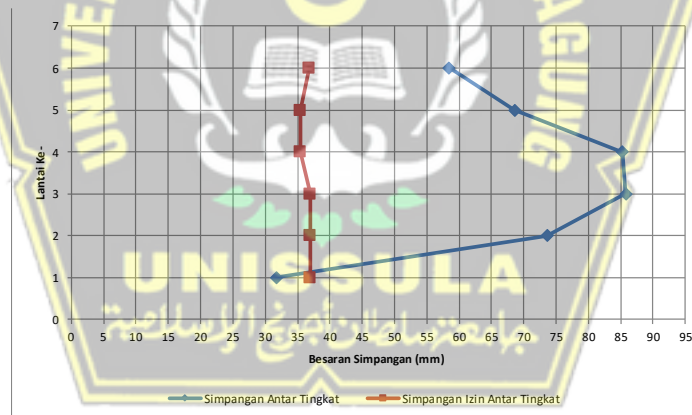
Pada model pertama, bangunan mengalami:

- Mode 1 : Rotasi (1,1713 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (1,1392 Detik)
- Mode 3 : Translasi Arah X (1,0639 Detik)

Hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.9, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.10.

Tabel 2.19. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

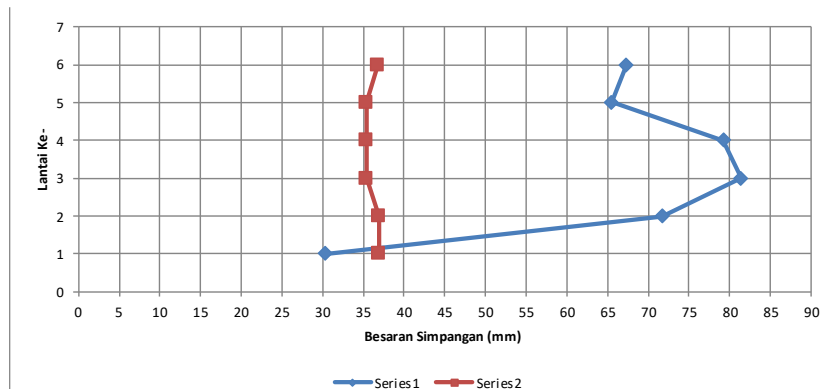
Story	<i>hsx</i>	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	110,00	403,35	58,41	36,77	NOT
Lantai 5	4600	94,08	344,94	68,56	35,38	NOT
Lantai 4	4600	75,38	276,38	85,27	35,38	NOT
Lantai 3	4800	52,12	191,11	85,80	36,92	NOT
Lantai 2	4800	28,72	105,31	73,58	36,92	NOT
Lantai 1	4800	8,66	31,74	31,74	36,92	OK



Gambar 4.9. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

Tabel 4.20. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

Story	<i>hsx</i>	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	107,84	395,41	67,27	36,77	NOT
Lantai 5	4600	89,49	328,14	65,52	35,38	NOT
Lantai 4	4600	71,62	262,62	79,24	35,38	NOT
Lantai 3	4600	50,01	183,38	81,36	35,38	NOT
Lantai 2	4800	27,82	102,02	71,70	36,92	NOT
Lantai 1	4800	8,27	30,32	30,32	36,92	OK



Gambar 4.10. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

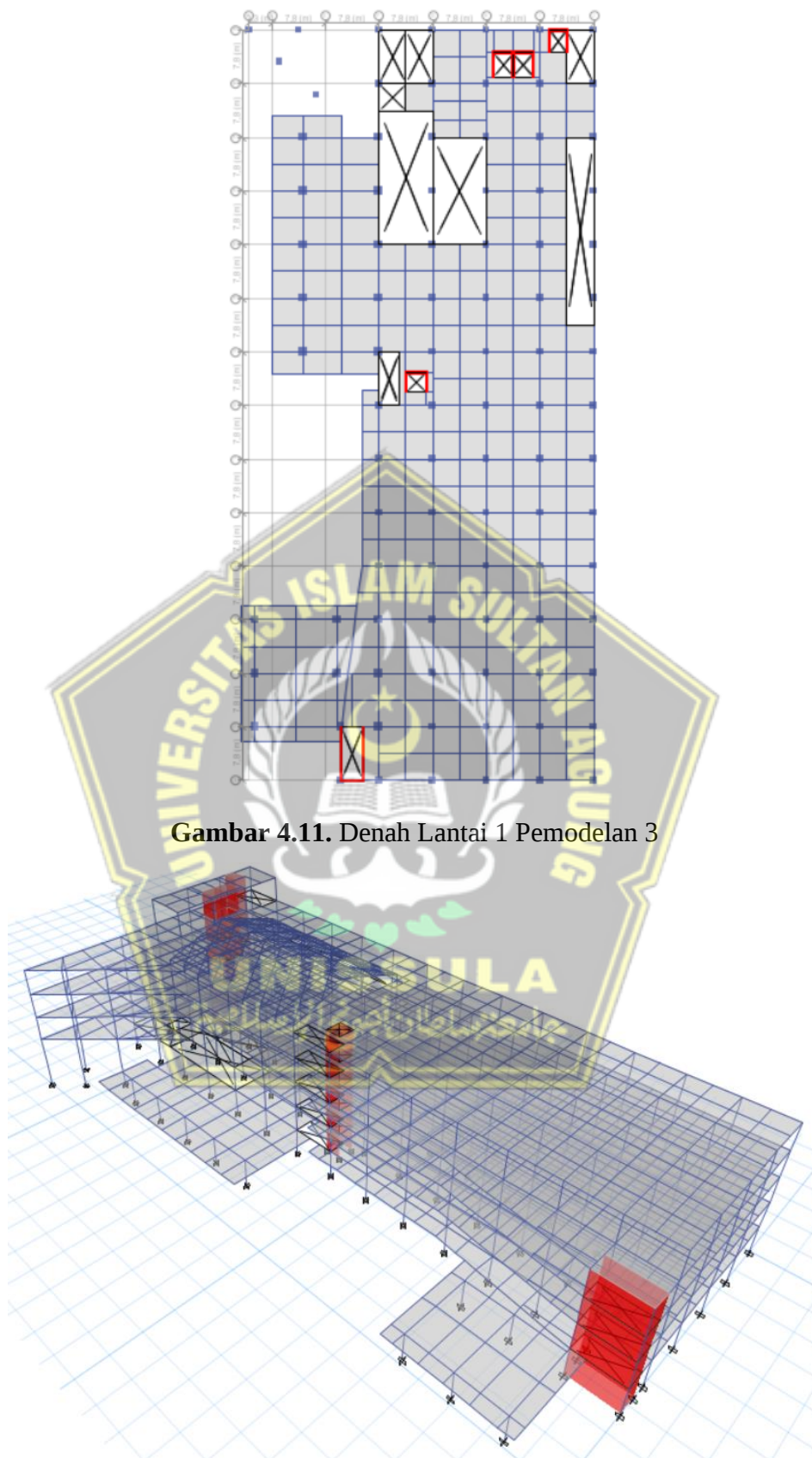
Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis mencoba melakukan perkuatan struktur dengan menambah Dinding Geser dan mencoba menurunkan ukuran kolom dan mutu beton yang digunakan pada Pemodelan 3 diharapkan agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.3.3. Alternatif Pemodelan 3

Pada model pertama, akan dimodelkan gedung tinggi 5 lantai yang dirancang berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu Beton f_c 30 MPa
- Kolom Dimensi 100x100 cm (kolom lantai 1-3)
- Kolom Dimensi 70x70 cm (kolom lantai 4-5)
- Balok Dimensi 35x70 cm (Balok Utama)
- Balok Dimensi 30x60 cm (Balok Anak & Konsol)
- Tebal Pelat Lantai 13 mm
- Tebal Pelat Atap Dak 12 mm
- Tebal Dinding Geser 30 cm

Berikut denah dan gambar 3D dari model gedung yang didesain yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11. Denah Lantai 1 Pemodelan 3

Gambar 4.12. Model 3D Pemodelan 3

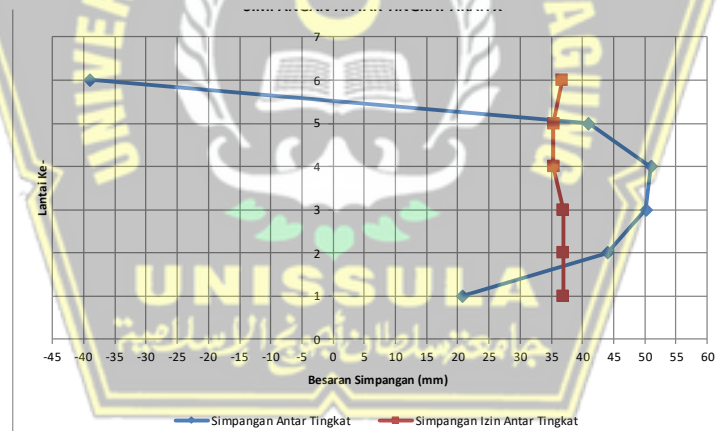
Pada model pertama, bangunan mengalami:

- Mode 1 : Translasi Arah X (0,8962 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (0,7564 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,5867 Detik)

Dan hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.13, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.21. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 3

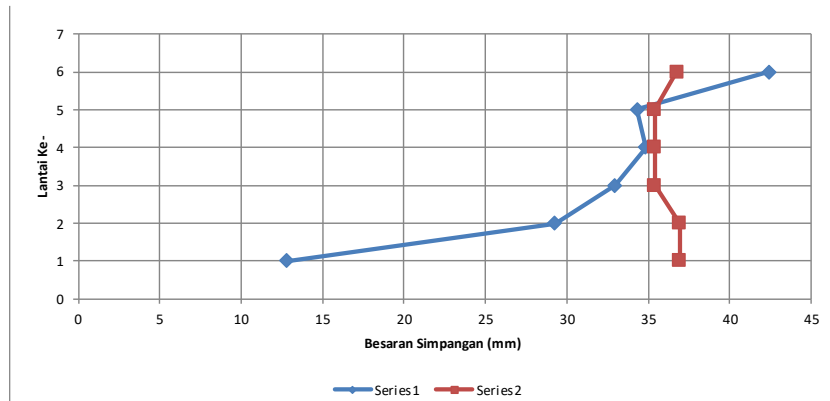
Story	<i>hsx</i>	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	45,78	167,87	-38,97	36,77	OK
Lantai 5	4600	56,41	206,84	40,96	35,38	NOT
Lantai 4	4600	45,24	165,88	51,02	35,38	NOT
Lantai 3	4800	31,33	114,86	50,15	36,92	NOT
Lantai 2	4800	17,65	64,71	43,96	36,92	NOT
Lantai 1	4800	5,66	20,75	20,75	36,92	OK



Gambar 4.13. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 3

Tabel 4.22. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 3

Story	<i>hsx</i>	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	50,88	186,57	42,39	36,77	NOT
Lantai 5	4600	39,32	144,19	34,32	35,38	OK
Lantai 4	4600	29,96	109,87	34,85	35,38	OK
Lantai 3	4600	20,46	75,02	32,96	35,38	OK
Lantai 2	4800	11,47	42,06	29,26	36,92	OK
Lantai 1	4800	3,49	12,79	12,79	36,92	OK



Gambar 4.14. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 3

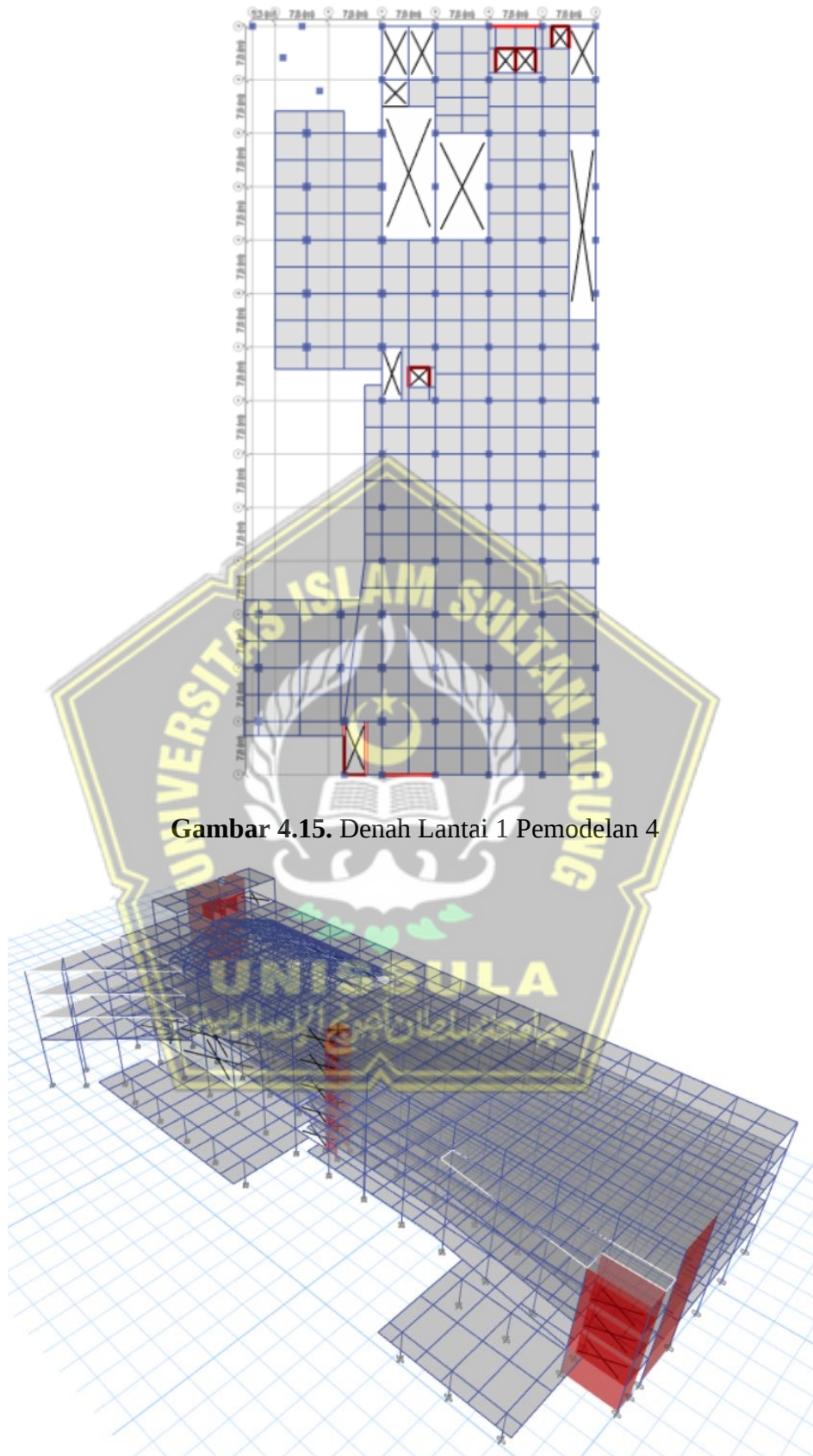
Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis mencoba merubah posisi dan menambah dinding geser pada Pemodelan 4 diharapkan agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.3.4. Alternatif Pemodelan 4

Pada model pertama, akan dimodelkan gedung tinggi 5 lantai yang dirancang berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu Beton f_c 30 MPa
- Kolom Dimensi 100x100 cm (kolom lantai 1-3)
- Kolom Dimensi 70x70 cm (kolom lantai 4-5)
- Balok Dimensi 35x70 cm (Balok Utama)
- Balok Dimensi 30x60 cm (Balok Anak & Konsol)
- Tebal Pelat Lantai 13 mm
- Tebal Pelat Atap Dak 12 mm
- Tebal Dinding Geser 30 cm

Berikut denah dan gambar 3D dari model gedung yang didesain yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



Gambar 4.15. Denah Lantai 1 Pemodelan 4

Gambar 4.16. Model 3D Pemodelan 4

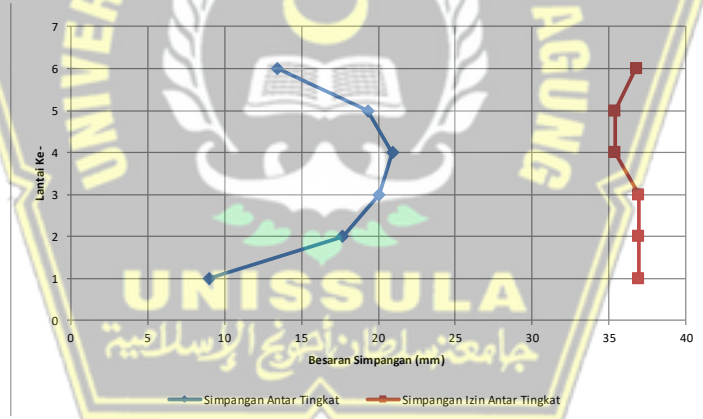
Pada model pertama, bangunan mengalami:

- Mode 1 : Translasi Arah Y (0,7112 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah X (0,5762 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,4050 Detik)

Hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.17, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.18.

Tabel 4.23. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 4

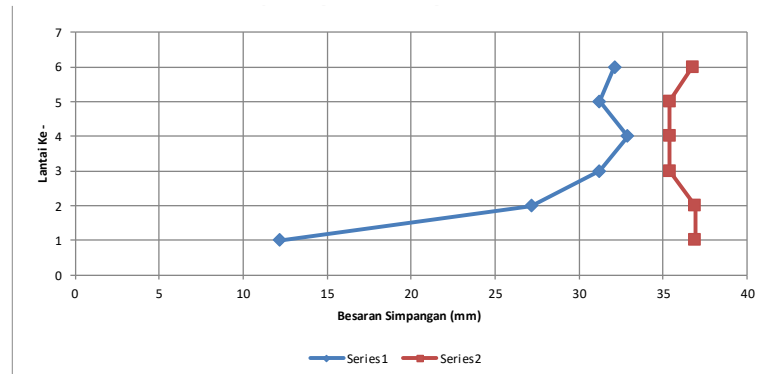
Story	hsx	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	27,37	100,34	13,39	36,77	OK
Lantai 5	4600	23,71	86,95	19,29	35,38	OK
Lantai 4	4600	18,45	67,65	20,92	35,38	OK
Lantai 3	4800	12,75	46,74	20,04	36,92	OK
Lantai 2	4800	7,28	26,69	17,67	36,92	OK
Lantai 1	4800	2,46	9,02	9,02	36,92	OK



Gambar 4.17. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 4

Tabel 4.24. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 4

Story	hsx	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	4780	45,47	166,73	32,10	36,77	OK
Lantai 5	4600	36,72	134,63	31,20	35,38	OK
Lantai 4	4600	28,21	103,43	32,89	35,38	OK
Lantai 3	4600	19,24	70,54	31,21	35,38	OK
Lantai 2	4800	10,72	39,32	27,14	36,92	OK
Lantai 1	4800	3,32	12,18	12,18	36,92	OK



Gambar 4.18. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 4

Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, tidak terdapat simpangan yang melebihi batas izinnnya. Maka, Pemodelan 4 yaitu sistem ganda ditambah *Shear Wall* merupakan pemodelan yang digunakan penulis pada akhirnya karena struktur lebih kuat dan efisien.

4.4. Pembebanan Struktur

4.4.1. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020, yaitu Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban gravitasi dalam perencanaan bangunan tinggi 5 lantai ini meliputi: beban mati berat sendiri (*dead load*), beban mati tambahan (*super imposed dead load*), dan beban hidup (*live load*).

a. Beban Mati Berat Sendiri (DL)

Beban mati (*dead load*) adalah berat seluruh komponen elemen struktural bangunan yang terdiri atas pelat, balok, kolom, dan dinding geser. Beban mati akan dihitung secara otomatis oleh program ETABS dengan menggunakan berat jenis material beton 24 kN/m^3 dan berat jenis tulangan $78,50 \text{ kN/m}^3$.

b. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan atau *super imposed dead load* adalah berat komponen nonstruktural (arsitektural dan MEP) yang terdapat pada struktur bangunan. Beban *SIDL* yang digunakan dalam desain ini dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26.

Tabel 4.25. Beban Mati Tambahan pada Lantai

No	Jenis Beban Mati	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban Merata (kN/m ²)
1	Pasir setebal 1 cm	16	0,16
2	Spesi setebal 3 cm	22	0,66
3	Keramik setebal 1 cm	22	0,22
4	Plafond & Penggantung		0,2
5	ME (Mekanikal & Elektrikal)		0,25
TOTAL			1,49

* Beban dinding bata ringan 0,1 kN/m

Tabel 4. 26. Beban Mati Tambahan pada Atap

No	Jenis Beban Mati	Beban Merata (kN/m ²)
1	Finishing Beton	0,21
2	Plafond & Penggantung	0,2
3	ME (Mekanikal & Elektrikal)	0,25
4	Beban Waterproofing	0,1
TOTAL		0,76

c. Beban Hidup (LL)

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung yang berasal dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Beban hidup (LL) yang digunakan dalam desain ini dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27. Beban Hidup

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ²)
1	Ruang Operasi/Laboratorium	2,87
2	Ruang Pasien	1,92
3	Koridor	3,83
4	Lobby	4,79

4.4.2. Pembebanan Gempa

Pembebanan gempa pada perancangan bangunan ini menggunakan analisis respons spektra (*Response Spectrum Analysis*). Analisis ini digunakan untuk mendesain gedung sehingga kebutuhan tulangan dari elemen struktur memenuhi prinsip desain kapasitas.

a) Analisis Beban Gempa

Analisis beban gempa berlandaskan dalam standar SNI 1726:2019 tentang tata cara perancangan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung ini dirancang untuk gedung yang bermanfaat guna sarana perkuliahan. Sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 4, gedung tersebut dikategorikan pada kategori risiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1,50.

2. Klasifikasi Situs

Mengacu pada standar SNI 1726:2019. Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan 3 parameter yaitu $\tilde{V}_s$ = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas. N = tahanan penetrasi standar dan S_u = kuat geser rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas. Dalam menentukan klasifikasi situs digunakan nilai penetrasi standar (N -SPT) yang merupakan hasil pengujian tanah lokasi gedung. Data N -SPT tanah yang diperoleh dari lokasi gedung ini hanya diukur sampai kedalaman 20 m. Maka dari itu, penulis melakukan perhitungan hanya sampai kedalaman 20 m saja.

Dengan analisis perhitungan rata-rata nilai N -SPT sampai dengan kedalaman 20 m dapat dihitung sesuai Tabel 4.28.

Tabel 4.28. Nilai N -SPT

Kedalaman	Tebal (di)	N -SPT	di/Ni
-2	2	3	0,667
-4	2	5	0,400
-6	2	10	0,200
-8	2	5	0,400
-10	2	9	0,222
-12	2	10	0,200
-14	2	6	0,333
-16	2	8	0,250
-18	2	28	0,071
-20	2	24	0,083
-22	2	5	0,400
-24	2	6	0,333

-26	2	14	0,143
-28	2	12	0,167
-30	2	11	0,182
-32	2	14	0,143
-34	2	14	0,143
-36	2	34	0,059
-38	2	50	0,040
-40	2	50	0,040
-42	2	50	0,040
-44	2	50	0,040
-46	2	50	0,040
Total	46		4,596

Berdasarkan Tabel 4.28 di atas maka dapat dihitung tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) yaitu:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{46}{4,596} = 10,008$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) sebesar 10,008. Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 5, nilai $15 < N < 50$ termasuk ke dalam kategori **Tanah Lunak (SE)**.

3. Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Terpetakan

Nilai parameter respons spektra percepatan gempa didapat dari Program Desain Spektra Indonesia tahun 2021 (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021) yang disediakan oleh Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan titik koordinat atau menginput nama kota lokasi perancangan bangunan sehingga secara otomatis diperoleh hasil nilai parameter respon spektra percepatan gempa terpetakan. Nilai parameter respon spektra percepatan gempa terpetakan di daerah Banda Aceh dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29. Data Parameter Respons Spektra Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,3773
S_s (g)	0,8817
S_1 (g)	0,3029
TL (detik)	12

4. Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Nilai parameter respons spektra percepatan gempa tertarget pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dari Program Desain Spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan jenis tanah maka didapatkan nilai parameter respons spektra gempa tertarget berdasarkan Persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

$$F_a = 1,1946$$

$$F_v = 2,7884$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,1946 \times 0,8817 = 1,05331$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,7884 \times 0,3913 = 0,84461$$

5. Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Desain

Nilai parameter respon spektra percepatan gempa desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) didapatkan berdasarkan Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,0533 = 0,7022$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,8446 = 0,5631$$

6. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, tiap struktur bangunan diharuskan memiliki suatu Kategori Desain Seismik. Gedung yang dirancang tergolong pada Kategori Risiko IV dan mempunyai nilai $S_{DS} \geq 0,50$ dan nilai $S_{D1} \geq 0,20$ sehingga gedung perancangan termasuk Kategori Desain Seismik tinggi yaitu D.

7. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Struktur

Nilai faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan standar SNI 1726:2019 Tabel 12 dihasilkan koefisien modifikasi respon (R) = 8, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5.

Nilai faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Ganda menggunakan standar SNI 1726:2019 Tabel 12 dihasilkan koefisien modifikasi respon (R) = 7, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 2,5, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5.

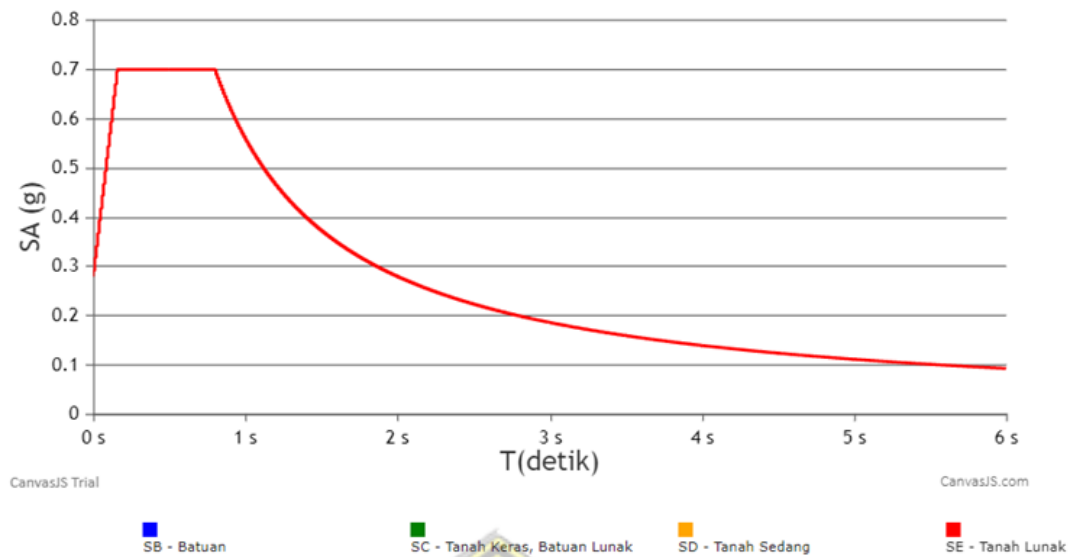
b) Rekap Analisis Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, pembebanan gempa untuk bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda yang terletak di Banda Aceh, Aceh memiliki parameter seperti pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 30. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		IV
Faktor Keutamaan	I_e	1,5
Klasifikasi Situs		SE (Tanah Lunak)
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek	S_s	0,8817
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik	S_1	0,3029
Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,19464
Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	2,7884
Percepatan pada periode pendek	S_{MS}	1,0533
Percepatan pada periode 1 detik	S_{M1}	0,8446
Percepatan desain pada periode pendek	S_{DS}	0,7022
Percepatan desain pada periode 1 detik	S_{D1}	0,5630
Parameter periode	T_0	0,1604
	T_s	0,8019
Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)		
Faktor koefisien modifikasi	R	8
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	3
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5
Parameter Sistem Ganda		
Faktor koefisien modifikasi	R	7
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	2,5
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

Dari parameter respons spektra di atas, spektrum respons desain dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19. Spektrum Respons Desain Lokasi Perancangan

4.4.3. Kombinasi Pembebanan Struktur

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen struktur, dan elemen fondasi harus dirancang sedemikian rupa hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 5.3.1, kombinasi pembebanan terfaktor, yaitu sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$
6. $0,9 D + 1,0 W$
7. $0,9 D + 1,0 E$

Untuk nomor 5 dan 7 dengan beban gempa diatur oleh SNI 1726:2019 Pasal 7.4, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal, yaitu sebagai berikut:

1. $(1,2 + 0,2 S_Ds) D + 1 L \pm 0,3 \rho E_x \pm 1 \rho E_y$
2. $(1,2 + 0,2 S_Ds) D + 1 L \pm 1 \rho E_x \pm 0,3 \rho E_y$
3. $(0,9 - 0,2 S_Ds) D \pm 0,3 \rho E_x \pm 1 \rho E_y$
4. $(0,9 - 0,2 S_Ds) D \pm 1 \rho E_x \pm 0,3 \rho E_y$

$S_Ds (g) = 0,7031$ (Banda Aceh, Aceh; Tanah Lunak)

$$\rho = 1,3 \text{ (SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2)}$$

Berikut kombinasi pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4. 31. Kombinasi Pembebanan

KOMBINASI		DL	SIDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
COMB	1.1	1,40	1,40							
COMB	2.1	1,20	1,20	1,60	0,50					
	2.2	1,20	1,20	1,60		0,50				
COMB	3.1	1,20	1,20	1,00	1,60					
	3.2	1,20	1,20		1,60		0,50			
	3.3	1,20	1,20		1,60			0,50		
	3.4	1,20	1,20		1,60		0,38	0,38		
	3.5	1,20	1,20	1,00		1,60				
	3.6	1,20	1,20			1,60	0,50			
	3.7	1,20	1,20			1,60		0,50		
	3.8	1,20	1,20			1,60	0,38	0,38		
COMB	4.1	1,20	1,20	1,00	0,50		1,00			
	4.2	1,20	1,20	1,00	0,50			1,00		
	4.5	1,20	1,20	1,00	0,50		0,75	0,75		
	4.3	1,20	1,20	1,00		0,50	1,00			
	4.4	1,20	1,20	1,00		0,50		1,00		
	4.6	1,20	1,20	1,00		0,50	0,75	0,75		
COMB	5.1	0,90	0,90				1,00			
	5.2	0,90	0,90					1,00		
	5.3	0,90	0,90				0,75	0,75		
COMB	6.1	1,34	1,34	1,00					1,50	0,45
	6.2	1,34	1,34	1,00					1,50	-0,45
	6.3	1,34	1,34	1,00					-1,50	0,45
	6.4	1,34	1,34	1,00					-1,50	-0,45
	6.5	1,34	1,34	1,00					0,45	1,50
	6.6	1,34	1,34	1,00					-0,45	1,50
	6.7	1,34	1,34	1,00					0,45	-1,50
	6.8	1,34	1,34	1,00					-0,45	-1,50
COMB	7.1	0,76	0,76						1,50	0,45
	7.2	0,76	0,76						1,50	-0,45
	7.3	0,76	0,76						-1,50	0,45
	7.4	0,76	0,76						-1,50	-0,45
	7.5	0,76	0,76						0,45	1,50
	7.6	0,76	0,76						-0,45	1,50
	7.7	0,76	0,76						0,45	-1,50
	7.8	0,76	0,76						-0,45	-1,50

4.5. Pengecekan Perilaku Struktur Bangunan

4.5.1. Rasio Partisipasi Massa

Berdasarkan hasil ETABS, ringkasan dan partisipasi modal massa yang diperoleh bisa dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4. 32. Rekapitulasi Rasio Partisipasi Modal Massa

Case	Mode	Periode	UX	UY	RZ	Keterangan
		(sec)				
Modal	1	0,711	0,003	0,686	0,017	Translasi Arah Y
Modal	2	0,576	0,709	0,005	0,001	Translasi Arah X
Modal	3	0,405	0,003	0,013	0,696	Rotasi
Modal	4	0,210	0,000	0,144	0,001	Translasi Arah Y
Modal	5	0,160	0,179	0,000	0,001	Translasi Arah X
Modal	6	0,143	0,006	0,000	0,001	Translasi Arah X
Modal	7	0,120	0,000	0,001	0,034	Rotasi
Modal	8	0,119	0,001	0,001	0,108	Rotasi
Modal	9	0,113	0,001	0,065	0,009	Translasi Arah Y
Modal	10	0,105	0,000	0,001	0,000	Translasi Arah Y
Modal	11	0,102	0,004	0,025	0,041	Translasi Arah Y
Modal	12	0,090	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	13	0,081	0,059	0,000	0,002	Translasi Arah X
Modal	14	0,064	0,000	0,034	0,003	Translasi Arah Y
Modal	15	0,059	0,000	0,003	0,049	Rotasi
Modal	16	0,057	0,000	0,000	0,007	Rotasi
Modal	17	0,056	0,009	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	18	0,055	0,014	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	19	0,049	0,000	0,011	0,000	Translasi Arah Y
Modal	20	0,044	0,000	0,000	0,000	Rotasi
Modal	21	0,043	0,001	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	22	0,043	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	23	0,043	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	24	0,043	0,002	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	25	0,043	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	26	0,043	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	27	0,042	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah X
Modal	28	0,042	0,005	0,000	0,001	Translasi Arah X
Modal	29	0,039	0,002	0,001	0,019	Rotasi
Modal	30	0,039	0,000	0,001	0,000	Translasi Arah Y
Modal	31	0,038	0,000	0,010	0,001	Translasi Arah Y
Modal	32	0,037	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah Y
Modal	33	0,035	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah Y

Modal	34	0,035	0,000	0,000	0,000	Translasi Arah Y
Modal	35	0,034	0,000	0,000	0,000	Rotasi
Modal	36	0,032	0,000	0,000	0,000	Rotasi
Modal	37	0,030	0,001	0,000	0,008	Rotasi
Modal	38	0,030	0,000	0,000	0,000	Rotasi
Modal	39	0,029	0,000	0,000	0,000	Rotasi
Modal	40	0,028	0,000	0,000	0,000	Rotasi

4.5.2. Perhitungan Faktor Skala Gempa

4.5.2.1. Perhitungan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Nilai C_s dihitung berdasarkan Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019, yakni terdapat nilai C_s arah X dan arah Y yang harus dibandingkan dengan nilai C_s maksimum dan nilai C_s minimum. Rumus C_s , $C_{s \min}$, dan $C_{s \max}$ arah X dan arah Y menggunakan Persamaan 4.4 sampai Persamaan 4.6 berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (4.5)$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (4.6)$$

Nilai Periode (T) yang digunakan dalam perhitungan C_s adalah nilai periode di ETABS yang dibandingkan dengan nilai periode minimum dan nilai periode maksimum yang diatur pada Pasal 7.8.2 SNI 1726:2019.

- Periode Minimum

$$T_{\min} = C_t \times h_n^x = 0,0488 \times (32,64)^{0,75} = 0,597 \text{ detik}$$

- Periode Maksimum

$$T_{\max} = C_u \times T_{\min} = 1,4 \times 0,666 = 0,836 \text{ detik}$$

- Periode arah X dan Y pada ETABS

$$- T_a \text{ dari ETABS arah X } (T_{cx}) = 0,597 \text{ detik}$$

$$- T_a \text{ dari ETABS arah Y } (T_{cy}) = 0,711 \text{ detik}$$

- Periode yang digunakan

Setelah dilakukan perhitungan, maka nilai T yang digunakan untuk arah X maupun Y adalah menggunakan T arah X dan Y pada ETABS sebesar:

$$- T \text{ arah X } (T_x) = 0,597 \text{ detik}$$

$$- T \text{ arah Y } (T_y) = 0,711 \text{ detik}$$

Setelah melakukan perhitungan T , maka nilai C_s perhitungan adalah sebagai berikut:

- $C_s \text{ arah X} = \frac{0,5630}{0,576 \times (\frac{7}{1,5})} = 0,209$
- $C_s \text{ arah Y} = \frac{0,5630}{0,711 \times (\frac{7}{1,5})} = 0,170$
- $C_s \text{ min} = 0,044 \times 0,7022 \times 1,5 = 0,0464$
- $C_s \text{ max} = \frac{0,7022}{(\frac{7}{1,5})} = 0,150$

Nilai C_s di atas dibandingkan dengan nilai C_s minimum dan C_s maksimum, maka diperoleh nilai C_s untuk arah X dan Y sesuai pada Tabel 4.33.

Tabel 4. 33. Koefisien Respons Seismik

C_s arah X	0,209	C_s arah Y	0,170
C_s minimum	0,0464	C_s minimum	0,0464
C_s maksimum	0,150	C_s maksimum	0,150
C_s yang dipakai	0,150	C_s yang dipakai	0,150

4.5.2.2. Perhitungan Faktor Skala Gaya

Dari hasil ETABS diperoleh nilai Gaya Geser Dasar Seismik Statik (V) untuk arah X dan Y ditunjukkan pada Tabel 4.34.

Tabel 4. 34. Output Gaya Geser Dasar Statik (V)

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
Atap Dak	28,18	696,336	696,336
Lantai 5	23,4	7034,705	7034,705
Lantai 4	18,8	15976,95	15976,95
Lantai 3	14,2	22824,641	22824,64
Lantai 2	9,6	27214,196	27214,3
Lantai 1	4,8	29353,947	29353,95

Sedangkan perhitungan Gaya Geser Dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.35.

Tabel 4. 35. Output Gaya Geser Dasar Dinamik (V_I)

Lantai	Elevasi (m)	V_{IX} (kN)	V_{IY} (kN)
Atap Dak	28,8	569.193	778,912
Lantai 5	23,4	6059,789	6075,596
Lantai 4	18,8	12806,68	12533,786
Lantai 3	14,2	17735,489	17372,431
Lantai 2	9,6	21012,804	20405,776
Lantai 1	4,8	22565,381	21682,338

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2. Gaya Geser Dasar, V_X dan V_Y harus dihitung untuk arah X dan arah Y sesuai Pasal 7.8.1.1. Untuk tiap gerak tanahyang dianalisis, faktor skala Gaya Geser Dasar ditentukan sebagai berikut:

$$\eta_x = \frac{V_X}{V_{IX}} \geq 1,0 \dots \dots \dots (4.7)$$

$$\eta_y = \frac{V_Y}{V_{IY}} \geq 1,0 \dots \dots \dots (4.8)$$

Untuk perhitungan faktor skala dari perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik adalah sebagai berikut:

$$\eta_x = \frac{V_X}{V_{IX}} = \frac{29353,9479}{22565,3819} = 1,3008$$

$$\eta_y = \frac{V_Y}{V_{IY}} = \frac{29353,948}{21682,3383} = 1,3538$$

Maka, diperoleh rekapitulasi hasil pengecekan faktor skala pada Tabel 4.36 sebagai berikut:

Tabel 4. 36. Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala

W_t (berat total bangunan)	48595,698		kN
V_X	29353,948		kN
V_Y	29353,948		kN
V_{IX}	22565,3819		kN
V_{IY}	21682,3383		kN
Cek arah X	$V_{IX} < V_X$	Gaya harus dikali skala faktor	
Cek arah Y	$V_{IY} < V_Y$	Gaya harus dikali skala faktor	
Faktor skala arah X	1,3008		
Faktor skala arah Y	1,3538		

Selanjutnya gempa dibesarkan dari kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik terkoreksi dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4. 37. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V_{Spec-X} (kN)	V_{Spec-Y} (kN)
Atap Dak	28,18	789,7198	1130,0542
Lantai 5	23,4	7935,6005	8378,5955
Lantai 4	18,8	16800,7867	17208,9757
Lantai 3	14,2	23283,6611	23824,8648
Lantai 2	9,6	27539,0003	27968,7096
Lantai 1	4,8	29517,1291	29699,1185

Gaya Geser Desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari Gaya Geser Statik Ekuivalen dan Gaya Geser Dinamik terkoreksi. Gaya Geser Desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.38 dan Tabel 4.39.

Tabel 4. 38. Gaya Geser Terskala

umbu	V_{statik} (V) kN	$V_{dinamik}$ (Vi) kN	Scale Factor (η_x)	$V_{dinamik}$ Skala kN
sumbu X	29353,9479	22490,7202	1,3052	29353,9479
sumbu Y	29353,948	21667,7264	1,3547	29353,9479

Tabel 4. 39. Gaya Geser Desain Per Lantai

Lantai	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V_x	V_y	V_{SPEC-x}	V_{SPEC-y}	V_x	V_y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
Dak Beton	28,18	696	696	790	1130	790	1130
Lantai 5	23,4	7035	7035	7936	8379	7936	8379
Lantai 4	18,8	15977	15977	16801	17209	16801	17209
Lantai 3	14,2	22825	22825	23284	23825	23284	23825
Lantai 2	9,6	27214	27214	27539	27969	27539	27969
Lantai 1	4,8	29354	29354	29517	29699	29517	29699

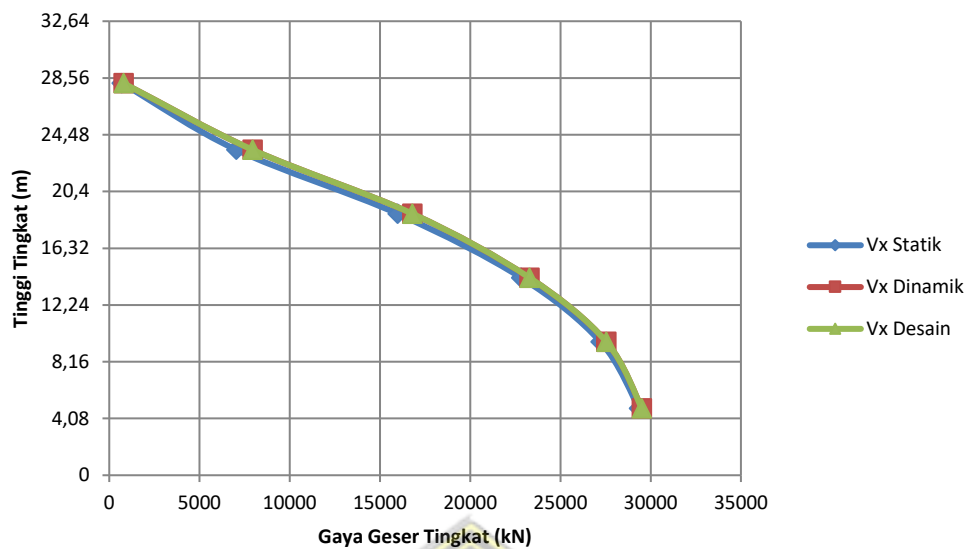
Keterangan :

V_{Spec-X} = Gaya geser dinamik arah X

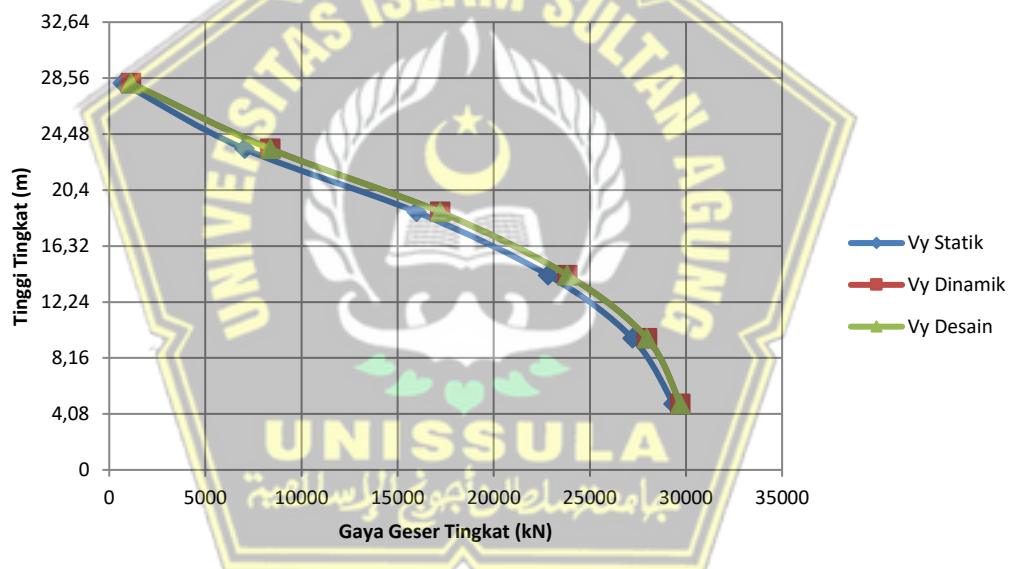
V_{Spec-Y} = Gaya geser dinamik arah Y

4.5.3. Pengecekan Gaya Geser

Gaya geser pada struktur dapat diperoleh langsung dari ETABS. Berikut diagram geser struktur terhadap ketinggian bangunan arah X dan arah Y ditunjukkan pada Gambar 4.20. dan Gambar 4.21.



Gambar 4. 20. Diagram Gaya Geser Gempa Arah X



Gambar 4. 21. Diagram Gaya Geser Gempa Arah Y

4.5.4. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Berdasarkan SNI 1726:2019, faktor-faktor dalam kriteria persyaratan simpangan adalah sebagai berikut:

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2019),

- Faktor redundansi untuk gedung dengan 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 izin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai izin untuk gedung dengan kategori risiko IV adalah $= (0,010) \times h$, dimana h adalah tinggi tingkat.

Simpangan antar tingkat merupakan perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya. Berdasarkan analisis program ETABS, didapat simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada Tabel 4.40 dan Tabel 4.41.

Tabel 4. 40. Pengecekan *Story Drift* Arah X

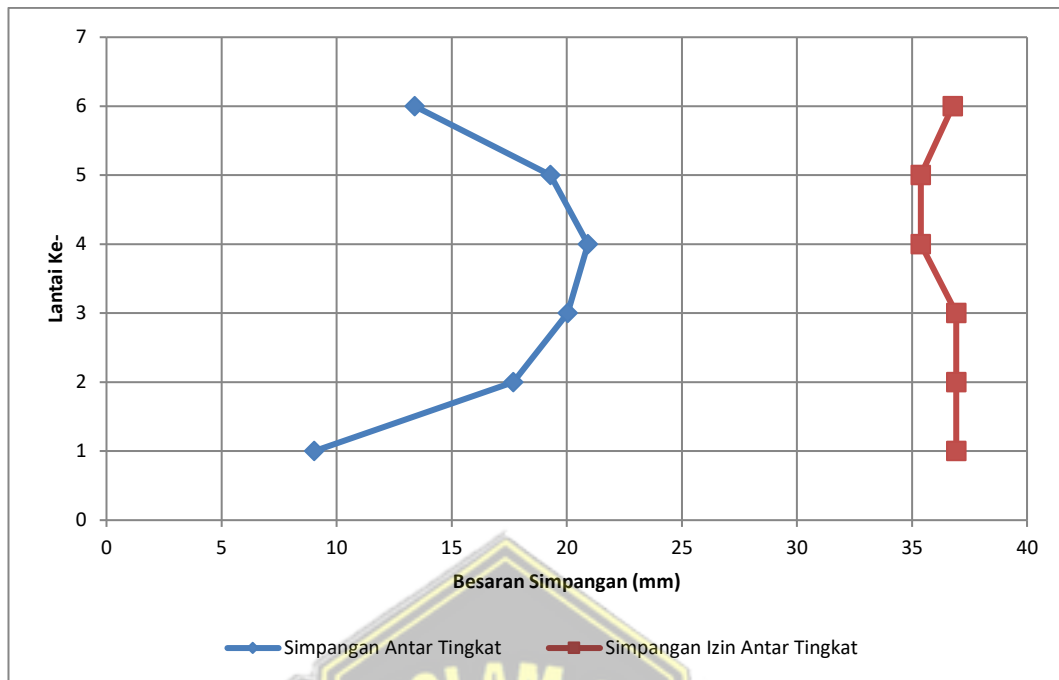
Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
Atap Dak Beton	4780	27,37	100,34	13,39	36,77	OK
Lantai 5	4600	23,71	86,95	19,29	35,38	OK
Lantai 4	4600	18,45	67,65	20,92	35,38	OK
Lantai 3	4800	12,75	46,74	20,04	36,92	OK
Lantai 2	4800	7,28	26,69	17,67	36,92	OK
Lantai 1	4800	2,46	9,02	9,02	36,92	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar $= (\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai $= (\delta_n - \delta_i)$

Diagram dari hasil analisis Simpangan Antar Tingkat arah X dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22. Diagram *Story Drift* Arah X

Tabel 4. 41. Pengecekan *Story Drift* Arah Y

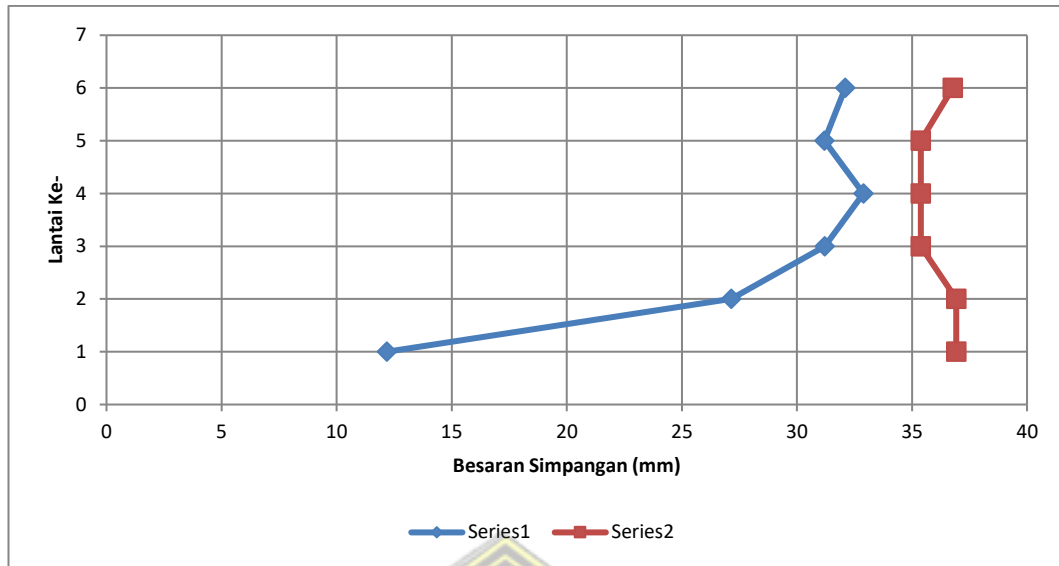
Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
Atap Dak Beton	4780	45,47	166,73	32,10	36,77	OK
Lantai 5	4600	36,72	134,63	31,20	35,38	OK
Lantai 4	4600	28,21	103,43	32,89	35,38	OK
Lantai 3	4600	19,24	70,54	31,21	35,38	OK
Lantai 2	4800	10,72	39,32	27,14	36,92	OK
Lantai 1	4800	3,32	12,18	12,18	36,92	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Diagram dari hasil analisis Simpangan Antar Tingkat arah Y dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23. Diagram *Story Drift* Arah Y

4.5.5. Pengecekan P-Delta

Pengaruh P-Delta ditentukan berdasarkan nilai dari koefisien stabilitas (θ). Jika nilai θ lebih kecil dari nilai θ maksimum, maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus berikut:

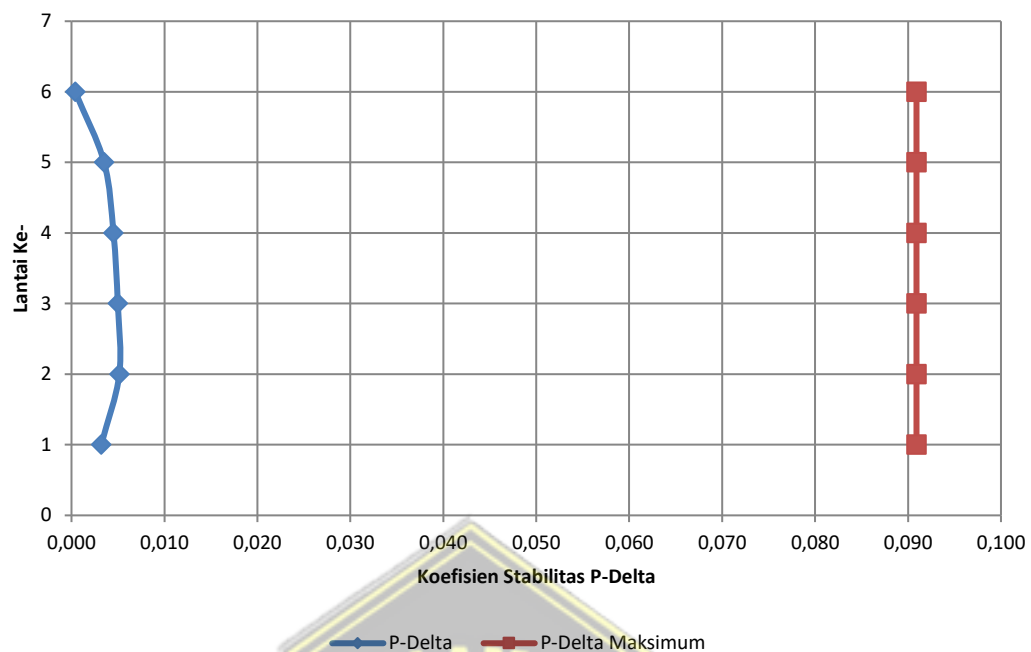
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{C_d \times \beta} = \frac{0,5}{5,5 \times 1} = 0,0909$$

Hasil dari pengecekan P-Delta arah X dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4. 42 Pengecekan P-Delta Arah X

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x (kN)	θ	$\theta_{\max}$	Cek
Atap Dak	4780	11,70	443,72	734,73	0,0004	0,0909	STABIL
Lantai 5	4600	16,88	27582,03	7867,89	0,0035	0,0909	STABIL
Lantai 4	4600	18,30	69708,44	16739,63	0,0045	0,0909	STABIL
Lantai 3	4800	17,53	116166,37	23228,02	0,0050	0,0909	STABIL
Lantai 2	4800	15,45	161187,21	27483,36	0,0051	0,0909	STABIL
Lantai 1	4800	7,87	211085,80	29462,81	0,0032	0,0909	STABIL

Dari pengecekan P-Delta arah X menghasilkan diagram stabilitas P-Delta arah X dapat dilihat di Gambar 4.24.



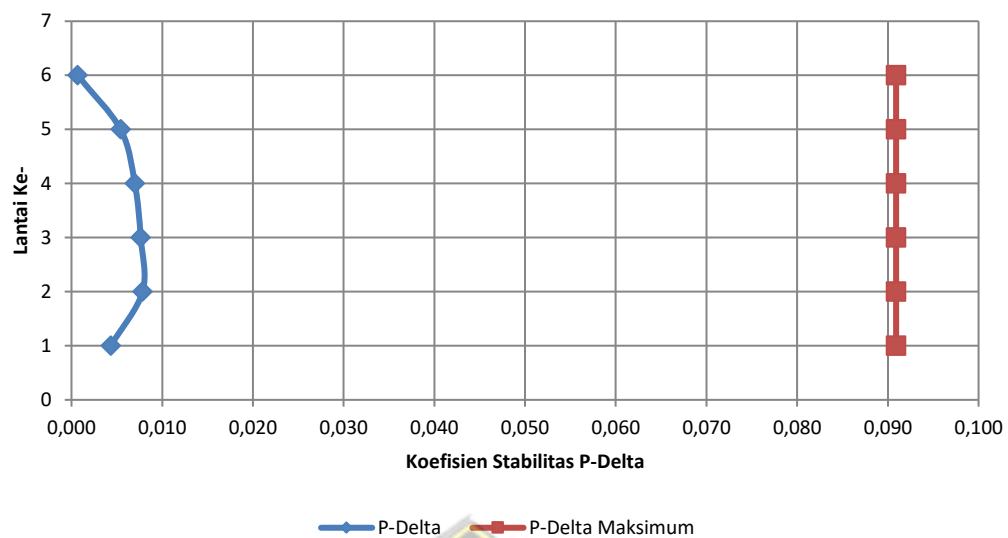
Gambar 4. 24. Diagram P-Delta Arah X

Sedangkan untuk hasil dari pengecekan *P-Delta* arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.43 sebagai berikut:

Tabel 4. 43. Pengecekan *P-Delta* Arah Y

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_y (kN)	θ	θ_{max}	Cek
Atap Dak	4780	28,15	443,72	1053,44	0,0007	0,0909	STABIL
Lantai 5	4600	27,34	27582,03	8260,92	0,0054	0,0909	STABIL
Lantai 4	4600	28,79	69708,44	17039,37	0,0070	0,0909	STABIL
Lantai 3	4800	27,31	116166,37	23618,27	0,0076	0,0909	STABIL
Lantai 2	4800	23,74	161187,21	27743,34	0,0078	0,0909	STABIL
Lantai 1	4800	10,64	211085,80	29468,06	0,0043	0,0909	STABIL

Kemudian dari pengecekan *P-Delta* arah Y menghasilkan diagram stabilitas *P-Delta* arah Y dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 25. Diagram P-Delta Arah Y

4.5.6. Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi

4.5.6.1. Pengecekan Eksentrisitas

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4.1 dan Pasal 7.8.4.2, torsi terdiri dari torsi bawaan dan torsi tidak terduga. Nilai eksentrisitas dari torsi bawaan dapat dilihat dari program ETABS. Data eksentrisitas torsi ditunjukkan pada Tabel 4.44.

Tabel 4. 44. Data Eksentrisitas Torsi Bawaan dari ETABS

Lantai	XCM	YCM	XCR	YCR	e_{ox}	e_{oy}
	m	m	m	m	m	m
Atap Dak	38,74	105,52	39,81	107,36	1,07	1,83
Lantai 5	33,22	57,02	24,08	63,56	9,14	6,54
Lantai 4	32,26	55,19	22,80	61,69	9,46	6,50
Lantai 3	32,16	55,12	22,88	60,76	9,28	5,63
Lantai 2	32,57	54,81	23,70	60,05	8,87	5,24
Lantai 1	30,35	50,96	26,02	59,49	4,34	8,53

Adapun eksentrisitas dari torsi tidak terduga adalah eksentrisitas tambahan sebesar 5% dari dimensi arah tegak lurus panjang bentang struktur bangunan tempat gaya gempa bekerja. Perhitungan eksentrisitas tidak terduga dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4. 45. Data Eksentrisitas Torsi Tidak Terduga

Lantai	Panjang bentang total sumbu x (L_x)	Panjang bentang total sumbu y (L_y)	$0,05 L_x$	$0,05 L_y$
	(m)	(m)	(m)	(m)
Atap Dak	50,1	117	2,505	5,85
Lantai 5	50,1	117	2,505	5,85
Lantai 4	50,1	117	2,505	5,85
Lantai 3	50,1	117	2,505	5,85
Lantai 2	50,1	117	2,505	5,85
Lantai 1	50,1	117	2,505	5,85

Berdasarkan Pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019, eksentrisitas torsi tidak terduga harus dikalikan dengan faktor pembesaran momen torsi tidak terduga (A). Faktor pembesaran torsi tidak terduga (A) ditentukan berdasarkan Persamaan 4.9.

$$A = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \times \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \geq 1 \quad (4.9)$$

$$\delta_{\text{avg}} = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2} \quad (4.10)$$

Nilai-nilai $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$, dan δ_{avg} didapat dari beban *envelope* dan merupakan nilai simpangan total bukan simpangan antar tingkat. Perhitungan A_x dan A_y dapat dilihat pada Tabel 4.46 dan Tabel 4.47.

Tabel 4. 46. Nilai dari $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$, δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X

Lantai	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	$A_x =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
Dak	57,365	48,988	53,177	63,812	0,948	Tanpa ketidakberaturan torsi
5	63,021	58,859	60,940	73,128	0,928	Tanpa ketidakberaturan torsi
4	47,79	47,79	47,790	57,348	0,913	Tanpa ketidakberaturan torsi
3	36,656	34,159	35,408	42,489	0,929	Tanpa ketidakberaturan torsi
2	21,227	19,765	20,496	24,595	0,929	Tanpa ketidakberaturan torsi
1	7,199	6,577	6,888	8,266	0,933	Tanpa ketidakberaturan torsi

Tabel 4. 47. Nilai dari $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$, δ_{avg} dan A_y untuk Gempa Arah Y

Lantai	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	$A_y =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
Dak	68,544	66,208	67,376	80,851	0,921	Tanpa ketidakberaturan torsi
5	59,841	57,964	58,903	70,683	0,920	Tanpa ketidakberaturan torsi
4	49,933	48,5	49,217	59,060	0,919	Tanpa ketidakberaturan torsi
3	39,592	38,562	39,077	46,892	0,919	Tanpa ketidakberaturan torsi
2	29,037	28,36	28,699	34,438	0,918	Tanpa ketidakberaturan torsi
1	19,061	18,671	18,866	22,639	0,918	Tanpa ketidakberaturan torsi

Dari Tabel 4.47, nilai faktor amplikasi (A) kurang dari satu sehingga untuk menghitung nilai eksentrisitas desain menggunakan nilai faktor amplifikasi (A) sebesar satu. Eksentrisitas desain merupakan gabungan eksentrisitas torsi bawaan dan torsi tidak terduga dihitung sesuai Persamaan 4.11 dan Persamaan 4.12.

$$e_{dx} = e_{ox} + 0,05 L_x \times A_y \dots\dots\dots (4.11)$$

$$e_{dy} = e_{oy} + 0,05 L_y \times A_x \dots\dots\dots (4.12)$$

Hasil perhitungan eksentrisitas desain pada arah sumbu X dan arah sumbu Y dapat dilihat pada Tabel 4.48 dan 4.49.

Tabel 4. 48. Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu X

Lantai	e_{ox} (m)	$0,05 L_x$ (m)	A_y	e_{dx}	Eksentrisitas, x (m)
Dak	1,070	2,505	1,000	1,435	0,029
5	9,142	2,505	1,000	6,637	0,132
4	9,464	2,505	1,000	6,959	0,139
3	9,281	2,505	1,000	6,776	0,135
2	8,873	2,505	1,000	6,368	0,127
1	4,336	2,505	1,000	1,831	0,037

Tabel 4. 49. Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu Y

Lantai	e_{oy}	$0,05 L_y$	A_x	e_{dy}	Eksentrisitas, y
	(m)	(m)			(m)
Dak	1,833	5,850	1,000	7,683	0,066
5	6,542	5,850	1,000	12,392	0,106
4	6,502	5,850	1,000	12,352	0,106
3	5,634	5,850	1,000	11,484	0,098
2	5,245	5,850	1,000	11,095	0,095
1	8,532	5,850	1,000	14,382	0,123

4.5.6.2. Perhitungan Ketidakberaturan Torsi

Berdasarkan SNI 1726:2019, tipe dari ketidakberaturan torsi yang ditentukan berdasarkan defleksi maksimum (δ_{max}), defleksi minimum (δ_{min}), dan defleksi rata-rata (δ_{avg}). Pengecekan ketidakberaturan torsi arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.50 dan Tabel 4.51.

Tabel 4. 50. Pengecekan Ketidakberaturan Torsi pada Arah X

lantai i	δ_{max}	<i>max story drift</i>	<i>max story drift x C_d</i>	δ_{min}	<i>min story drift</i>	<i>min story drift x C_d</i>	δ_{avg}	1,2 δ_{avg}	1,4 δ_{avg}	Cek x
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak	57,37	8,90	48,92	48,99	8,62	47,38	48,15	57,78	67,41	Tanpa torsi
5	63,02	10,07	55,40	58,86	9,80	53,91	54,65	65,58	76,51	Tanpa Torsi
4	47,79	10,49	57,68	47,79	10,24	56,32	57,00	68,40	79,80	Tanpa Torsi
3	36,66	10,67	58,66	34,16	10,45	57,46	58,06	69,67	81,28	Tanpa Torsi
2	21,23	10,06	55,32	19,77	9,88	54,33	54,83	65,79	76,76	Tanpa Torsi
1	7,20	8,90	48,93	6,58	8,76	48,19	48,56	58,27	67,98	Tanpa Torsi

Tabel 4. 51. Pengecekan Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y

lantai i	δ_{max}	<i>max story drift</i>	<i>max story drift x C_d</i>	δ_{min}	<i>min story drift</i>	<i>min story drift x C_d</i>	δ_{avg}	1,2 δ_{avg}	1,4 δ_{avg}	Cek y
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak	68,54	8,70	47,87	66,21	8,24	45,34	46,60	55,93	65,25	Tanpa torsi
5	59,84	9,91	54,49	57,96	9,46	52,05	53,27	63,92	74,58	Tanpa Torsi

4	49,93	10,34	56,88	48,50	9,94	54,66	55,77	66,92	78,07	Tanpa Torsi
3	39,59	10,56	58,05	38,56	10,20	56,11	57,08	68,50	79,91	Tanpa Torsi
2	29,04	9,98	54,87	28,36	9,69	53,29	54,08	64,89	75,71	Tanpa Torsi
1	19,06	8,86	48,71	18,67	8,64	47,54	48,13	57,75	67,38	Tanpa Torsi

4.5.7. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal

Berdasarkan Tabel 13 dan Tabel 14 pada SNI 1726:2019, ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal pada struktur harus dicek. Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal dan vertikal adalah sebagai berikut:

1. Ketidakberaturan Horizontal

a) Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Hasil pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.52 dan Tabel 4.53.

Tabel 4. 52. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X

Lantai	Gaya Lateral	δ_{max}	δ_{avg}	$\delta_{max} / \delta_{avg}$	Status			
					Cek	1a	Cek	1b
Atap Dak Beton	EX	3,876	3,639	1,065	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 5	EX	6,101	5,359	1,138	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 4	EX	6,066	5,583	1,086	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 3	EX	5,796	5,388	1,076	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 2	EX	5,127	4,749	1,08	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 1	EX	2,549	2,405	1,06	< 1,2	OK	< 1,4	OK

Tabel 4. 53. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y

Lantai	Gaya Lateral	δ_{max}	δ_{avg}	$\delta_{max} / \delta_{avg}$	Status			
					Cek	1a	Cek	1b
Atap Dak Beton	EY	5,9	5,869	1,005	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 5	EY	8,313	7,868	1,057	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 4	EY	8,988	8,464	1,062	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 3	EY	8,598	8,104	1,061	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 2	EY	7,468	6,922	1,079	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Lantai 1	EY	3,438	3,221	1,067	< 1,2	OK	< 1,4	OK

Dari hasil pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b, tidak didapat simpangan antar tingkat maksimum $> 1,2$ kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata (torsi 1a) dan tidak didapat simpangan antar tingkat maksimum $< 1,4$ kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata (torsi 1b).

b) Ketidakberaturan sudut dalam

Struktur mengalami ketidakberaturan sudut dalam dikarenakan bentuk denah yang tidak beraturan yaitu berbentuk siku. Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur.

c) Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Luas bukaan total adalah $1970,6617 \text{ m}^2$ dan luas bruto $19546,66 \text{ m}^2$ maka persentasenya adalah 10,1% sehingga struktur tidak mengalami ketidakberaturan *diskontinuitas* diafragma. Ketidakberaturan ini terjadi apabila memiliki lubang bukaan suatu lantai dimana ukurannya lebih besar daripada 50% ukuran lantai utuhnya.

d) Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 5.

e) Ketidakberaturan sistem non paralel

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan sistem non paralel dikarenakan dinding geser didesain tegak lurus satu sama lain terhadap sumbu x maupun terhadap sumbu y.

2. Ketidakberaturan Vertikal

a) Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b

Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak 1a terjadi jika tingkat kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% dari kekakuan rata-rata ketiga tingkat di atasnya. Hasil pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.54 dan Tabel 4.55.

Tabel 4. 54. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X

Lantai	Load Case	Shear X	Story drift	Kekakuan	Cek 70%	Cek 80%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak Beton	EX	696,3364	0,013	68238,806		
Lantai 5	EX	7034,7051	0,019	1303574,1	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 4	EX	15976,953	0,021	2861533,4	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 3	EX	22824,641	0,020	4235934,7	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 2	EX	27214,296	0,018	5730055,8	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 1	EX	29353,947	0,009	12205195	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 4. 55. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y

Lantai	Load Case	Shear Y	Story drift	Kekakuan	Cek 70%	Cek 80%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak Beton	EY	696,3364	0,032	47,9086		
Lantai 5	EY	7034,705	0,031	7034,7051	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 4	EY	15976,95	0,033	15976,953	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 3	EY	22824,64	0,031	22824,642	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 2	EY	27214,3	0,027	27214,296	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 1	EY	29353,95	0,012	29353,948	Tidak ada	Tidak ada

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1b terjadi jika tingkat kekakuan lateral kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 70% dari kekakuan rata-rata ketiga tingkat di atasnya. Hasil pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1b arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.56 dan Tabel 4.57.

Tabel 4. 56. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X

Lantai	Load Case	Shear X	Story drift	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak Beton	EX	696,3364	0,013	68238,806		
Lantai 5	EX	7034,7051	0,019	1303574,1	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 4	EX	15976,953	0,021	2861533,4	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 3	EX	22824,641	0,020	4235934,7	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 2	EX	27214,296	0,018	5730055,8	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 1	EX	29353,947	0,009	12205195	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 4. 57. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y

Lantai	Load Case	Shear Y	Story drift	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak Beton	EY	696,3364	0,032	47,9086		
Lantai 5	EY	7034,705	0,031	7034,7051	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 4	EY	15976,95	0,033	15976,953	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 3	EY	22824,64	0,031	22824,642	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 2	EY	27214,3	0,027	27214,296	Tidak ada	Tidak ada
Lantai 1	EY	29353,95	0,012	29353,948	Tidak ada	Tidak ada

a) Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan ini terjadi jika massa efektif diseberang tingkat lebih dari 150% massa efektif di dekatnya. Hasil pengecekan ketidakberaturan berat (massa) dapat dilihat pada Tabel 4.58.

Tabel 4. 58. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa (kN)	Dibandingkan dengan 1,5 x massa di lantai atas	Dibandingkan dengan 1,5 x massa di lantai bawah
Atap Dak	21078,325		OK
Lantai 5	230094,71	OK	OK
Lantai 4	424300,93	OK	OK
Lantai 3	450935,96	OK	OK
Lantai 2	456647,6	OK	OK
Lantai 1	500146,22	OK	

b) Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan geometri vertikal dikarenakan dimensi dinding geser yang digunakan memiliki ukuran yang sama sepanjang tinggi bangunan.

c) Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 5.

- d) Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat 5a dan 5b

Hasil pengecekan ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat ditunjukkan pada Tabel 4.59. dan Tabel 4.60.

Tabel 4. 59. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5a

Lantai	Load Case / Combo	Location	V _x	V _y	Cek 80% arah X	Cek 80% arah Y
Atap Dak	Envelope Max	Bottom	696,3364	696,3364		
Lantai 5	Envelope Max	Bottom	7034,705	7034,705	OK	OK
Lantai 4	Envelope Max	Bottom	15976,95	15976,95	OK	OK
Lantai 3	Envelope Max	Bottom	22824,64	22824,64	OK	OK
Lantai 2	Envelope Max	Bottom	27214,29	27214,29	OK	OK
Lantai 1	Envelope Max	Bottom	29353,94	29353,94	OK	OK

Tabel 4. 60. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5b

Lantai	Load Case / Combo	Location	V _x	V _y	Cek 65% arah X	Cek 65% arah Y
Atap Dak	Envelope Max	Bottom	696,3364	696,3364		
Lantai 5	Envelope Max	Bottom	7034,705	7034,705	OK	OK
Lantai 4	Envelope Max	Bottom	15976,95	15976,95	OK	OK
Lantai 3	Envelope Max	Bottom	22824,64	22824,64	OK	OK
Lantai 2	Envelope Max	Bottom	27214,29	27214,29	OK	OK
Lantai 1	Envelope Max	Bottom	29353,94	29353,94	OK	OK

4.5.8. Pengecekan Kontribusi *Frame* Memikul Minimal 25% Gaya Lateral

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1, dalam proses mendesain sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan setidaknya 25% gaya gempa desain sehingga tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser dengan distribusi proporsional terhadap kekakuan.

Berdasarkan hasil perhitungan pada ETABS didapatkan jumlah gaya lateral yang bekerja pada dinding geser dan rangka pemikul momen yang dapat dilihat pada Tabel 4.61.

Tabel 4. 61. Perbandingan Gaya Lateral pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Arah	V_{desain}	$V_{\text{dinding geser}}$		V_{kolom}		Status
	(kN)	(kN)	(%)	(kN)	(%)	
X	29517,13	20738,6989	70,25988	8778,43	29,74012	OK
Y	29699,12	19297,7939	64,97767	10401,32	35,02233	OK

4.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang

4.6.1. Perancangan Pelat

Perilaku pelat dibagi menjadi dua yaitu pelat 1 arah dan pelat 2 arah. Pelat perlu dilakukan pengecekan dengan perbandingan lebar dan panjang pelat (L_x/L_y). Tahapan-tahapan perancangan pelat yang dilakukan, antara lain:

4.6.1.1. Properti Material dan Penampang

Tipe pelat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26. Tipe Pelat

Panjang pelat arah sumbu X (L_x) = 3900 mm

Panjang pelat arah sumbu Y (L_y) = 3900 mm

Perbandingan panjang pelat ($\frac{L_y}{L_x}$) = $\frac{3,9}{3,9} = 1$

Jenis pelat = 2 arah, karena $L_y / L_x \leq 2$

Tebal pelat (h) = 130 mm

Diamater tulangan (d_b) = 10 mm

Tebal selimut bersih (c_c) = 20 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)

$$\begin{aligned}\text{Tebal efektif penampang } (d) &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 130 - 20 - 10 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Kuat tekan beton } (f_c') = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh tulangan } (f_y) = 420 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas beton } (E_c) &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{420} \\ &= 25743 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Faktor distribusi tegangan } (\beta_1)$$

(SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(30 - 28)}{7} \\ &= 0,8357\end{aligned}$$

$$\text{Faktor modifikasi } (\lambda)$$

(SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

4.6.1.2. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan pelat diambil dari analisis menggunakan ETABS sebagai berikut:

- $M_{\max}$ akibat $M_{11 \max}$ = 14,344 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{11 \min}$ = -17,304 kN-m
- $M_{\max}$ akibat $M_{22 \max}$ = 10,004 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{22 \min}$ = -13,875 kN-m
- V_u = 14,875 kN

4.6.1.3. Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m')

a) Momen Positif M_{11}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)
- $s = 150 \text{ mm}$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 260 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 6,67 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min1} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \end{aligned}$$

$$= 182 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 234 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} = 523,599 \geq 234 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 8,624 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 523,599 \times 420 \times \left(90 - \frac{8,624}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 17,744 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,624}{0,8357} = 10,319 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 = \frac{(95-10,319)}{10,319} \times 0,003 = 0,025$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 19,943 \\ &= 17,949 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{11 \max}| \\ &= |14,344| \\ &= 14,344 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 17,949 > 14,344 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

b) Momen Negatif M_{11}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 250 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 6,67 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 182 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = 234 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} = 523,599 \geq 234 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 8,624 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 523,599 \times 420 \times \left(90 - \frac{8,624}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 19,943 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,624}{0,8357} = 10,319 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 = \frac{(90-9,587)}{9,587} \times 0,003 = 0,025$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ε_{ty})

$$\varepsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 19,943 \\ &= 17,949 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{11 \min}| \\ &= |-17,304| \\ &= 17,304 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \phi M_n > M_u$$

$$= 17,949 > 17,304 \rightarrow \text{OK}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

c) Momen Positif M_{22}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 250 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 6,67 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420$ MPa

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 182 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \min} = 234 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \min} \\ &= 523,599 \geq 234 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 8,624 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 523,599 \times 420 \times \left(90 - \frac{8,624}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 19,943 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,624}{0,8357} = 10,319 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 = \frac{(90-10,319)}{10,319} \times 0,003 = 0,025$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 2,57\end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 17,744 \\ &= 15,970 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{22 \max}| \\ &= |10,004| \\ &= 10,004 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 15,970 > 10,004 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

d) Momen Negatif M_{22}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 260 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 6,67 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 182 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \min = 234 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_s \min$:

$$\text{Syarat} = A_s \text{ pasang} \geq A_s \min = 523,599 \geq 234 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 8,624 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 523,599 \times 420 \times \left(90 - \frac{8,624}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 19,943 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,624}{0,8357} = 10,319 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 = \frac{(90-10,319)}{10,319} \times 0,003 = 0,025$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

- Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 17,744 \\ &= 15,970 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{22 \min}| \\ &= |-13,875| \\ &= 13,875 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 15,970 > 13,875 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 – 150

e) Tulangan Minimum

(untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 130 = 250 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 250 \rightarrow \text{OK}$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 6,67 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 125 \\ &= 234 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 182 \text{ mm}^2 \\ A_{s \text{ min}} &= 234 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)} \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\ &= 523,599 \geq 234 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

4.6.1.4. Pengecekan Kapasitas Geser

- Kapasitas geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{33,2} \times 1000 \times 95/1000 \\ &= 88,457 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$

- Ambang batas geser pelat

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.3.1)

$$\begin{aligned}\text{Batas} &= 0,5 \times \phi \times V_c \\ &= 0,5 \times 0,75 \times 88,457 \\ &= 33,171 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Cek keperluan tulangan geser pelat

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= V_u > 0,5 \times \phi \times V_c \\ &= 14,875 < 33,171 \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}\end{aligned}$$

4.6.1.5. Pengecekan Lendutan Pelat

a) Kapasitas Retak Lentur

- Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 130^3 = 18308333 \text{ mm}^4$$

- Tegangan retak (f_r)

$$f_r = 0,62 \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times \sqrt{30} = 3,396 \text{ MPa}$$

- Garis netral (y)

$$y = \frac{h}{2} = \frac{130}{2} = 65 \text{ mm}$$

- Kapasitas retak lentur (M_{cr})

$$M_{cr} = f_r \times \frac{I_g}{y} \times 10^{-6} = 3,396 \times \frac{18308333}{65} \times 10^{-6} = 9,565 \text{ kNm}$$

- Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = 0,25 \times I_g = 0,25 \times 18308333 = 45770833 \text{ mm}^4$$

b) Lendutan Arah Sumbu X

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{11 \text{ max}}$ akibat DL = 3,452 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat DL = -4,714 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat $SIDL$ = 1,907 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat $SIDL$ = -2,222 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat LL = 3,887 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat LL = -6,091 kN-m

▪ Data hasil olah gaya dalam :

$$\begin{aligned}
 - M_a \text{ lapangan (+)} &= \sum M_{11 \text{ max}} \\
 &= 3,452 + 1,907 + 3,887 \\
 &= 9,246 \text{ kN-m} \\
 - M_a \text{ tumpuan (-)} &= \sum M_{11 \text{ min}} \\
 &= -4,714 + -2,222 + (-6,091) \\
 &= -13,027 \text{ kN-m} \\
 - M_{cr} / M_a \text{ lapangan} &= 9,565 / 9,246 \\
 &= 1,035 \text{ kN-m} \\
 - M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} &= 9,565 / 13,027 \\
 &= 0,734 \text{ kN-m} \\
 - I_e \text{ lapangan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\
 &= (1,1)^3 \times 1,83 \times 10^8 + [1 - (1,03)^3] \times 4,57 \times 10^7 \\
 &= 183083333 \text{ mm}^4 \\
 I_e \text{ lapangan dipakai} &= I_g = 183083333 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} > I_g) \\
 - I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\
 &= (0,73)^3 \times 1,83 \times 10^8 + [1 - (0,7)^3] \times 4,57 \times 10^7 \\
 &= 100125914 \text{ mm}^4 \\
 I_e \text{ tumpuan dipakai} &= I_g = 100125914 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g) \\
 - I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan} \\
 &= 0,5 \times 183083333 + 0,5 \times 100125914 \\
 &= 141604624 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat DL (δ_{DL})

$$\begin{aligned}
 \delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
 &= \frac{\frac{5}{48} \times 7800 \times (3,452 + 0,2 \times 4,714)}{25743 \times 141604624} \times 10^6 \\
 &= 7,640 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat $SIDL$ (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}
 \delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
 &= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (1,907 + 0,2 \times -2,222)}{25743 \times 141604624} \times 10^6
 \end{aligned}$$

$$= 4,088 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (3,887 + 0,2 \times 6,091)}{25743 \times 141604624} \times 10^6 \\ &= 8,876 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{7800}{360} = 21,667 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\text{Cek} &= \delta_{LL} < \frac{L}{360} \\ &= 8,876 < 21,667 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{529,599}{1000 \times 95} = 0,00557$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,00557} = 1,564$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned}\delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,564 \times (7,640 + 4,088) + 8,876 \\ &= 27,219 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{7800}{240} = 32,500 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\begin{aligned}\text{Cek} &= \delta_{LT} < \frac{L}{240} \\ &= 27,219 < 32,500 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Lendutan Arah Sumbu Y

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{22 \text{ max}}$ akibat DL = 3,428 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat DL = -4,605 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat $SIDL$ = 2,707 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat $SIDL$ = -4,969 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat LL = 4,265 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat LL = -1,865 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- $M_a \text{ lapangan (+)}$ = $\sum M_{22 \text{ max}}$
= 3,428 + 2,707 + 4,265
= 10,400 kN-m
- $M_a \text{ tumpuan (-)}$ = $\sum M_{22 \text{ min}}$
= -4,605 + (-4,969) + (-1,865)
= -11,439 kN-m
- $M_{cr} / M_a \text{ lapangan}$ = 9,565 / 10,400
= 0,920 kN-m
- $M_{cr} / M_a \text{ tumpuan}$ = 9,565 / 11,439
= 0,836 kN-m
- $I_e \text{ lapangan}$ = $\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$
= $(0,92)^3 \times 1,83 \times 10^8 + [1 - (0,8)^3] \times 4,57 \times 10^7$
= 152595948 mm⁴
- $I_e \text{ lapangan dipakai}$ = 152595948 mm⁴ (karena $I_e \text{ lapangan} < I_g$)
- $I_e \text{ tumpuan}$ = $\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$
= $(0,84)^3 \times 1,83 \times 10^8 + [1 - (0,8)^3] \times 4,57 \times 10^7$
= 126051174 mm⁴
- $I_e \text{ tumpuan dipakai}$ = $I_g = 126051174 \text{ mm}^4$ (karena $I_e \text{ tumpuan} > I_g$)
- $I_e \text{ rata-rata}$ = $0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan}$
= $0,5 \times 152595948 + 0,5 \times 126051174$
= 139323561 mm⁴

- Lendutan seketika akibat DL (δ_{DL})

$$\begin{aligned}\delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 7800 \times (3,428 + 0,2 \times 4,605)}{25743 \times 139323561} \times 10^6 \\ &= 7,685 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat $SIDL$ (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 7800 \times (2,707 + 0,2 \times 4,969)}{25743 \times 139323561} \times 10^6 \\ &= 6,539 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 7800 \times (4,265 + 0,2 \times 1,865)}{25743 \times 139323561} \times 10^6 \\ &= 8,195 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{7800}{360} = 21,667 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\text{Cek} &= \delta_{LL} < \frac{L}{360} \\ &= 8,195 < 21,667 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \times d} = \frac{529,599}{1000 \times 95} = 0,00557$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,00557} = 1,564$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned}\delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,564 \times (7,685 + 6,539) + 8,195\end{aligned}$$

$$= 30,497 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{7800}{240} = 32,500 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\text{Cek} = \delta_{LT} < \frac{L}{240}$$

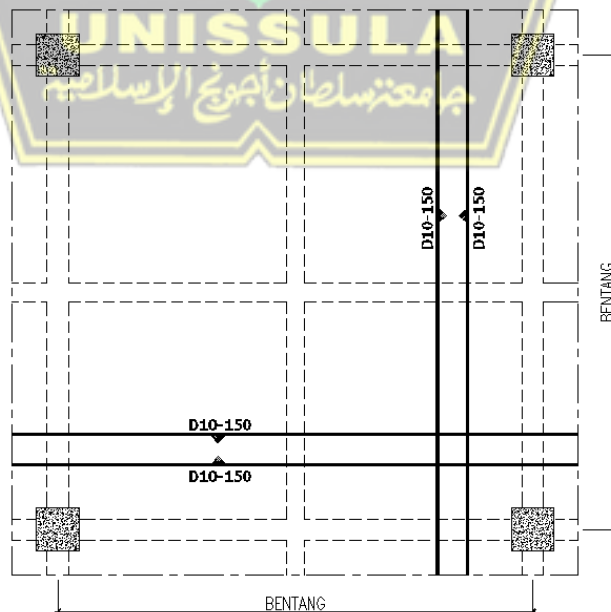
$$= 30,497 < 32,500 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.1.6. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Rekapitulasi hasil tulangan pelat dan gambar penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.62 dan Gambar 4.27.

Tabel 4. 62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	3,9	3,9	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
S2	3,9	3,9	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150



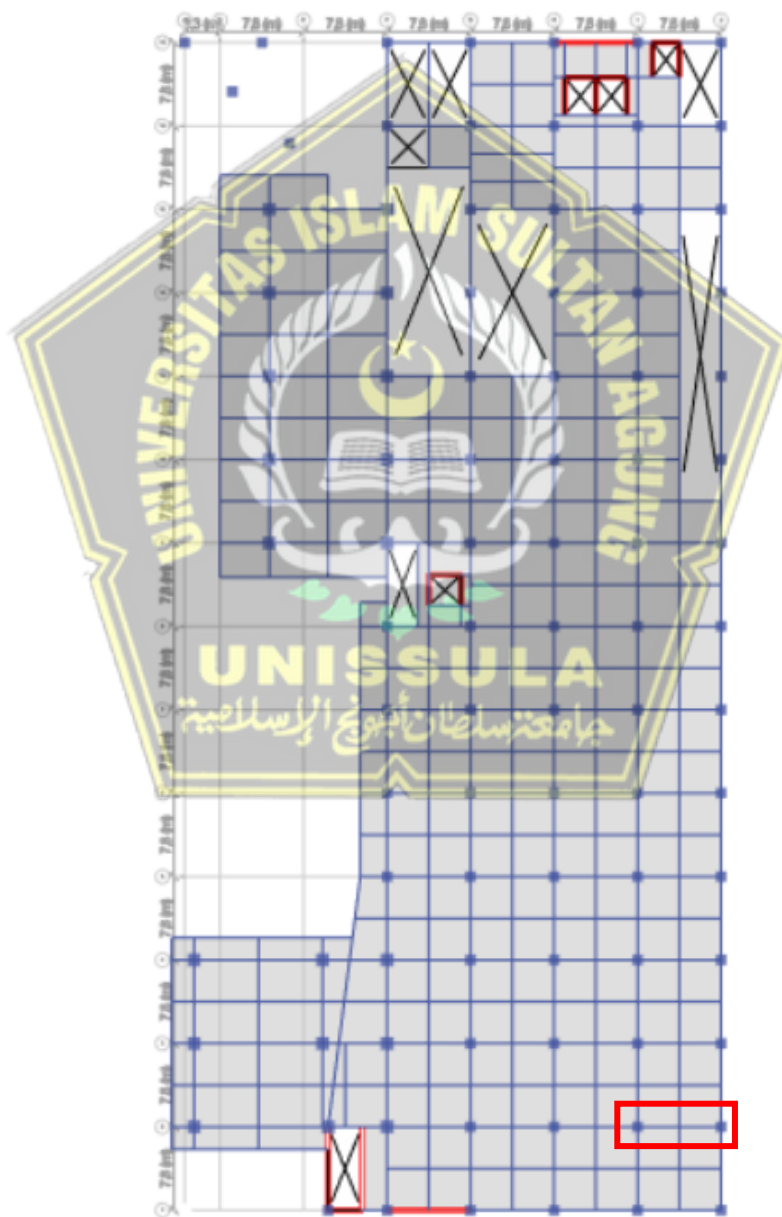
Gambar 4.27. Penulangan Pelat

4.6.2. Perancangan Balok

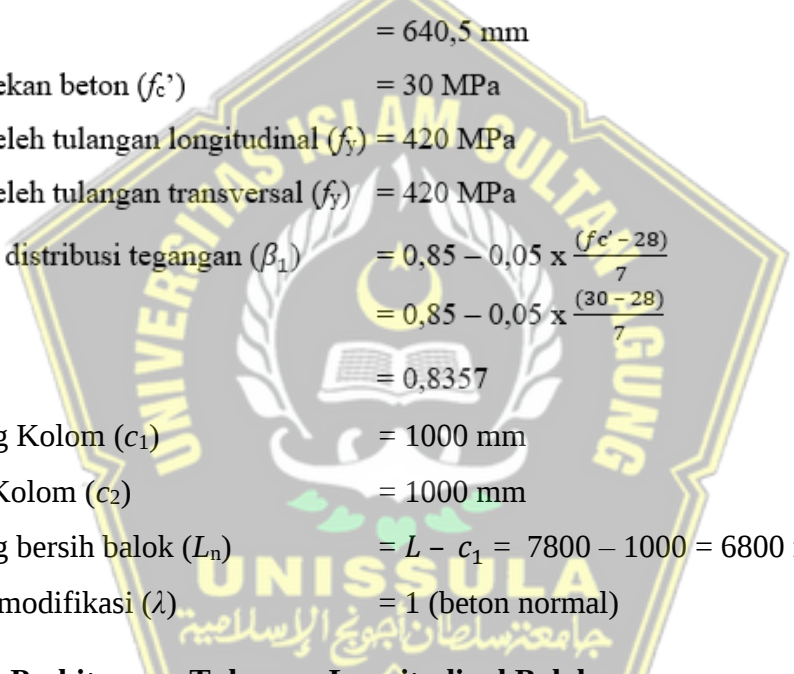
Perhitungan tulangan lentur balok, tulangan geser, dan perhitungan torsi balok dilakukan secara konvensional sebagai bagian dari analisis kapasitas perancangan balok berdasarkan SRPMK untuk menentukan jumlah beban yang diperlukan.

4.6.2.1. Properti Material dan Penampang

Tipe balok yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah balok G1 pada tingkat kelima yang ditunjukkan Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Denah Balok G1 Sampel



Panjang balok (L) = 7800 mm
 Lebar balok (b) = 350 mm
 Tinggi balok (h) = 700 mm
 Panjang tumpuan = $2 \times h = 2 \times 700 = 1400$ mm
 Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 19 mm
 Diameter tulangan pinggang (d_{bt}) = 10 mm
 Diameter tulangan sengkang (d_s) = 10 mm
 Tebal selimut bersih (c_c) = 40 mm
 Tebal efektif balok (d) = $h - c_c - d_s - d_b/2$
 = $700 - 40 - 10 - 19/2$
 = 640,5 mm
 Kuat tekan beton (f'_c) = 30 MPa
 Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) = 420 MPa
 Kuat leleh tulangan transversal (f_y) = 420 MPa
 Faktor distribusi tegangan (β_1) = $0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$
 = $0,85 - 0,05 \times \frac{(30 - 28)}{7}$
 = 0,8357
 Panjang Kolom (c_1) = 1000 mm
 Lebar Kolom (c_2) = 1000 mm
 Panjang bersih balok (L_n) = $L - c_1 = 7800 - 1000 = 6800$ mm
 Faktor modifikasi (λ) = 1 (beton normal)

4.6.2.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal balok yang dilakukan, antara lain:

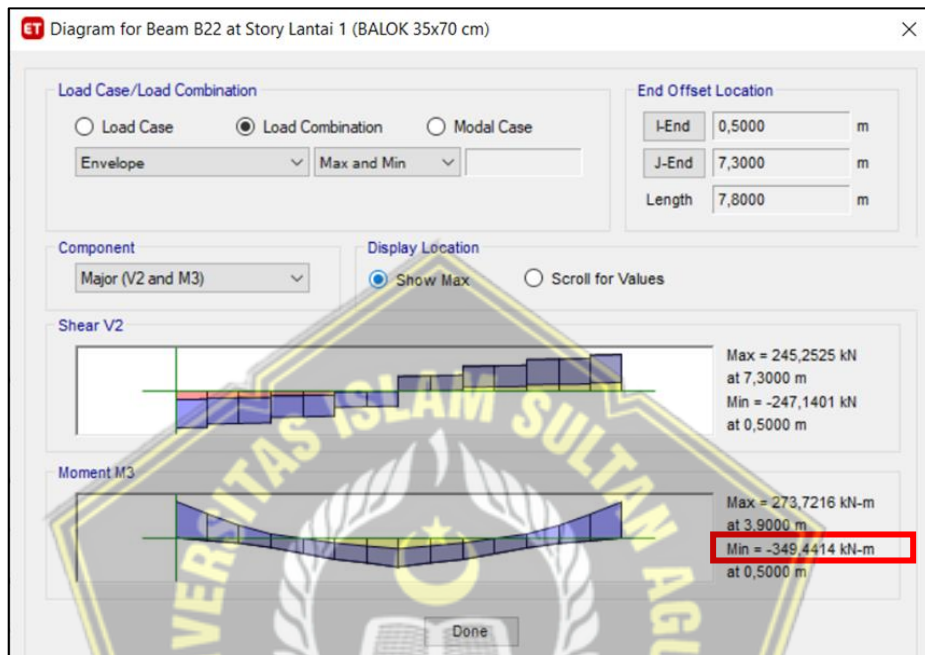
1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa momen ultimit tumpuan dan lapangan pada balok B1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal balok sebagai berikut:

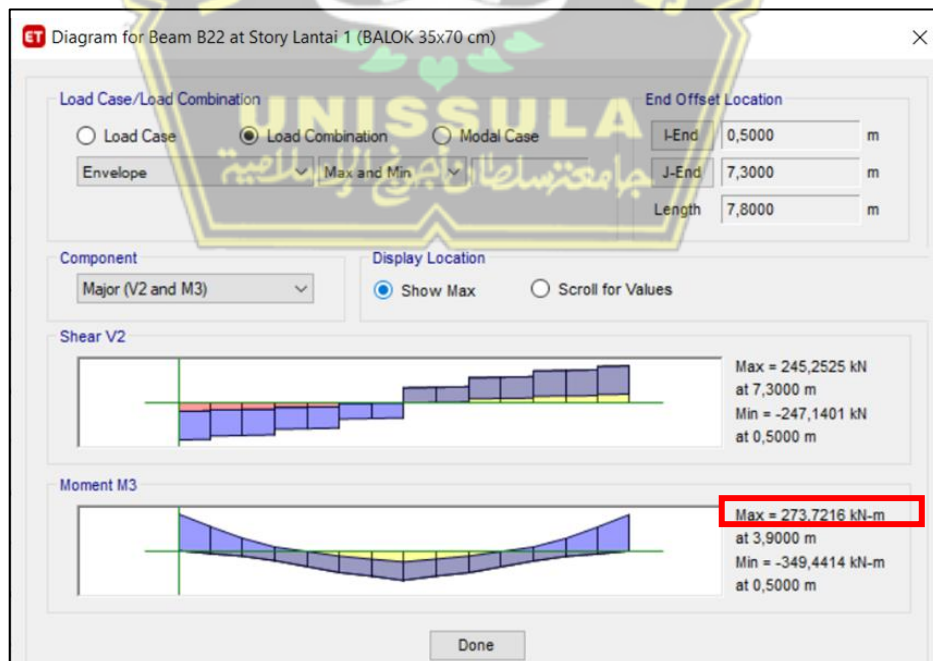
- M_u tumpuan (-) = -349,442 kN-m
- M_u tumpuan (+) = 82,7123 kN-m
- M_u lapangan (-) = -222,55 kN-m

- M_u lapangan (+) = 273,7216 kN-m
- P_u = 0 kN

Tampilan momen ultimit tumpuan dan lapangan pada balok B1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.



Gambar 4.29. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1



Gambar 4.30. Momen Ultimit Lapangan Balok G1

2. Syarat Gaya dan Geometri

a) Syarat Gaya Aksial

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan R18.6.1 dan Pasal 18.6.4.7)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= P_u \leq 0,1 A_g \times f'_c \\ &= 0 \leq 0,1 \times 350 \times 700 \times 30 \\ &= 0 \leq 735000 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b) Syarat Tinggi Efektif

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= L_n \geq 4 d \\ &= 8300 \geq 4 \times 640,5 \\ &= 8300 \geq 2562 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Syarat Lebar 1

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \geq \text{minimal } (0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm}) \rightarrow \text{ambil nilai terkecil} \\ &= 350 \geq \text{minimal } (0,3 \times 700 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\ &= 350 \geq \text{minimal } (210 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\ &= 350 \geq 210 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

d) Syarat Lebar 2

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal } (c_2 \text{ atau } 0,75 c_1) \rightarrow \text{ambil terkecil} \\ &= 350 \leq 700 + 2 \times \text{minimal } (1000 \text{ atau } 0,75 \times 1000) \\ &= 350 \leq 700 + 2 \times \text{minimal } (1000 \text{ atau } 750) \\ &= 350 \leq 700 + 2 \times 750 \\ &= 350 \leq 2200 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n)

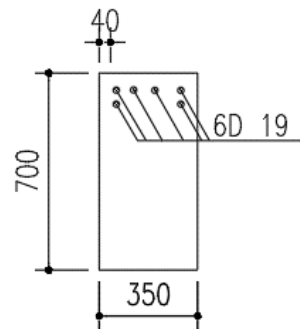
$$n = 6$$

- Diamater tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\text{Jarak bersih} = \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1}$$



$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 19}{6 - 1}$$

$$= 27,200 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak Bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 27,200 \geq \text{maksimal } (19 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 27,200 \geq 25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 1700,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)
- (SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 730,867 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} \text{ atau } A_{s \text{ min } 2}) \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek A_s min :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} \\ &= 1700,31 \geq 747,250 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{1700,31}{350 \times 640,5} = 0,0076$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\rho_{\text{max } 1} = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

$$= 0,02238$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho_{\max} = \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2})$$

$$= 0,025$$

- Cek $A_s \text{ max}$:

$$\text{Syarat} = \rho \leq \rho_{\max}$$

$$= 0,0076 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= 1700,31 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$= 80,015 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 1700,31 \times 420 \times \left(640,5 - \frac{80,015}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 428,830 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{80,015}{0,8357} = 95,744 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{(640,5-95,744)}{95,744} \times 0,003$$

$$= 0,017$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,017 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 428,830 \\ &= 385,947 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{u \text{ tumpuan}} (-)| \\ &= |-349,442| \\ &= 349,442 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 385,947 > \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{349,442}{420 \times (640,5 - \frac{80,015}{2})} \times 10^6 \\ &= 1385,537 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah tulangan tumpuan bawah (n)

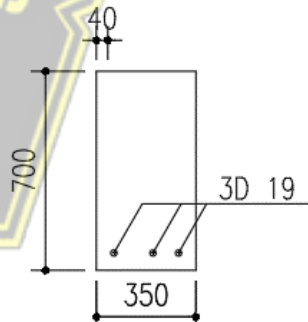
$$n = 3$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1} \\ &= 96,5 \text{ mm}\end{aligned}$$



- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 96,5 \geq \text{maksimal } (19 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 96,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 730,867 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 3} &= 0,5 \times A_s \text{ tumpuan (-)} \\ &= 0,5 \times 1700,310 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum} (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_s \text{ min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} \\ &= 850,155 \geq 850,155 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{850,155}{350 \times 640,5} = 0,0038$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max } 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max}} &= \text{maksimum} (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2}) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,0038 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 850,155 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 40,007 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 850,155 \times 420 \times \left(640,5 - \frac{40,007}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 221,558 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{40,007}{0,8357} = 47,872 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(640,5-47,872)}{47,872} \times 0,003 \\ &= 0,037\end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,037 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 221,558 \\ &= 199,402 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan (+)}}| \\ &= |82,7123| \\ &= 82,7123 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 199,402 > 82,7123 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{82,7123}{420 \times (640,5 - \frac{40,007}{2})} \times 10^6 \\ &= 317,381 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

5. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n)

$$n = 4$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19}{4 - 1} \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

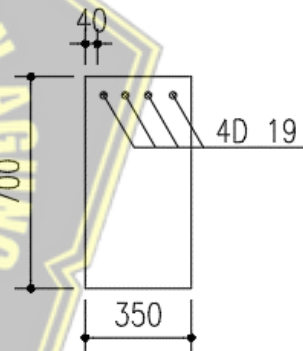
- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak Bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 58 \geq \text{maksimal } (19 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 58 \geq 25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 730,867 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 3} &= 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\ &= 0,25 \times 1700,310 \\ &= 425,078 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \text{maksimum } (A_{s \min 1} ; A_{s \min 2} ; \text{ atau } A_{s \min 3}) \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \min} \\ &= 1134,115 \geq 747,250 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1134,115}{350 \times 640,5} = 0,0051$$

- Rasio tulangan maksimum ($\rho_{\max}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,0051 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 1134,115 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 53,370 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 1134,115 \times 420 \times \left(640,5 - \frac{53,370}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 292,377 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{53,370}{0,8357} = 63,862 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(640,5-63,862)}{63,862} \times 0,003 \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,027 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 292,377 \\ &= 263,140 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ lapangan}} (-)| \\ &= |-222,550| \\ &= 222,550 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 263,140 > 222,550 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{222,550}{420 \times (640,5 - \frac{53,370}{2})} \times 10^6 \\ &= 863,258 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

6. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n)

$$n = 5$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19}{5 - 1} \\ &= 38,750 \text{ mm}\end{aligned}$$

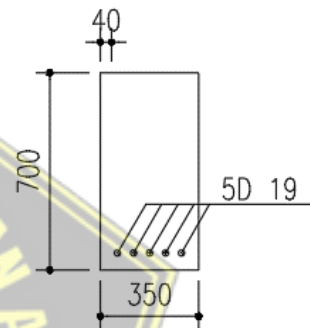
- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 38,750 \geq \text{maksimal } (19 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 38,750 \geq 25 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 1417,644 \text{ mm}^2\end{aligned}$$



- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 350 \times 640,5 \\ &= 730,867 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 640,4 \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 3} &= 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\ &= 0,25 \times 1700,310 \\ &= 425,078 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \text{maksimum } (A_{s \min 1} ; A_{s \min 2} ; \text{ atau } A_{s \min 3}) \\ &= 747,250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \min} \\ &= 1417,644 \geq 747,250 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1417,644}{350 \times 640,5} = 0,0063$$

- Rasio tulangan maksimum ($\rho_{\max}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0224 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,0063 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 1417,644 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 66,713 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 1417,644 \times 420 \times \left(640,5 - \frac{66,713}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 361,500 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{66,713}{0,8357} = 79,827 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(640,5-79,827)}{79,827} \times 0,003 \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,021 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 361,500 \\ &= 325,350 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ lapangan}} (+)| \\ &= |273,722| \\ &= 273,722 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 325,350 > 273,722 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

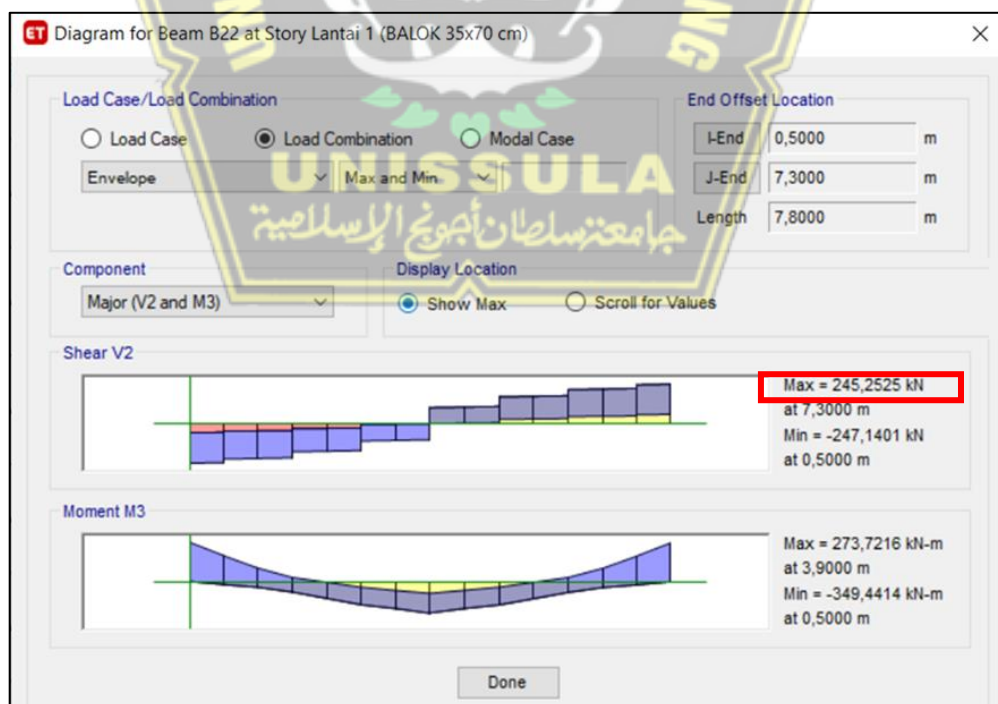
$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{273,722}{420 \times (640,5 - \frac{66,713}{2})} \times 10^6 \\ &= 1073,417 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.6.2.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok

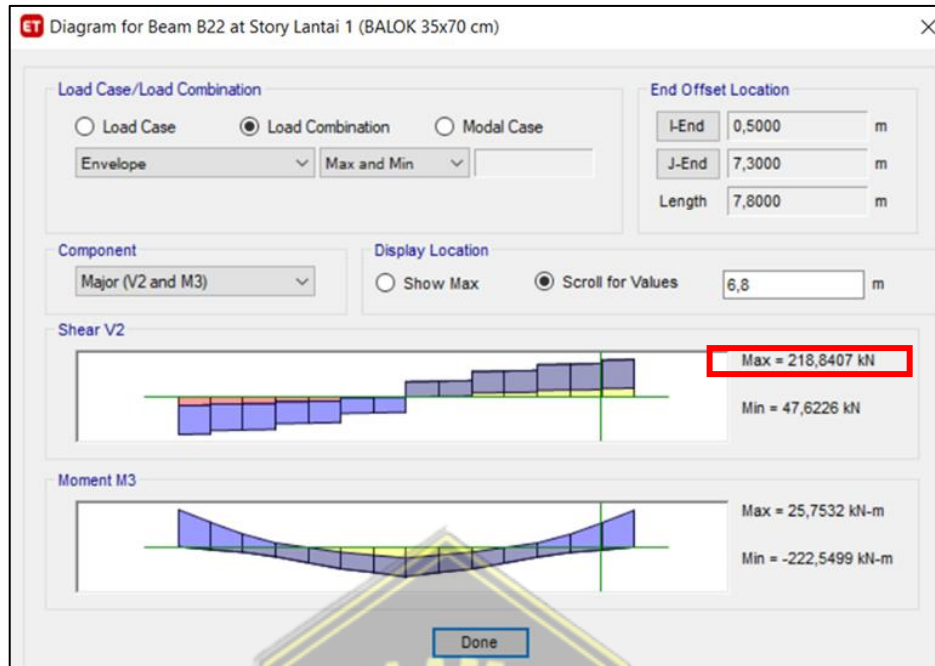
Tulangan transversal pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1. Tampilan gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32.



Gambar 4.31. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok G1



Gambar 4.32. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok G1

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok B1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan transversal balok sebagai berikut:

- V_u tumpuan = 245,253 kN
- V_u lapangan = 218,841 kN

2. Tulangan Transversal Tumpuan

a) Gaya Desain

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R18.6.5)

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi dengan kombinasi $1,2 D + L$ yang didapat dari ETABS didapatkan hasil sebagai berikut:

$$V_g \text{ tumpuan} = -200,675 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal balok di atas, didapatkan luas tulangan pada daerah tumpuan sebagai berikut:

$$A_s^+ \text{ tumpuan} = 850,155 \text{ mm}^2$$

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 1700,310 \text{ mm}^2$$

- *Probable Moment Capacities (M_{pr})*

$$\begin{aligned} a_{pr}^{+} &= 1,25 a \text{ (tumpuan positif desain lentur)} \\ &= 1,25 \times 40,007 \\ &= 50,009 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{pr}^{-} &= 1,25 a \text{ (tumpuan negatif desain lentur)} \\ &= 1,25 \times 80,015 \\ &= 100,018 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^{+} &= A_s^{+} \times 1,25 f_y \times (d - \frac{a_{pr}^{+}}{2}) \\ &= 850,155 \times 1,25 \times 420 \times (640,5 - \frac{50,009}{2}) \\ &= 274714927 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^{-} &= A_s^{-} \times 1,25 f_y \times (d - \frac{a_{pr}^{-}}{2}) \\ &= 1700,310 \times 1,25 \times 420 \times (640,5 - \frac{100,018}{2}) \\ &= 527109215 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} V_{sway} \text{ atau } V_{pr} &= \frac{M_{pr}^{+} + M_{pr}^{-}}{L_n} \\ &= \frac{274714927 + 527109215}{6800} \\ &= 117915 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Desain Akibat Goyangan (V_e)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser desain akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} V_e &= V_g + V_{pr} \\ &= -200,675 \times 10^3 + 117915 \\ &= -82760 \text{ N} \end{aligned}$$

b) Tahanan Geser Beton

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

$$V_{sway} \text{ atau } V_{pr} = 117915 \text{ N}$$

- $\frac{1}{2}$ Gaya Geser Desain Akibat Goyangan ($\frac{1}{2} V_e$)

$$\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} \times -82760 = -41380 \text{ N}$$

- Gaya Aksial Terfaktor (P_u)

$$P_u = 0 \text{ N}$$

- Menghitung $A_g f_c' / 20$:

$$\frac{A_g f_c'}{20} = \frac{350 \times 700 \times 30}{20} = 367500 \text{ N}$$

- Kuat Geser Nominal Beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.2)

$$\text{Syarat} = V_c = 0, \text{ jika } V_{pr} \geq \frac{1}{2} V_e \text{ dan } P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$$

$$V_{pr} \geq \frac{1}{2} V_e = 117915 \geq -41380 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_u < \frac{A_g f_c'}{20} = 0 < 406700 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_c = 0$$

c) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.4)

$$s_{\max 1} = \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 640,5 = 160,13 \text{ mm}$$

$$s_{\max 2} = 6 \times d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$s_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = \text{minimal } (s_{\max 1} ; s_{\max 2} ; \text{atau } s_{\max 3})$$

$$= 150 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 100 < 150 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{235,619 \times 420 \times 640,5}{100} \\ &= 633840 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 640,5 \\ &= 810386 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 633840 \\ &= 633840 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 810386 \\ &= 475380 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\ &= 191,437 \times 10^3 \\ &= 245253 \text{ N} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\ &= \frac{475380}{245253} \geq 1 \\ &= 1,938 \geq 1 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

3. Tulangan Transversal Lapangan

a) Gaya Dalam

$$V_u \text{ lapangan} = 218,841 \text{ kN}$$

b) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 2$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 157,080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.6)

$$s_{\max} = \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 640,5 = 320,25 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 320,25 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{157,080 \times 420 \times 640,5}{150} \\ &= 281707 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 640,5 \\ &= 810386 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 640,5 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 208736 + 281707 \\ &= 490442 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 490442 \\ &= 367832 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= V_{u \text{ lapangan}} \times 10^3 \\ &= 218,841 \times 10^3 \\ &= 218,841 \text{ N} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\ &= \frac{367832}{218,841} \geq 1 \\ &= 1,681 \geq 1 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.6.2.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Tulangan torsi pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya torsi yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Parameter Umum untuk Perhitungan Torsi

- Luas dibatasi keliling luar penampang beton (A_{cp})

$$A_{cp} = b \times h = 350 \times 700 = 245000 \text{ mm}^2$$

- Keliling luar penampang beton (p_{cp})

$$\begin{aligned} p_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (350 + 700) \\ &= 2100 \text{ mm} \end{aligned}$$

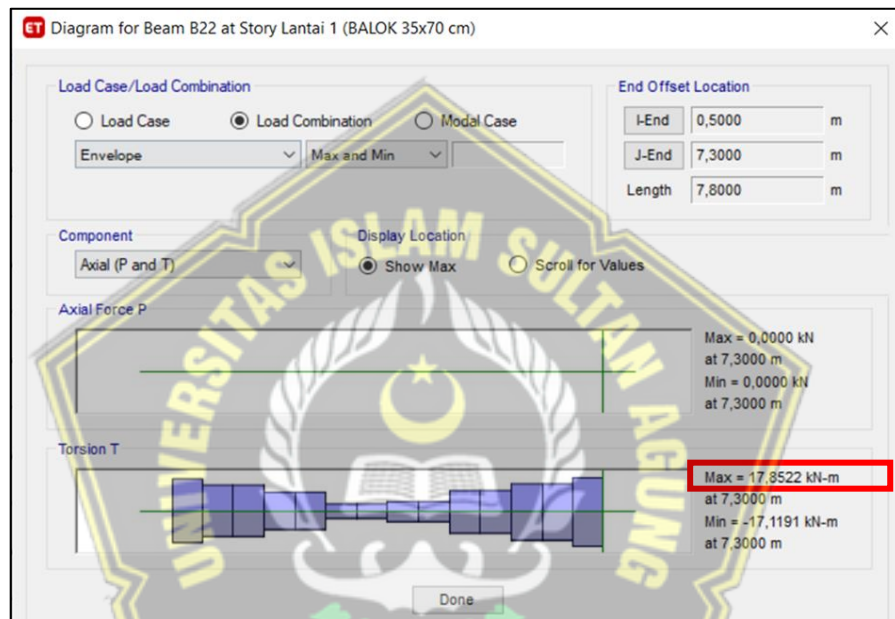
- $x_0 = b - 2c_c - d_s$
 $= 350 - 2 \times 40 - 10$
 $= 260 \text{ mm}$
- $y_0 = h - 2c_c - d_s$
 $= 700 - 2 \times 40 - 10$
 $= 610 \text{ mm}$
- Luas lingkup garis pusat tulangan torsi (A_{oh})
 (SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R22.7.6.1.1)
 $A_{oh} = x_0 \times y_0$
 $= 260 \times 610$
 $= 158600 \text{ mm}^2$
- Luas bruto lingkup lintasan alir geser (A_o)
 (SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1.1)
 $A_o = 0,85 \times A_{oh}$
 $= 0,85 \times 158600$
 $= 134810 \text{ mm}^2$
- Keliling garis pusat tulangan torsi (p_h)
 (SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)
 $p_h = 2 \times (x_0 + y_0)$
 $= 2 \times (260 + 610)$
 $= 1740 \text{ mm}$
- Kuat leleh tulangan (f_y)
 $f_y = 420 \text{ MPa}$
- Kuat leleh tulangan torsi (f_{yt})
 $f_{yt} = f_y = 420 \text{ MPa}$
- Menghitung f_y / f_{yt} :
 $\frac{f_y}{f_{yt}} = \frac{420}{420} = 1$
- Sudut antara sumbu *strut* dan kord (θ)
 (SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.6.1.2)
 $\theta = 45^\circ \text{ (non prategang)}$

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan torsi balok sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_u &= 17,852 \text{ kN-m} \\
 &= 17,852 \times 10^6 \\
 &= 17852000 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

Tampilan gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33. Gaya Torsi Balok G1

3. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Momen retak torsi (T_{cr})

$$\begin{aligned}
 T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \\
 &= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{245000^2}{2100} \\
 &= 51663930 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat torsi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas torsi tereduksi (ϕT_{cr})

$$\begin{aligned}
 \phi T_{cr} &= \phi \times T_{cr} \\
 &= 0,75 \times 51663930 \\
 &= 38747947,68 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

- Cek perlu tulangan torsi :

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.4.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= T_u > \frac{1}{4} \phi T_{cr} \\
 &= 17852000 > \frac{1}{4} \times 38747947,68 \\
 &= 17852000 > 9686986,92 \rightarrow \text{Perlu}
 \end{aligned}$$

4. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- Momen torsi ultimit yang dipakai (T_u pakai)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.3.2 dan 22.7.5)

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ pakai} &= \text{minimal } (\phi T_{cr} \text{ atau } T_u) \\
 &= \text{minimal } (38747947,68 \text{ atau } 17852000) \\
 &= 17852000 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}
 V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\
 &= 245,253 \times 10^3 \\
 &= 245253 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 640,5 \\
 &= 208736 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan ultimit geser + torsi} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{245253}{350 \times 640,5}\right)^2 + \left(\frac{17852000 \times 1740}{1,7 \times 158600^2}\right)^2} \\
 &= 1,313 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas tegangan beton

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas tegangan beton} &= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right) \\ &= \phi \times \left(\frac{208736}{350 \times 640,5} + 0,66 \times \sqrt{30} \right) \\ &= 3,410 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Cek dimensi penampang :

$$\begin{aligned}\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} &\leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right) \\ 1,313 &\leq 3,410 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki (n)

$$n_{\text{tumpuan}} = 3$$

$$n_{\text{lapangan}} = 2$$

- Spasi tulangan (s)

$$s_{\text{tumpuan}} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{lapangan}} = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.6.3.3)

$$s_{\text{max } 1} = \frac{1}{8} \times p_h = \frac{1}{8} \times 1740 = 218 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max } 2} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}s_{\text{max}} &= \text{minimal } (s_{\text{max } 1} \text{ atau } s_{\text{max } 2}) \\ &= 218 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s_{\text{tumpuan}} < s_{\text{max}} = 100 < 218 \rightarrow \text{OK}$$

$$s_{\text{lapangan}} < s_{\text{max}} = 150 < 218 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t})

$$\begin{aligned}A_{v+t \text{ tumpuan}} &= n_{\text{tumpuan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} \text{ lapangan} &= n \text{ lapangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 157 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi pasang (s_{pasang})

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &= \frac{A_{v+t} \text{ tumpuan}}{s_{\text{tumpuan pasang}}} \\
 &= \frac{235,619}{100} \\
 &= 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &= \frac{A_{v+t} \text{ lapangan}}{s_{\text{lapangan pasang}}} \\
 &= \frac{157}{150} \\
 &= 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas satu kaki sengkang penahan torsi (A_t) / spasi (s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}} \\
 &= \frac{17852000}{2 \times 0,75 \times 134810 \times 420} \\
 &= 0,210 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser (A_v) / spasi perlu (s_{perlu})

$$\begin{aligned}
 A_v / s \text{ tumpuan perlu} &= \left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c \text{ tumpuan} \right) / (f_y \times d) \\
 &= \left(\frac{245253}{0,75} - 0 \right) / (420 \times 640,5) \\
 &= 1,216 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v / s \text{ lapangan perlu} &= \left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \text{ lapangan} \right) / (f_y \times d) \\
 &= \left(\frac{218841}{0,75} - 208736 \right) / (420 \times 640,5) \\
 &= 0,309 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi perlu (s_{perlu})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R9.5.4.3)

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ tumpuan perlu} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s \text{ tumpuan perlu}) \\
 &= 2 \times 0,210 + 1,216 \\
 &= 1,636 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ lapangan perlu} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s \text{ lapangan perlu}) \\
 &= 2 \times 0,210 + 0,309 \\
 &= 0,729 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi minimum ($s_{\min}$)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\min 1} &= 0,062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{b}{f_y} \\
 &= 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{350}{420} \\
 &= 0,283 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\min 2} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\
 &= 0,35 \times \frac{350}{420} \\
 &= 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\min} &= \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\min 1} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min 2}) \\
 &= 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi :

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &\geq \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min}) \\
 1,216 &\geq \text{maksimum } (1,636 \text{ atau } 0,292) \\
 1,216 &\geq 1,636 \rightarrow \text{OK} \\
 A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &\geq \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min}) \\
 0,309 &\geq \text{maksimum } (0,729 \text{ atau } 0,292) \\
 0,309 &\geq 0,729 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter tulangan pinggang (d_b)

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

- Diameter tulangan pinggang minimum ($d_{b \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.5.2)

$$\begin{aligned}
 d_{b \min} &= 0,042 s \\
 &= 0,042 \times \text{maksimum } (s_{\text{tumpuan}} \text{ atau } s_{\text{lapangan}}) \\
 &= 0,042 \times 150 \\
 &= 6,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek d_b :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= d_b \geq d_{b \text{ min}} \\ &= 10 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu tumpuan atas} &= 1385,537 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu tumpuan bawah} &= 317,381 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu lapangan atas} &= 863,258 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu lapangan bawah} &= 1073,417 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi (A_l)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}A_l &= (A_t / s) \times p_h \\ &= 0,210 \times 1740 \\ &= 365,741 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi minimum ($A_{l \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.3)

$$\begin{aligned}A_{l \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times p_h \\ &= 0,42 \times \sqrt{30} \times \frac{245000}{420} - 0,210 \times 1740 \\ &= 976,179 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned}A_s &= \text{maksimum } (A_l \text{ atau } A_{l \text{ min}}) \\ &= \text{maksimum } (365,741 \text{ atau } 976,179) \\ &= 976,179 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi perlu ($A_l \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned}A_l \text{ perlu tumpuan} &= A_s \text{ perlu tumpuan atas} + A_s \text{ perlu tumpuan bawah} \\ &= 1385,537 + 317,387 \\ &= 1702,924 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_l \text{ perlu lapangan} &= A_s \text{ perlu lapangan atas} + A_s \text{ perlu lapangan bawah} \\ &= 872,744 + 1073,417 \\ &= 1946,161 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi perlu ($A_{l \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned} A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}} &= 744,393 + 2153,555 \\ &= 2679,103 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}} &= 744,393 + 1497,366 \\ &= 2922,340 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan negatif (n)

$$\begin{aligned} n \text{ tumpuan atas} &= 6 \\ n \text{ tumpuan tengah} &= 2 \text{ (angka kelipatan 2)} \\ n \text{ tumpuan bawah} &= 3 \\ n \text{ tumpuan vertikal} &= 2 + n \text{ tumpuan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \\ n \text{ lapangan atas} &= 4 \\ n \text{ lapangan tengah} &= 2 \text{ (angka kelipatan 2)} \\ n \text{ lapangan bawah} &= 5 \\ n \text{ lapangan vertikal} &= 2 + n \text{ lapangan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$

- Minimal n (n_{atas} atau n_{bawah})

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ tumpuan} &= \text{minimal } (n \text{ tumpuan atas atau } n \text{ tumpuan bawah}) \\ &= \text{minimal } (6 \text{ atau } 3) \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ lapangan} &= \text{minimal } (n \text{ lapangan atas atau } n \text{ lapangan bawah}) \\ &= \text{minimal } (6 \text{ atau } 5) \\ &= 5 \end{aligned}$$

- Spasi tumpuan (s_{tumpuan})

$$\begin{aligned} S \text{ horizontal tumpuan} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{3 - 1} \\ &= 116 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{vertikal tumpuan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{2 - 1}$$

$$= 291$$

$$S_{\text{tumpuan}} = \text{maksimum } (s_{\text{horizontal}} \text{ atau } s_{\text{vertikal}})$$

$$= \text{maksimum } (116 \text{ atau } 291)$$

$$= 291$$

- Spasi lapangan (s_{lapangan})

$$S_{\text{horizontal lapangan}} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{5 - 1}$$

$$= 58 \text{ mm}$$

$$S_{\text{vertikal lapangan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{2 - 1}$$

$$= 291$$

$$S_{\text{lapangan}} = \text{maksimum } (s_{\text{horizontal}} \text{ atau } s_{\text{vertikal}})$$

$$= \text{maksimum } (77 \text{ atau } 291)$$

$$= 291$$

- Cek spasi tulangan longitudinal :

$$S_{\text{tumpuan}} \leq 300 \quad = 291 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

$$S_{\text{lapangan}} \leq 300 \quad = 291 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$A_{s \text{ tumpuan}} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (6 + 3) \times \frac{3,14}{4} \times 19^2$$

$$= 2708,838 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ lapangan}} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (5 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 19^2$$

$$= 2992,367 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned} A_{l \text{ pasang tumpuan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2 \\ &= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l \text{ pasang lapangan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2 \\ &= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} = 2708,838 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} = 2992,367 \text{ mm}^2$$

- Cek lentur + torsi :

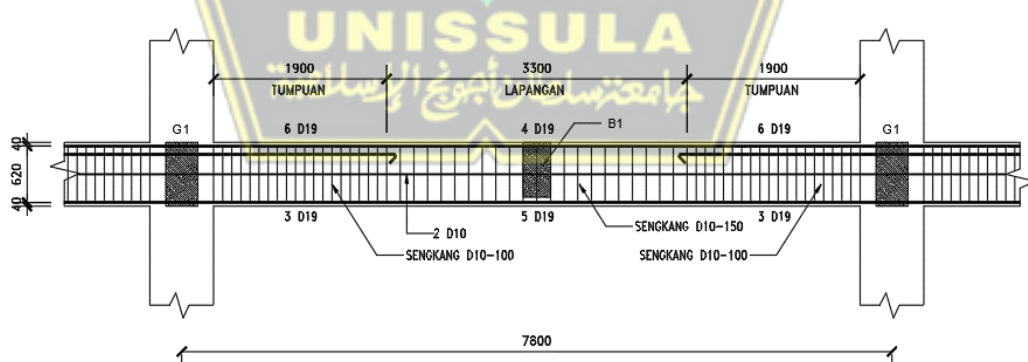
$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}}$$

$$2708,838 \geq 2679,103 \rightarrow \text{OK}$$

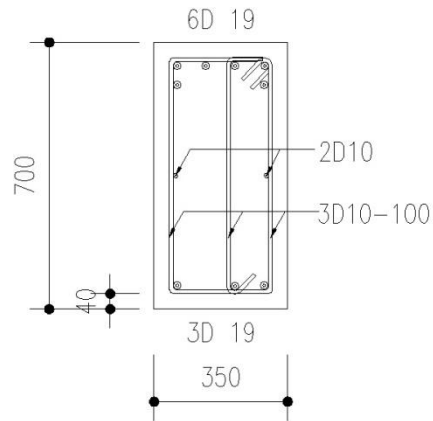
$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}}$$

$$2992,367 \geq 2922,340 \rightarrow \text{OK}$$

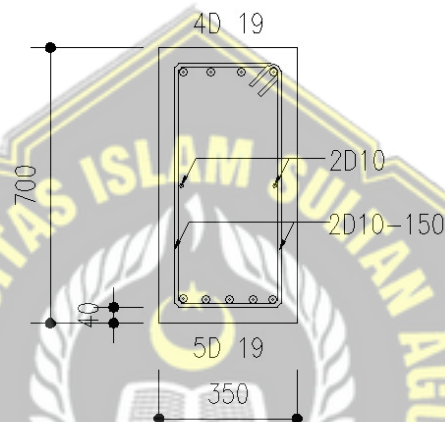
Gambar tulangan balok B1 yang didapat berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.34 sampai Gambar 4.36.



Gambar 4.34. Potongan Memanjang Balok



Gambar 4.35. Tulangan Tumpuan Balok



Gambar 4.36. Tulangan Lapangan Balok

4.6.2.5. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok

Dari hasil perhitungan terdapat rekapitulasi tulangan balok yang dapat dilihat pada Tabel 4.63 di bawah ini.

Tabel 4. 63. Rekapitulasi Tulangan Balok

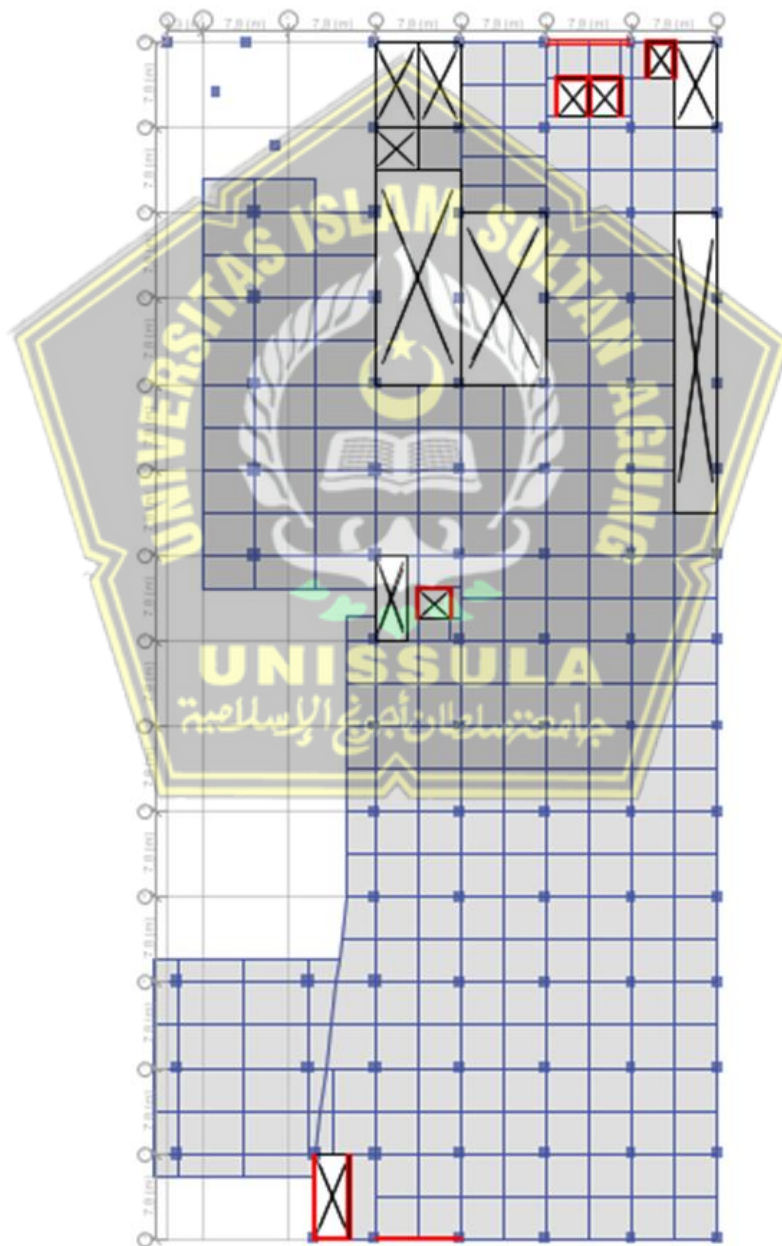
Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tul. Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	35 × 70	Atas	6 D19	4 D19	3D10-100	2D10-150	2 D10
		Bawah	3 D19	5 D19			
G2	50 × 100	Atas	8 D19	6 D19	2D10-100	2D10-150	4 D10
		Bawah	6 D19	6 D19			
B1	30 × 60	Atas	3 D16	3 D16	2D10-100	2D10-150	2 D10
		Bawah	3 D16	3 D16			

4.6.3. Perancangan Kolom

Desain dimensi penampang kolom harus mampu menahan gaya momen dan gaya geser sehingga diperlukan analisis kapasitas desain kolom. Diagram interaksi Pn-M kolom juga disertakan dalam analisis kapasitas desain kolom untuk mengetahui kapasitas kolom terhadap gaya aksial yang menumpunya.

4.6.3.1. Properti Material dan Penampang

Tipe kolom yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah kolom K1 pada tingkat pertama yang ditunjukkan Gambar 4.37.



Gambar 4.37. Denah Kolom K1 Sampel

Tinggi kolom (L)	$= 4800 \text{ mm}$
Dimensi ($b \times h$)	$= 1000 \times 1000 \text{ mm}$
Luas penampang (A_g)	$= 1000000 \text{ mm}^2$
Tebal selimut bersih (c_c)	$= 40 \text{ mm}$
Diameter tulangan longitudinal (d_b)	$= 25 \text{ mm}$
Diameter tulangan sengkang (d_s)	$= 13 \text{ mm}$
Tinggi efektif kolom (d)	$= b - c_c - d_s - d_b/2$ $= 1000 - 40 - 13 - 25/2$ $= 934,50 \text{ mm}$
Kuat tekan beton (f'_c)	$= 30 \text{ MPa}$
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	$= 420 \text{ MPa}$
Faktor reduksi kekuatan (ϕ)	$= 0,65$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Momen kapasitas balok (M_{nb+})	$= 364,72 \text{ kNm}$
Momen kapasitas balok (M_{nb-})	$= 432,90 \text{ kNm}$

4.6.3.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya tekan aksial yang diterima kolom dan gaya geser pada kolom K1 dan kolom atasnya yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal kolom sebagai berikut:

- P_u kolom atas $= 8071,7696 \text{ kN}$
- P_u kolom desain $= 9725,6526 \text{ kN}$
- V_u kolom desain $= 173,8015 \text{ kN}$

2. Cek Dimensi

Batasan dimensi untuk struktur kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 harus memenuhi :

a) Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$\text{Syarat} \quad = b \geq 300 = 1000 \geq 300 \rightarrow \text{OK}$$

b) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Syarat} \quad = \frac{b}{h} \geq 0,4 = \frac{1000}{1000} \geq 0,4 = 1 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK}$$

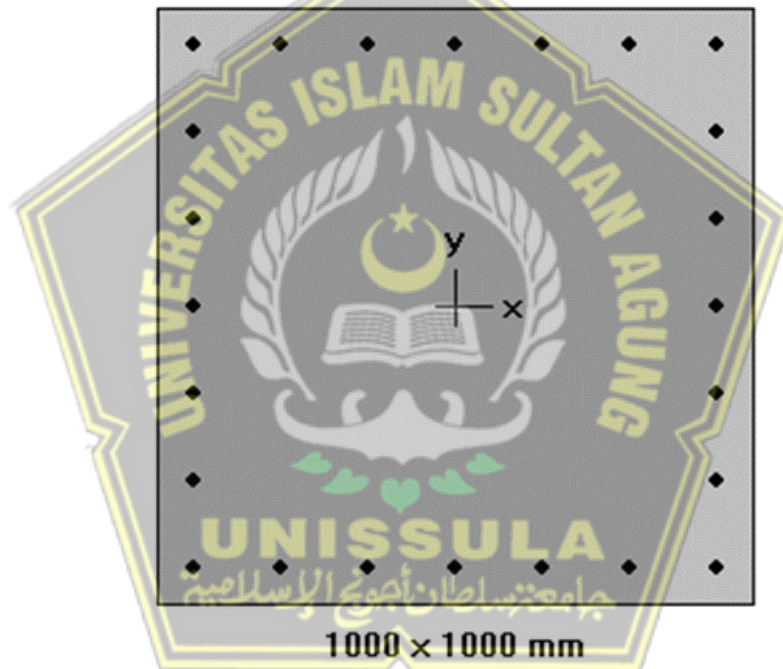
3. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang kurang dari $0,3 A_g f_c'$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= P_u \leq 0,3 A_g \times f_c' \\ &= 9725,6526 \leq 0,3 \times 1000000 \times 40 \times 10^{-3} \\ &= 9725,6526 \leq 12000 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

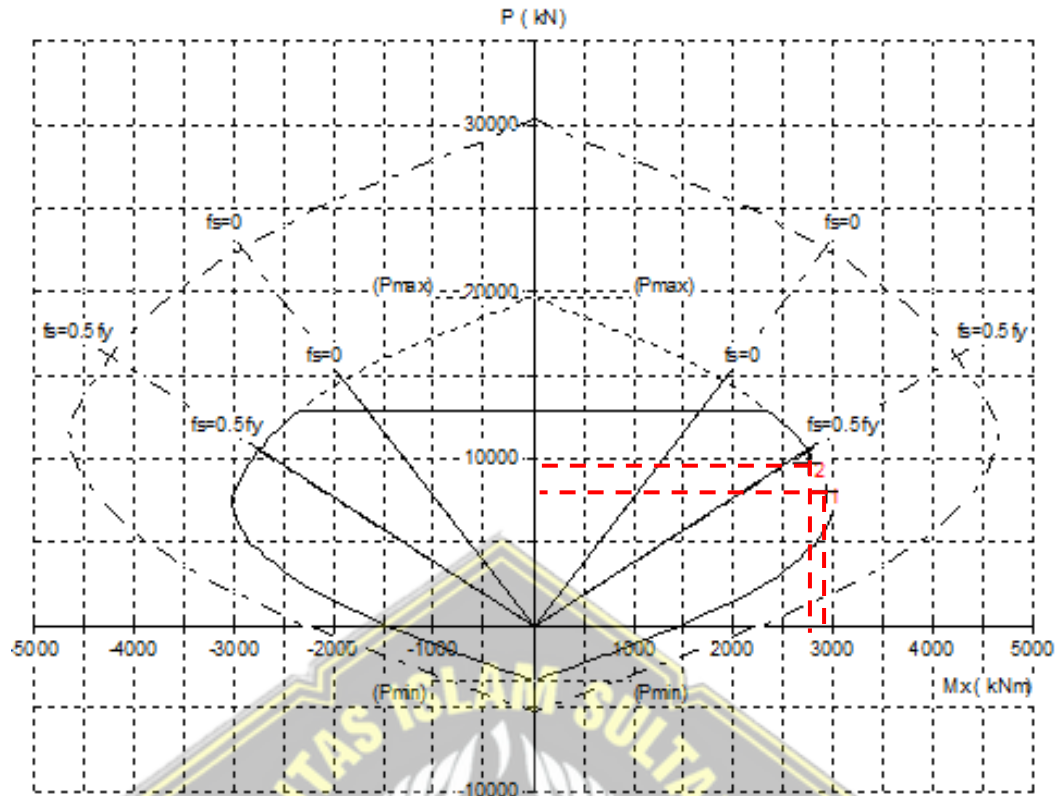
4. Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur

Luas tulangan longitudinal tidak diizinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$ sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4. Hasil konfigurasi tulangan lentur kolom K1 didapatkan dengan cara *trial and error* menggunakan program *SPColumn* ditunjukkan pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38. Tulangan Longitudinal Kolom K1

Diagram interaksi P_n - M_{pr} *SPColumn* kolom K1 dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} kolom K1 dapat dilihat pada Gambar 4.39 dan Tabel 4.64.



Gambar 4.39. Diagram Interaksi P_n-M_{pr} SPColumn Kolom K1

Tabel 4. 64. Hasil Analisis Interaksi P_n-M_{pr} Kolom K1

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	8071,7696	2924,00	4498,46	1,027	569	938	0,00194	0,65
2	9725,6526	2752,00	2846,03	1,034	653	938	0,00131	0,65

$$0,01 A_g = 0,01 \times 1000000$$

$$= 10000 \text{ mm}^2$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 1000000$$

$$= 60000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 24 \times 1/4 \times 3,14 \times 252$$

$$= 11775 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = 0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g$$

$$= 10000 < 11775 < 60000 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.3.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Analisis Tulangan Geser sebagai *Confinement*

Pada analisis tulangan geser sebagai kolom ini melalui beberapa tahap, yaitu:

a) Menentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*), tulangan *hoop* diperlukan sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom. Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3.3 dengan ℓ_o merupakan nilai terbesar dari:

- $1/6$ tinggi bersih kolom = $4100 / 6 = 683,3$ mm
- Dimensi maksimum kolom = 1000 mm
- 450 mm

Jadi, jarak ℓ_o digunakan 1000 mm

b) Penentuan s_{max} merupakan nilai terbesar dari:

- $1/4$ dimensi komponen struktur minimum = $1000 / 4 = 250$ mm
- $6D = 6 \times 25 = 150$ mm
- s_o , tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

$$s_o = 100 + \frac{350 - 0,3}{3} = 116,667 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4. Untuk daerah sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar di antara :

- Tinggi penampang inti beton yang tertekan (b_{c1})

$$b_{c1} = h - (2 \times c_c) = 1000 - (2 \times 40) = 920 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton yang tertekan (b_{c2})

$$b_{c2} = b - (2 \times c_c) = 1000 - (2 \times 40) = 920 \text{ mm}$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 920 \times 920 = 846400 \text{ mm}^2$$

- Faktor kekuatan beton (k_f)

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 = \frac{30}{175} + 0,6 = 0,7714 \rightarrow \text{minimal } 1$$

- Faktor efektivitas pengekanan (k_n)

$$k_n = \frac{n_i}{n_i - 2} = \frac{24}{24 - 2} = 1,09$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \times \left(\frac{1000000}{846400} - 1 \right) \times \frac{30}{420} \\ &= 0,00389 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= 0,09 \times \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{30}{420} \\ &= 0,00643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh3} &= 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \\ &= 0,2 \times 1 \times 1,09 \times \frac{9725,65 \times 10^3}{420 \times 846400} \\ &= 0,00597 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times A_{sh \text{ max}} \\ &= 920 \times 0,00643 \\ &= 5,916 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= s \times \frac{A_{sh}}{s} \\ &= 100 \times 5,916 \\ &= 591,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 6 D13-100

$$A_s \text{ pasang} = 5 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 13^2 = 663,325 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} > A_{sh} \\ &= 663,325 > 591,56 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5. Untuk daerah di luar ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari:

a. $6D = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

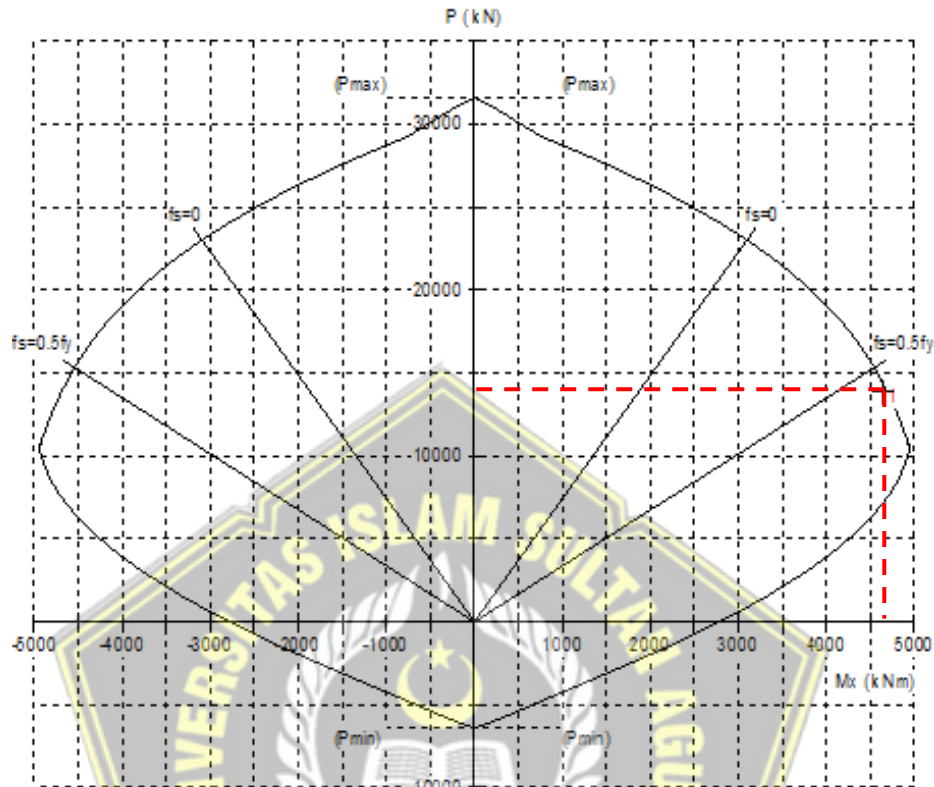
b. 150 mm

Maka $s_{\text{max}} = 150 \text{ mm}$ dan dapat digunakan spasi (s) = 150 mm sepanjang sisa kolom bersih.

2. Analisis Gaya Geser Desain Tulangan Sengkang Kolom

Gaya geser V_e harus diambil dari gaya geser yang berhubungan dengan sendi plastis pada kedua ujung kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1. Nilai M_{pr} pada kolom ditentukan dengan anggapan kekuatan tarik memanjang

minimal $1,25f_y$ dan $\phi = 1$. Untuk diagram interaksi P_n - M *SPColumn* dengan $1,25 f_y$ dan hasil analisis interaksi P_n - M *SPColumn* dengan $1,25 f_y$ dapat dilihat pada Gambar 4.40 dan Tabel 4.65.



Gambar 4.40. Diagram Interaksi P_n - M *SPColumn* Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

Tabel 4.65. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	13879	4652	4140,98	1,008	604	938	0,00166	1,000

- Probable Moment of Column (M_{prc})

$$M_{prc} = 4689,89 \text{ kNm}$$

- Tinggi bersih kolom (L_n)

$$\begin{aligned}
 L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\
 &= 4800 - 700 \\
 &= 4100 \text{ mm} \\
 &= 4,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Probable Moment of Beam ($M_{pr b}$)

$$M_{pr b \text{ atas}} = 428829976,2 \text{ Nmm} = 428,83 \text{ kNm}$$

$$M_{pr b \text{ bawah}} = 301666344,9 \text{ Nmm} = 301,67 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\sum M_{pr b} &= 428,83 + 301,67 \\ &= 730,50 \text{ kNm}\end{aligned}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \text{ (atas dan bawah dianggap sama)}$$

- Faktor reduksi geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser desain (V_e)

$$\begin{aligned}V_{e1} &= \frac{M_{pr c \text{ atas}} + M_{pr c \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{4689,89 + 4689,89}{4,10} \\ &= 2287,75 \text{ kN}\end{aligned}$$

V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned}V_{e2} &= \frac{\sum M_{pr b} \times D_{f \text{ atas}} + \sum M_{pr b} \times D_{f \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{730,50 \times 0,5 + 730,50 \times 0,5}{4,10} \\ &= 178,17 \text{ kN}\end{aligned}$$

V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_{e3} = 173,80 \text{ kN}$$

- Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 178,17 \text{ kN}$. Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{178,17}{0,75} = 237,56 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{237,56}{420 \times 934,50} = 0,605 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Untuk $s = 100 \text{ mm}$, maka:

$$A_v = \frac{A_v}{s} \times 100 = 0,605 \times 100 = 60,53 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Cek $A_{sh} > A_v$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= A_{sh} > A_v \\ &= 591,43 > 60,53 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Digunakan 5 D13-100 untuk sengkang tertutup dan ikat silang dengan $A_{sh} = 591,43 \text{ mm}^2$.

3. Menghitung nilai V_c daerah di luar ℓ_0

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

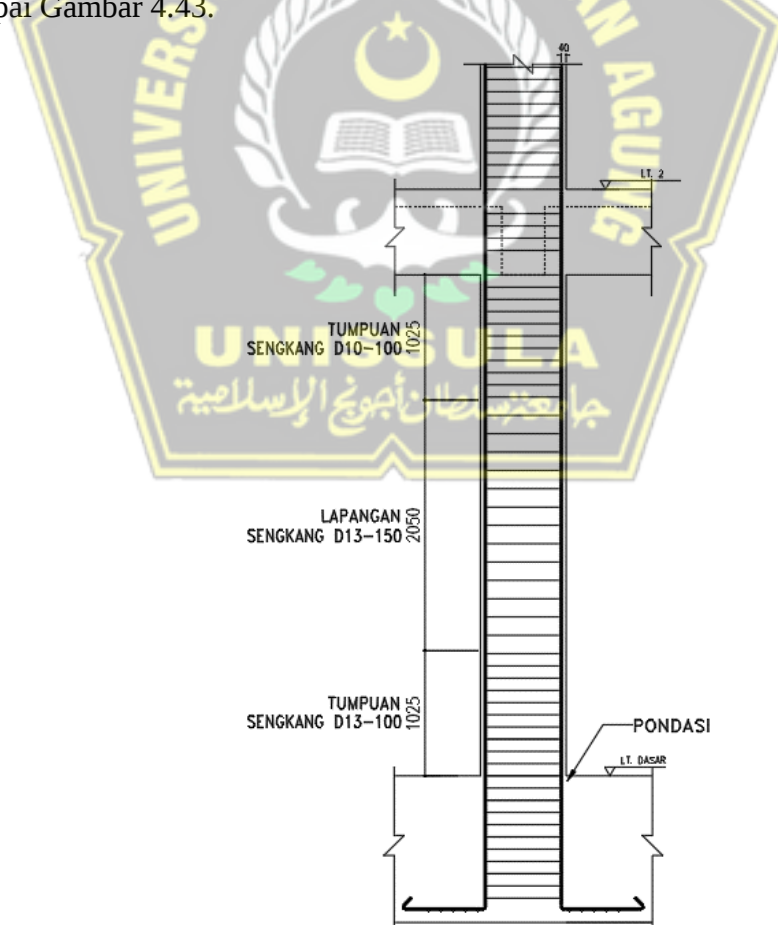
$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{9725,6526 \times 10^3}{14 \times 1000000}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 934,50 \\ &= 1474,616149 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 178,17 \text{ kN}$) maka daerah di luar ℓ_0 dipasang tulangan sengkang dengan jarak:

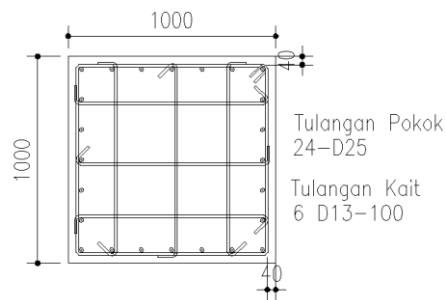
$$s = \frac{d}{2} = \frac{934,50}{2} = 467,25 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, jarak tulangan transversal diluar ℓ_0 tidak boleh lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (150 mm). Maka dipasang jarak maksimal 150 mm.

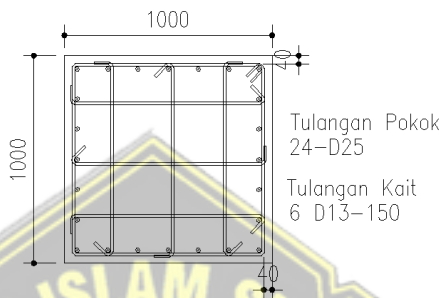
Berikut adalah gambar dari hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.41 sampai Gambar 4.43.



Gambar 4.41. Potongan Memanjang Kolom K1



Gambar 4. 42. Tulangan Ujung Kolom K1



Gambar 4.43. Tulangan Tengah Kolom K1

4.6.3.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom

Dari hasil perhitungan tulangan pada semua tipe kolom yang telah dilakukan, berikut adalah rekapitulasi hasil tulangan kolom ditunjukkan pada Tabel 4.66.

Tabel 4. 66. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	1000 × 1000	24 D25	5 D13-100	5 D13-150
2	K2	700 × 700	20 D22	4 D13-100	4 D13-150
3	K3	1200 × 1200	40 D22	6 D13-100	6 D13-150

4.6.4. Perancangan *Strong Column-Weak Beam*

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan 4.13 sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (4.13)$$

1. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned} \sum M_{nb} &= M_{nb}^{+} + M_{nb}^{-} \\ &= 364,72 + 432,90 \\ &= 797,620 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

Nilai M_{nc} didapatkan dari diagram interaksi P_n - M SPColumn dengan mencari gaya aksial yang dihasilkan dari kombinasi beban pada kolom atas dan kolom bawah. Nilai M_{nc} atas dan M_{nc} bawah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 4498,46 + 0 \\ &= 4498,46 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ &= \frac{\sum M_{nc}}{\sum M_{nb}} \geq 1,2 \\ &= \frac{4498,46}{797,62} \geq 1,2 \\ &= 5,64 \geq 1,2 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.6.5. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B3 dengan kolom K1 lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

4.6.5.1. Syarat Panjang *Joint*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal.

- Lebar kolom (b)
 $b = h = 1000 \text{ mm}$
- Diameter tulangan longitudinal terbesar balok (d_b)
 $d_b = 19 \text{ mm}$
 $20d_b = 20 \times 19 = 380 \text{ mm}$
- Cek $b > 20d_b$
Syarat $= b > 20d_b = 1000 > 380 \rightarrow \text{OK}$

4.6.5.2. Tulangan Geser untuk *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1, jumlah tulangan *confinement* dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom di atas digunakan tulangan geser 6 D13-100.

4.6.5.3. Gaya Geser pada Joint

Momen balok yang timbul:

- Probable Moment of Beam Positive (M_{prb}^{+})

$$M_{prb}^{+} = 428,83 \text{ kNm}$$

- Probable Moment of Beam Negative (M_{prb}^{-})

$$M_{prb}^{-} = 221,67 \text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \rightarrow \text{OK}$$

- Momen terfaktor diperbesar (M_c)

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{prb}^{+} + M_{prb}^{-}) \\ &= 0,5 \times (428,83 + 221,67) \\ &= 325,25 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.6.5.4. Gaya Geser pada Kolom

- Tinggi efektif kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4800 - 700 \\ &= 4100 \text{ mm} \\ &= 4,10 \text{ m} \end{aligned}$$

- Gaya geser kolom (V_h)

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\ &= \frac{325,25}{4,10} \\ &= 79,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.6.5.5. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok

- Luas tulangan atas 4 D19, $A_s = 1134,11 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 1701,17 \times 420 \\ &= 893,12 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 893,12 \text{ kN}$$

- Luas tulangan bawah 2 D19, $A_s = 567,06 \text{ mm}^2$

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times F_y$$

$$= 1,25 \times 850,59 \times 420$$

$$= 446,56 \text{ kN}$$
- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok kolom, sebesar :

$$C_2 = T_2 = 446,56 \text{ kN}$$

4.6.5.6. Kuat Geser pada *Joint*

- Kuat geser pada *joint* (V_j) sebesar:

$$V_j = T_1 + T_2 - V_h$$

$$= 893,12 + 446,56 - 79,33$$

4.6.5.7. Kuat Geser yang dikekang keempat Sisi

- Kuat geser nominal (V_n)

$$V_n = 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g$$

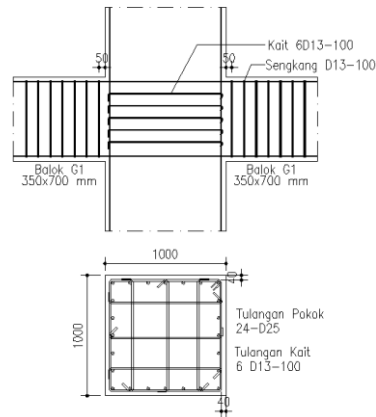
$$= 1,7 \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000000 \times 10^{-3}$$

$$= 9795,30 \text{ kN}$$
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n = 0,85 \times 9795,30 = 8326,01 \text{ N}$$
- Cek $\phi V_n > V_j$
Syarat
$$= \phi V_n > V_j$$

$$= 8326,01 > 1260,34 \rightarrow \text{OK}$$

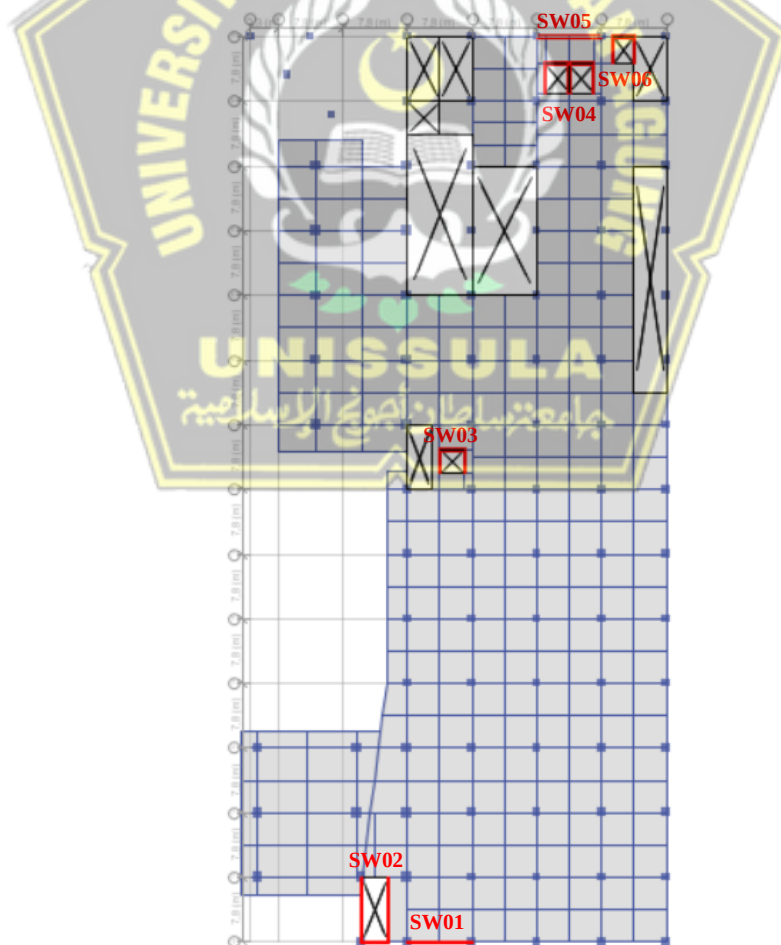
Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan. Dengan nilai $6744,07 \text{ kN} > 840,58 \text{ kN}$ maka memenuhi persyaratan. Gambar tulangan hubungan balok-kolom dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.44.



Gambar 4.44. Hubungan Balok Kolom (*Joint*)

4.6.6. Perancangan Dinding Geser

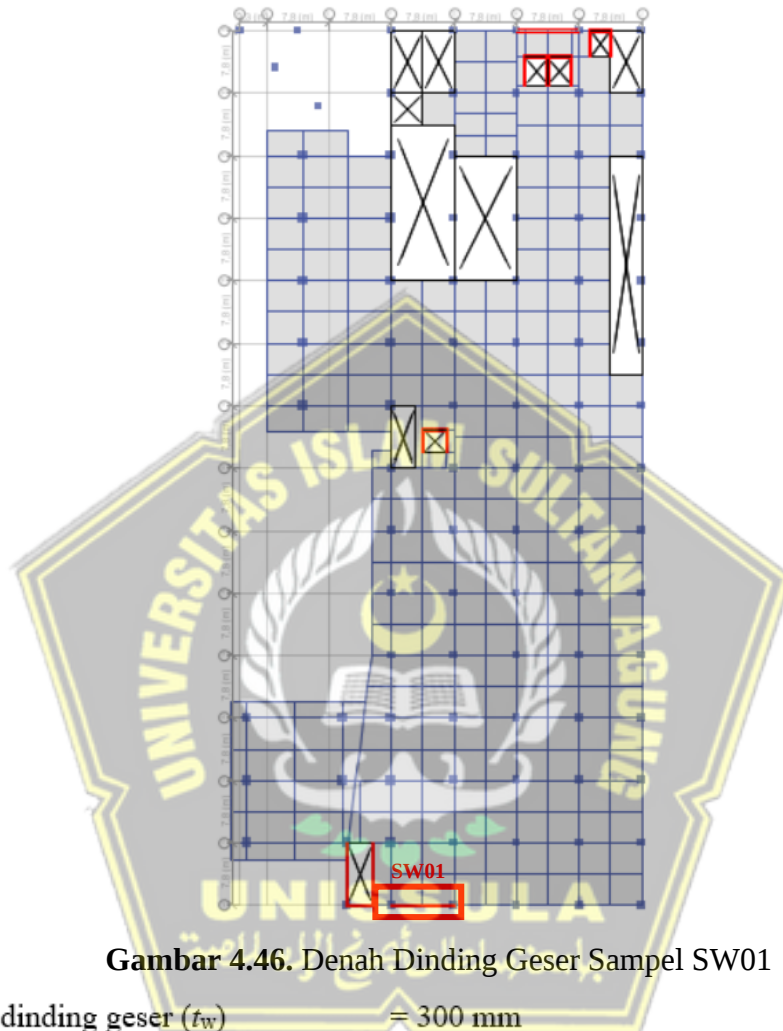
Perancangan dinding geser memerlukan analisis kapasitas Desain Ginding geser untuk mengetahui dimensi penampang Dinding Geser yang didesain agar mampu menahan gaya momen serta gaya geser. Berikut ini adalah macam-macam tipe Dinding Geser yang digunakan pada gedung rumah sakit 5 lantai.



Gambar 4.45. Denah Lokasi Tipe Dinding Geser

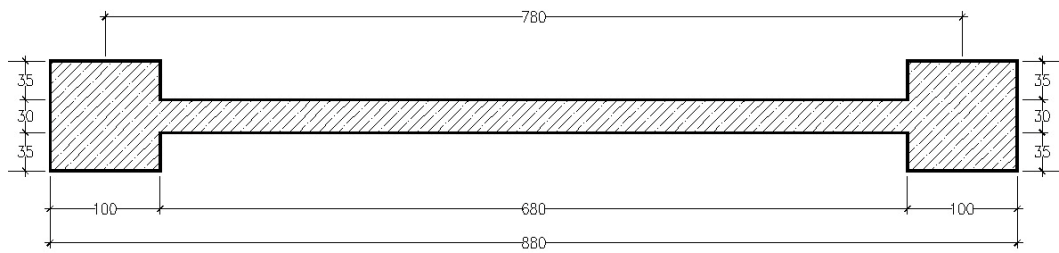
4.6.6.1. Properti Material dan Penampang Dinding Geser SW01

Dinding geser yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah Dinding Geser SW01 yang ditunjukkan Gambar 4.41. Penampang dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.45.



Gambar 4.46. Denah Dinding Geser Sampel SW01

Tebal dinding geser (t_w)	= 300 mm
Panjang dinding geser (L)	= 7800 mm
Panjang kolom (h_k)	= 1000 mm
Lebar kolom (b_k)	= 1000 mm
Tinggi dinding geser total (h_w)	= 23400 mm
Diameter tul. longitudinal badan (d_l)	= 16 mm
Diameter tul. transversal badan (d_t)	= 16 mm
Diameter tulangan kolom (d_b)	= 25 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	= 420 MPa



Gambar 4.47. Penampang Dinding Geser Rencana SW01

4.6.6.2. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.67 dan Tabel 4.68.

Tabel 4. 67. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser SW01

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
P_{max}	-34869,934	-35,1395	105798,3619

Tabel 4. 68. Gaya Geser pada Dinding Geser SW01

Gaya Geser	
V_2 (kN)	-7056,723
V_3 (kN)	-639,671

4.6.6.3. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 7800 + 1000 = 8800 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 7800 - 1000 = 6800 \text{ N}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 300 \times 8800 = 2640000 \text{ mm}^2$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned}
 A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\
 &= 300 \times 6800 + 2 \times (1000 \times 1000) \\
 &= 4040000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.6.6.4. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{-7056,723 \times 10^3}{0,75} = 9408965 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum ($\rho_{\min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1)

Rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ maka rasio tulangan diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 9408965 < 0,083 \times 2640000 \times \sqrt{30} \\ &= 9408965 > 1200169,67 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025} \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

Rasio tulangan longitudinal minimum ($\rho_{l \min}$) = 0,0025

Rasio tulangan transversal minimum ($\rho_{t \min}$) = 0,0025

- Jumlah lapis tulangan pakai (n lapis)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.

Cek batasan 1:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 9408965 > 0,17 \times 2640000 \times \sqrt{30} \\ &= 9408965 > 3458178,84 \text{ N} \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

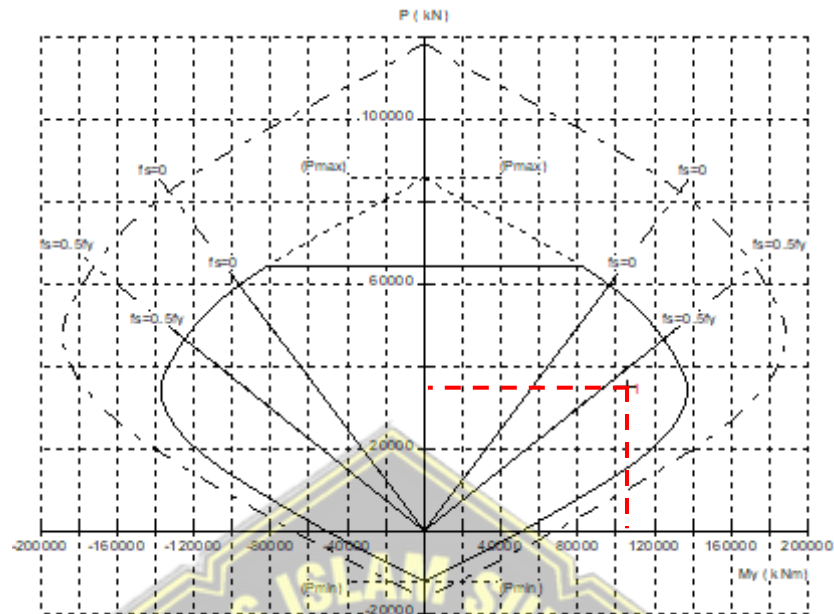
Cek batasan 2:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \\ &= \frac{23400}{8800} \geq 2 \\ &= 2,659 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

4.6.6.5. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu D16-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 24 D25. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding

geser dan hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.47 dan Tabel 4.69.



Gambar 4.48. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser SW01

Tabel 4. 69. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser SW01

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	d_t depth (mm)	ε_t	ϕ
1	34869	105798	137200,59	1,297	4755	8737	0,00251	0,75

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)
 $s = 200 \text{ mm}$
- Cek spasi tulangan maksimum
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)
 Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm
 Syarat $= s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$
- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)
 (SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\rho_l = n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s}$$

$$= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 200}$$

$$= 0,670 \%$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} \quad = \rho_l \geq \rho_{l \min} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 52 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 24 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 25^2}{1000 \times 1000} \\ &= 1,178 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= 1 \% \leq \rho \leq 6 \% \\ &= 1 \% \leq 1,178 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.6.6.6. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 23400 / 8800 = 2,6591$$

- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2 \text{)}$$

- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} \quad = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser dinding (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y) \\ &= 2640000 \times (0,17 \times + 0,670 \% \times 420) \\ &= 9889428 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 2640000 \times \sqrt{30} = 9543518 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 9543518 \text{ N}$$

- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat} = V_n \text{ Pakai} \geq \frac{V_u}{\phi} = 9543518 \geq 9408965 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.6.7. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c = 2755 \text{ mm (ambil nilai NA depth maksimum)}$$

- Perpindahan desain (δ_u)

$$\delta_u = 0 \text{ (boleh dikosongkan)}$$

- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 2755 \geq \frac{8800}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \\ &= 2755 < 1955 \rightarrow \text{perlu elemen batas khusus} \end{aligned}$$

- Batas perpanjangan elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c - 0,1 L_w = 2755 - 0,1 \times 8800 = 1875 \text{ mm}$$

$$c/2 = \frac{2755}{2} = 1377,5 \text{ mm}$$

$$h_c + 300 = 1000 + 300 = 1300 \text{ mm}$$

- Panjang elemen batas khusus (L_{BE})

$$L_{BE} = \text{maksimum} (c - 0,1 L_w ; c/2 ; \text{atau } h_c + 300) = 1875 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{4 V_u} &= \frac{\text{maksimum} (M_{3 \text{ max}} ; M_{3 \text{ min}})}{4 \times V_2} \\ &= 0,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

$$h_{BE} = \text{maksimum} (L_w ; \frac{M_u}{4 V_u})$$

= maksimum (8800 ;0,000)

= 8800 mm

2. Strength-Based Method

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 4040000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right) \\ &= \frac{1}{12} \times 300 \times 6800^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 1000 \times 1000^3 + \left(\frac{7800}{2} \right)^2 \times 1000 \times \right. \\ &\quad \left. 1000 \right) \\ &= 3,84 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi (σ)

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-34869,934 \times 10^3}{4040000} + \frac{126675,477 \times 10^6}{3,84 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 21,481 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned} \sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned} \sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum ($\sigma_{\max}$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6) \\ &= 21,481 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas} = 0,2 f'_c = 0,2 \times 30 = 6 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Syarat} = \sigma_{\max} > 0,2 f'_c = 21,481 > 6 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned}h_{BE} &= h_w - (0,15 f'_c / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 23400 - (0,15 \times 30 / 21,481) \times 23400 \\ &= 18498 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.6.6.8. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 5$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 5$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh \ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{663,661}{100} = 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{663,661}{100} = 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 1000 - 2 \times 40 = 920 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 1000 - 2 \times 40 = 920 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 1000 \times 1000 = 1000000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 920 \times 920 = 846400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(920 \times \frac{30}{240} \right) \times \left(\frac{1000000}{846400} - 1 \right) \\ &= 3,578 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f'_c}{f_y} = 0,09 \times 920 \times \frac{30}{240} = 5,914 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 5,914 \text{ mm}^2$$

- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,637 > 5,914 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(b_c \times \frac{f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(920 \times \frac{30}{240} \right) \times \left(\frac{1000000}{846400} - 1 \right) \\ &= 3,578 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 920 \times \frac{30}{240} = 5,914 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 5,914 \text{ mm}^2$
- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,637 > 5,914 \rightarrow \text{OK}$$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 4$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 8$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 1061,858 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{1061,858}{100} = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 1875 - 1000 = 875 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 300 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2 c_c = 875 - 2 \times 40 = 795 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 875 \times 300 = 262500 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 795 \times 220 = 174900 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \\ &= 0,3 \times \left(220 \times \frac{30}{240}\right) \times \left(\frac{262500}{174900} - 1\right) \\ &= 2,361 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{30}{240} = 1,414 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}\right) = 2,361 \text{ mm}^2 \\ \text{Cek:} \\ \text{Syarat} &= \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 2,361 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \\ &= 0,3 \times \left(795 \times \frac{30}{240}\right) \times \left(\frac{262500}{174900} - 1\right) \\ &= 8,532 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 795 \times \frac{30}{240} = 5,111 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}\right) = 8,532 \text{ mm}^2 \\ \text{Cek:} \\ \text{Syarat} &= \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 10,619 > 8,532 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Gambar 4.49. Denah Dinding Geser Sampel SW06

Tebal dinding geser (t_w) = 300 mm

Panjang dinding geser (L) = 10350 mm

Panjang kolom (h_k) = 300 mm

Lebar kolom (b_k) = 300 mm

Tinggi dinding geser total (h_w) = 23400 mm

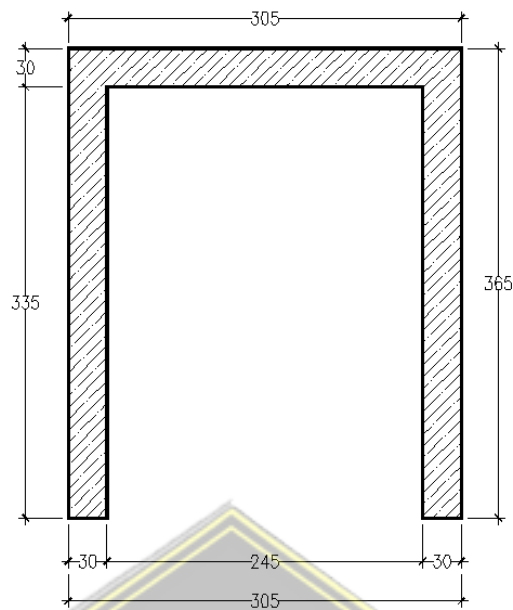
Diameter tul. longitudinal badan (d_l) = 16 mm

Diameter tul. transversal badan (d_t) = 16 mm

Diameter tulangan kolom (d_b) = 16 mm

Kuat tekan beton (f_c') = 30 MPa

Kuat leleh baja tulangan (f_y) = 420 MPa



Gambar 4.50. Penampang Dinding Geser Rencana SW06

4.6.6.10. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.70 dan Tabel 4.71.

Tabel 4. 70. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser SW06

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
$P_{\max}$	-11835,130	-11826,277	-18897,340

Tabel 4. 71. Gaya Geser pada Dinding Geser SW06

Gaya Geser	
V_2 (kN)	-2720,735
V_3 (kN)	-1785,079

4.6.6.11. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 10350 + 300 = 10650 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 10350 - 300 = 10050 \text{ kN}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 300 \times 10650 = 3195000 \text{ mm}^2$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 300 \times 10050 + 2 \times (300 \times 300) \\ &= 3195000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.6.6.12. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{-2720,735 \times 10^3}{0,75} = 3627647 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1)

Rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka rasio tulangan diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 3627647 < 0,083 \times 3195000 \times \sqrt{30} \\ &= 3627647 > 1452478,06 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025} \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

$$\text{Rasio tulangan longitudinal minimum } (\rho_{lmin}) = 0,0025$$

$$\text{Rasio tulangan transversal minimum } (\rho_{tmin}) = 0,0025$$

- Jumlah lapis tulangan pakai (n_{lapis})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.

Cek batasan 1:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 3627647 > 0,17 \times 3195000 \times \sqrt{30} \\ &= 3627647 > 3458178,84 \text{ N} \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

Cek batasan 2:

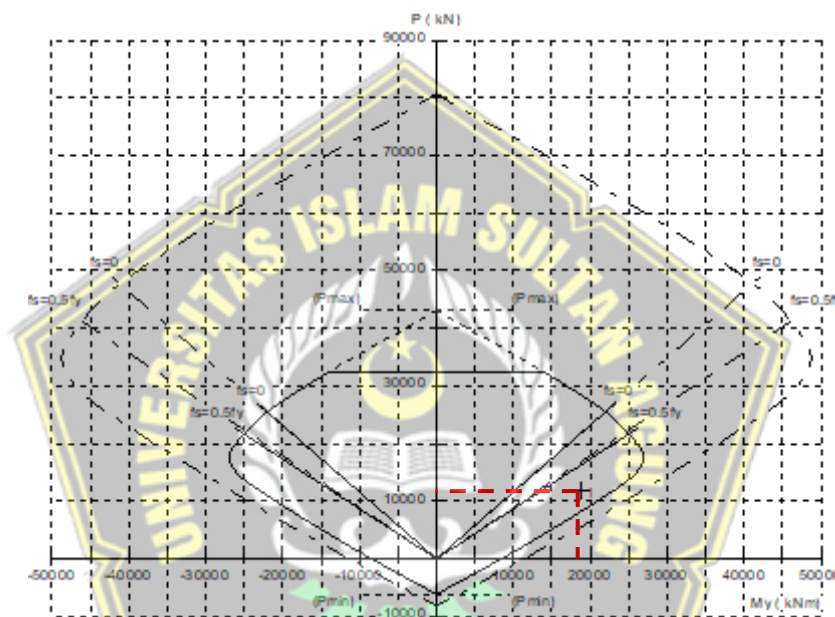
$$\text{Syarat} = \frac{h_w}{l_w} \geq 2$$

$$= \frac{23400}{10650} \geq 2$$

$$= 2,197 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis}$$

4.6.6.13. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu D16-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 24 D25. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.51 dan Tabel 4.72.



Gambar 4.51. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser SW06

Tabel 4. 72. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser SW06

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	d_t depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	11835	18897	23025,32	1,218	352	2810	0,02094	0,75

3. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 200} \\ &= 0,670 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} = \rho_l \geq \rho_{l \text{ min}} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

4. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 6 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 6 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 25^2}{1000 \times 1000} \\ &= 1,340 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= 1 \% \leq \rho \leq 6 \% \\ &= 1 \% \leq 1,340 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.6.6.14. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 23400 / 10650 = 2,1972$$

- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2)$$

- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser dinding (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y) \\ &= 3195000 \times (0,17 \times + 0,670 \% \times 420) \\ &= 11968455 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 3195000 \times \sqrt{30} = 11549826 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 11549826 \text{ N}$$

- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat} = V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 11549826 \geq 3627647 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.6.15. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

3. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c = 3513 \text{ mm (ambil nilai NA depth maksimum)}$$

- Perpindahan desain (δ_u)

$$\delta_u = 0 \text{ (boleh dikosongkan)}$$

- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 3513 \geq \frac{10650}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \\ &= 3513 < 2366,67 \rightarrow \text{perlu elemen batas khusus} \end{aligned}$$

- Batas perpanjangan elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c - 0,1 L_w = 3513 - 0,1 \times 10650 = 2448 \text{ mm}$$

$$c/2 = \frac{3513}{2} = 1756,5 \text{ mm}$$

$$h_c + 300 = 300 + 300 = 600 \text{ mm}$$

- Panjang elemen batas khusus (L_{BE})

$$L_{BE} = \text{maksimum} (c - 0,1 L_w ; c/2 ; \text{atau } h_c + 300) = 2448 \text{ mm}$$

$$\frac{M_u}{4 V_u} = \frac{\text{maksimum} (M_3 \text{ max} ; M_3 \text{ min})}{4 \times V_2}$$

$$= 0,000 \text{ mm}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

$$h_{BE} = \text{maksimum} (L_w ; \frac{M_u}{4 V_u})$$

$$= \text{maksimum} (10650 ; 0,000)$$

$$= 10650 \text{ mm}$$

4. Strength-Based Method

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 3195000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right)$$

$$= \frac{1}{12} \times 300 \times 10050^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 300 \times 300^3 + \left(\frac{10350}{2} \right)^2 \times 300 \times 300 \right)$$

$$= 3,02 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

- Tegangan kondisi (σ)

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\sigma_1 = \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2}$$

$$= \frac{-11835,130 \times 10^3}{3195000} + \frac{-18897,340 \times 10^6}{3,02 \times 10^{13}} \times \frac{10350}{2}$$

$$= 6,943 \text{ MPa}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\sigma_2 = \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2}$$

$$= 0 \text{ MPa}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\sigma_3 = \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2}$$

$$= 0 \text{ MPa}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\sigma_4 = \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2}$$

$$= 0 \text{ Mpa}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum ($\sigma_{\max}$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6) \\ &= 6,943 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas} = 0,2 f'_c = 0,2 \times 30 = 6 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Syarat} = \sigma_{\max} > 0,2 f'_c = 6,943 > 6 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned}h_{BE} &= h_w - (0,15 f'_c / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 23400 - (0,15 \times 30 / 6,943) \times 23400 \\ &= 8233 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.6.6.16. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

3. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 4$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 4$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(220 \times \frac{30}{240} \right) \times \left(\frac{90000}{48400} - 1 \right) \\ &= 4,052 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{30}{240} = 1,414 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 4,052 \text{ mm}^2$$

- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 4,052 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s} \min 1 &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\
 &= 0,3 \times (220 \times \frac{30}{240}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\
 &= 4,052 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s} \min 2 &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{30}{240} = 1,414 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s} \min &= \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2) = 5,914 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek:} \\
 \text{Syarat} &= \frac{A_{sh 2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 5,309 > 4,052 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

4. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)
 $c_c = 40 \text{ mm}$
- Diameter *confinement* (d_s)
 $d_s = 13 \text{ mm}$
- Jumlah kaki sejar lebar kolom (n_1)
 $n_1 = 4$
- Jumlah kaki sejar panjang kolom (n_2)
 $n_2 = 14$
- Spasi (s)
 $s = 100 \text{ mm}$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh 1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 14 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 1858,252 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh 2}}{s} = \frac{1858,252}{100} = 18,583 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 2448 - 300 = 2148 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 300 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2 c_c = 2148 - 2 \times 40 = 2068 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 2148 \times 300 = 644400 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 2068 \times 220 = 454960 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (220 \times \frac{30}{240}) \times (\frac{644400}{454960} - 1) = 1,963 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{30}{240} = 1,414 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 1,963 \text{ mm}^2 \\ \text{Cek:} \\ \text{Syarat} &= \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 1,963 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (2068 \times \frac{30}{240}) \times (\frac{644400}{454960} - 1) = 18,452 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 2068 \times \frac{30}{240} = 13,294 \text{ mm}^2 \\ \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 18,452 \text{ mm}^2 \\ \text{Cek:} \\ \text{Syarat} &= \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 18,583 > 18,452 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.6.6.17. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser

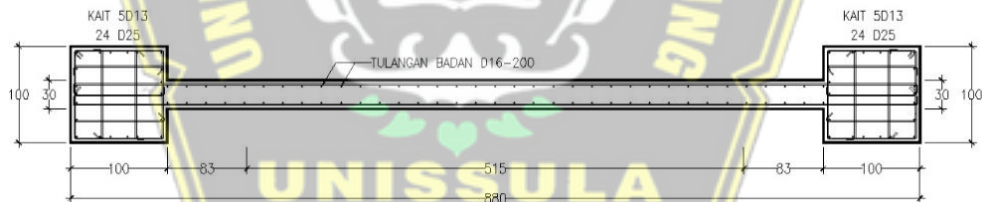
Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser yang dapat dilihat pada Tabel 4.73

– Tabel 4.78 sebagai berikut:

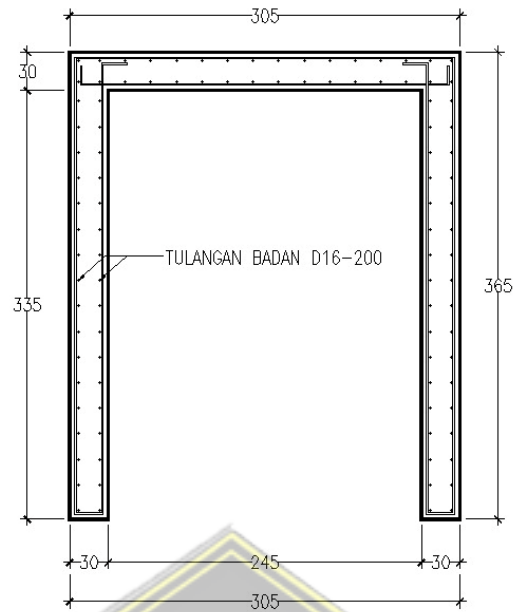
Tabel 4. 73. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser

Tipe Dinding Geser	Tulangan Kolom			Tulangan Badan			
	Longitudinal	Transversal		Longitudinal	Transversal	Transversal	
		Sejajar Lebar	Sejajar Panjang			Sejajar Lebar	Sejajar Panjang
SW01	24 D25	5 D13-100	5 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	8 D13-100
SW02	24 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	6 D13-100
SW03	24 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	10 D13-100
SW04	24 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	12 D13-100
SW05	24 D25	5 D13-100	5 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	6 D13-100
SW06	6 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	14 D13-100

Gambar detail tulangan dinding geser SW01 dan SW06 dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.52 dan Gambar 5.53 sebagai berikut:



Gambar 4.52. Detail Tulangan Dinding Geser SW01

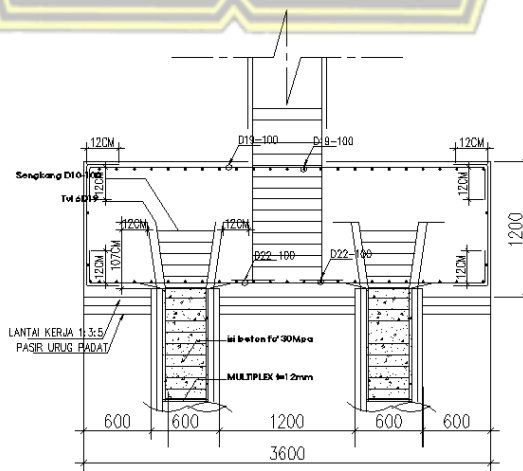


Gambar 4.53. Detail Tulangan Dinding Geser SW06

4.6.7. Perancangan Pondasi Spun Pile

Pondasi pada suatu struktur bangunan diperhitungkan terhadap gaya aksial, gaya geser, dan terhadap momen lentur. Pada perencanaan akan digunakan pondasi tiang pancang, dengan kapasitas daya dukung diperhitungkan berdasarkan tahanan ujung (end Bearing), dan gesekan tiang dengan tanah (friction). Pemilihan jenis pondasi dapat dilihat berdasarkan:

1. Kondisi dan karakteristik tanah
2. Beban yang diterima pondasi
3. Biaya pelaksanaan



Gambar 4.54. Pemodelan Pondasi

4.6.7.1. Properti Material dan Penampang

Perhitungan pondasi direncanakan berdasarkan gaya maksimum pada kombinasi pembebanan yang ada. Pondasi yang dipakai dalam perencanaan gedung rumah sakit ini adalah jenis pondasi *spunpile* dengan diameter penampang 60 cm dan untuk perhitungan daya dukung berdasarkan gesekan tanah dengan tanah (*friction*). Penggunaan pondasi tiang kelompok direncanakan dengan jarak antar tiang tidak lebih kecil dari 2 kali diameter tiang dengan perencanaan pile cap dikelompokkan berdasarkan jumlah tiang pancang dan dimensi kolom.

Tiang pancang yang digunakan pada perencanaan ini adalah jenis tiang pancang pabrikan dari produsen WIKA Beton dengan spesifikasi sebagai berikut. Diameter penampang = 60 cm Panjang = 12 m

4.6.7.2. Data Tanah dan Output Reaksi Tumpuan

Berdasarkan penyelidikan tanah yang telah dilaksanakan pada lokasi proyek didapat data *Standart Penetration Test* sebagai berikut :

Tabel 4. 74. Nilai N-SPT

Kedalaman	SPT	L1	L1*N SPT
0	0	0	0
2	3	2	6
4	5	2	10
6	10	2	20
8	5	2	10
10	9	2	18
12	10	2	20
14	6	2	12
16	8	2	16
18	28	2	56
20	24	2	48
22	5	2	10
24	6	2	12
26	14	2	28
28	12	2	24
30	11	2	22
32	14	2	28
34	14	2	28
36	34	2	68
38	50	2	100

40	50	2	100
42	50	2	100
44	50	2	100
46	50	2	100
Jumlah		46	936

Analisis daya dukung izin tiang pancang berdasarkan data N SPT dihitung menggunakan persamaan dari *Mayerhof* (1956). Gaya-gaya yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari hasil analisa menggunakan program ETABS.

4.6.7.3. Perhitungan Daya Dukung Izin Satu Tiang

Daya dukung ijin satu tiang dihitung berdasarkan nilai N-SPT dari hasil SPT dengan menggunakan rumus perhitungan pondasi *Mayerhoof* (1956). Perhitungan daya dukung satu tiang berdasarkan nilai N-SPT dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini :

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 45 \text{ m}$$

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{50 + 50}{2} = 50$$

$$\check{N} = \frac{\sum L_1 \times NSPT}{\sum L_1} = \frac{936}{46} = 20,348$$

$$A_b = 0,25 \times \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 0,6^2 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$A_s = \pi \times D \times L = \pi \times 0,6 \times 45 = 84,78 \text{ m}^2$$

Berdasarkan nilai parameter di atas maka daya dukung satu tiang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_n = 40 \times N_b \times A_b + \check{N} \times A_s$$

$$= 40 \times 50 \times 0,283 + 20,348 \times 84,78 = 4964,176 \text{ kN}$$

$$P_{izin} = P_n \times \phi$$

$$= 4964,176 \times 0,6 = 2978,506 \text{ kN}$$

dengan harus $\leq P_n = 380 \times \check{N} \times A_b$

$$P_n = 380 \times \check{N} \times A_b$$

$$= 380 \times 20,348 \times 0,283$$

$$= 2794,072 \text{ kN}$$

$$2978,506 \text{ kN} \leq 3794,072 \text{ kN} \dots(\text{OK})$$

4.6.7.4. Perhitungan Tahan Lateral Satu Tiang

Untuk menghitung tahanan lateral pada satu tiang digunakan metode *Brooms* (1964). Tahanan lateral tiang (H) kategori tiang panjang, dapat dihitung dengan persamaan :

$$H = y_o \times k_h \times D / [2 \times \beta \times (e \times \beta + 1)]$$

dengan;

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 45 \text{ m}$$

$$f_c' = 49,8 \text{ Mpa (K-600)}$$

$$k_h = 18000 \text{ kN/m}^3$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} \times 10^3 = 4700 \times \sqrt{49,8} \times 10^3 = 33167484,08 \text{ kN/m}^2$$

$$I_c = \pi / 64 \times D^4 = \pi / 64 \times 0,6^4 = 0,0063585 \text{ m}^4$$

$$e = 0,20 \text{ m}$$

$$y_o = 0,006 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \beta &= [k_h \times D / (4 \times E_c \times I_c)]^{0.25} \\ &= [1800 \times 0,6 / (4 \times 33167484,08 \times 0,0063585)]^{0.25} \\ &= 0,336 \text{ m} \end{aligned}$$

Tahanan lateral nominal tiang,

$$\begin{aligned} H &= y_o \times k_h \times D / [2 \times \beta \times (e \times \beta + 1)] \\ &= 0,006 \times 18000 \times 0,6 / [2 \times 0,336 \times (0,20 \times 0,336 + 1)] \\ &= 180,499 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$H_{izin} = H \times \phi$$

$$= 180,499 \times 0,6$$

$$= 108,299 \text{ kN}$$

4.6.7.5. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Untuk mencari daya dukung kelompok tiang dapat menggunakan metode *Converse-labrare*. Metode *Converse-labrare* adalah metode untuk mencari efisiensi kelompok tiang pancang. Data yang digunakan berasal dari hasil analisa struktur menggunakan program ETABS 18.1.1.

Tabel 4. 75. Nilai Reaksi Tumpuan Pada Kolom

Type	P (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)
PC 01	996,70	-194,36	-142,56	-94,94	-91,67
PC 02	3090,34	73,20	86,63	78,49	69,71
PC 03	6365,97	158,43	106,57	175,61	198,17
PC 04	9725,65	123,80	117,44	110,25	76,68

Tabel 4. 76. Nilai Reaksi Tumpuan Pada *Shearwall*

Type	P (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)
SW 01	33694,88	2744,49	159,32	3012,80	11,00
SW 02	36955,12	299,24	3474,81	3701,79	1737,64
SW 03	15442,57	301,02	225,79	470,89	440,71
SW 04	33437,03	53,33	1613,89	633,49	164,62
SW 05	29688,61	2861,93	154,99	974,54	2384,12
SW 06	17882,28	1254,89	505,76	619,89	451,07

Sebagai contoh digunakan hasil analisa pada pondasi type PC 04 untuk perhitungan daya dukung kelompok tiang untuk type pondasi lain dapat dilihat pada tabel rekapitulasi. Untuk mencari efisiensi kelompok tiang pancang maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \left(\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90 \times m \times n} \right) \times \theta$$

dengan ;

$$P = 9725,65 \text{ kN}$$

$$S = 1,8 \text{ m}$$

$$d = 0,5 \text{ m}$$

$$n_{\text{tiang}} = 4 \text{ tiang}$$

$$m = 2$$

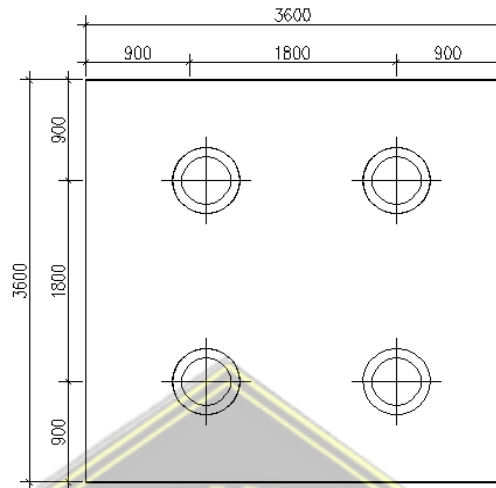
$$n = 2$$

$$\theta = \tan^{-1} (d/s)$$

$$= \tan^{-1} (0,6/1,8)$$

$$= 15,524$$

$$E_g = 0,828$$



Gambar 4.55. Denah *Pilecap* PC 04

$$\begin{aligned} Q_{\text{all (group)}} &= n_{\text{tiang}} \times P_{\text{izin}} \times E_g \\ &= 4 \times 2978,506 \times 0,828 \\ &= 10030,275 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{all (group)}} > P \text{ yaitu } 10030,275 \text{ kN} > 9725,65 \text{ ton}$$

4.6.7.6. Kontrol Gaya Aksial dan Lateral Pada Tiang

Dalam perencanaan pondasi perlu dilakukan kontrol terhadap gaya aksial dan lateral yang bekerja pada pondasi yang direncanakan. Pondasi tiang yang direncanakan harus mampu menahan beban rencana yang bekerja. Sebagai contoh digunakan hasil analisa pada pondasi type PC 04 untuk perhitungan untuk type pondasi lain dapat dilihat pada tabel rekapitulasi.

Data beban pondasi sebagai berikut;

- Gaya Aksial kolom akibat beban terfaktor = 9725,65 kN
- Gaya lateral arah x akibat beban terfaktor, = 123,80 kN
- Gaya lateral arah y akibat beban terfaktor, = 117,44 kN
- Momen arah x akibat beban terfaktor = 110,25 kN.m
- Momen arah y akibat beban terfaktor = 76,68 kN.m
- Tahanan aksial tiang pancang = 2978,51 kN

Tabel 4. 77. Konfigurasi Tiang Pancang Pondasi PC 04

Susunan tiang pancang arah x :				Susunan tiang pancang arah y :			
No.	Jumlah	x	n * x ²	No.	Jumlah	y	n * y ²
	n	(m)	(m ²)		m	(m)	(m ²)
1	2	0,90	1,62	1	2	0,90	1,62
2	2	-0,90	1,62	2	2	-0,90	1,62
3	0	0,00	0,00	3	0	0,00	0,00
n =	4	S x² =	3,24	n =	4	S y² =	3,24
Lebar pilecap arah x						L_x =	3,60
Lebar pilecap arah y						L_y =	3,60

Kontrol gaya aksial dan lateral pada pondasi *tiang pancang* dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini;

a. Gaya Aksial Pada Tiang Pancang

$$\text{Berat tanah di atas pilecap, } W_s = L_x * L_y * z * w_s = 218,12 \text{ kN}$$

$$\text{Berat pilecap, } W_c = L_x * L_y * h * w_c = 248,83 \text{ kN}$$

$$\text{Lengan maksimum tiang pancang arah x thd. Pusat, } x_{\max} = 0,90 \text{ m}$$

$$\text{Lengan maksimum tiang pancang arah y thd. Pusat, } y_{\max} = 0,90 \text{ m}$$

$$\text{Total gaya aksial terfaktor, } P_u = P_{uk} + 1.2 * W_s + 1.2 * W_c = 10285,99 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya aksial pada 1 tiang pancang} =$$

$$\begin{aligned} P_{\text{beban kerja}} &= P_u / n + M_{ux} * x_{\max} / S_x + M_{uy} * y_{\max} / S_y \\ &= 10285,99 / 4 + 110,25 * 0,90 / 3,24 + 76,68 * 0,90 / 3,24 \\ &= 2623,42 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} : P_{\text{beban kerja}} &\leq P_{\text{izin}} \\ 2623,42 \text{ kN} &\leq 2978,506 \text{ kN} \dots (\text{OKE}) \end{aligned}$$

b. Gaya Lateral Pada Tiang Pancang

$$\text{Gaya lateral arah x pada tiang, } h_{ux} = H_{ux} / n = 30,95 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya lateral arah y pada tiang, } h_{uy} = H_{uy} / n = 29,36 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya lateral kombinasi dua arah, } h_{\max} = \sqrt{h_{ux}^2 + h_{uy}^2} = 42,66 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } h_{\max} &\leq H_{\text{izin}} \\ 42,66 \text{ kN} &\leq 108,299 \text{ kN} \dots (\text{OKE}) \end{aligned}$$

Tabel 4. 78. Jumlah Tiang Pancang Pada Kolom

Type	P (kN)	F _x (kN)	F _y (kN)	H _u (kN)	Jumlah	Tiang/Pilecap	Total
PC 01	996,70	-194,36	-142,56	108,30	10	1,00	10
PC 02	3090,34	73,20	86,63	108,30	29	2,00	58
PC 03	6365,97	158,43	106,57	108,30	44	3,00	132
PC 04	9725,65	123,80	117,44	108,30	2	4,00	8
Total Tiang Pancang							208

Kontrol Gaya Aksial Pada Kolom :

$$\begin{aligned}\sum F_z &\leq \sum \text{Tahanan Gaya Aksial} \\ 574128,4 &\leq (208 \times 2978,506) \\ 574128,4 \text{ kN} &\leq 619529,20 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

Kontrol Gaya Lateral Pada Kolom :

$$\begin{aligned}\sum H_x &\leq \sum \text{Tahanan Gaya Lateral} \\ 20294,75 &\leq (208 \times 108,299) \\ 20294,75 \text{ kN} &\leq 22526,260 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum H_y &\leq \sum \text{Tahanan Gaya Lateral} \\ 20997,78 &\leq (208 \times 108,299) \\ 20997,78 \text{ kN} &\leq 22526,260 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

Tabel 4. 79. Jumlah Tiang Pancang Pada Shearwall

Type	P (kN)	F _x (kN)	F _y (kN)	H _u (kN)	Tiang/Pilecap
PC SW 01	33694,88	2744,49	159,32	108,30	14
PC SW 02	36955,12	299,24	3474,81	108,30	15
PC SW 03	15442,57	301,02	225,79	108,30	6
PC SW 04	33437,03	53,33	1613,89	108,30	14
PC SW 05	29688,61	2861,93	154,99	108,30	12
PC SW 06	17882,28	1254,89	505,76	108,30	8
Total Tiang Pancang					69

Kontrol Gaya Aksial Pada Shearwall :

$$\begin{aligned}\sum P &\leq \sum \text{Tahanan Gaya Aksial} \\ 274128,4 &\leq (69 \times 2978,506) \\ 574128,4 \text{ kN} &\leq 619529,20 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

Kontrol Gaya Lateral Pada *Shearwall* :

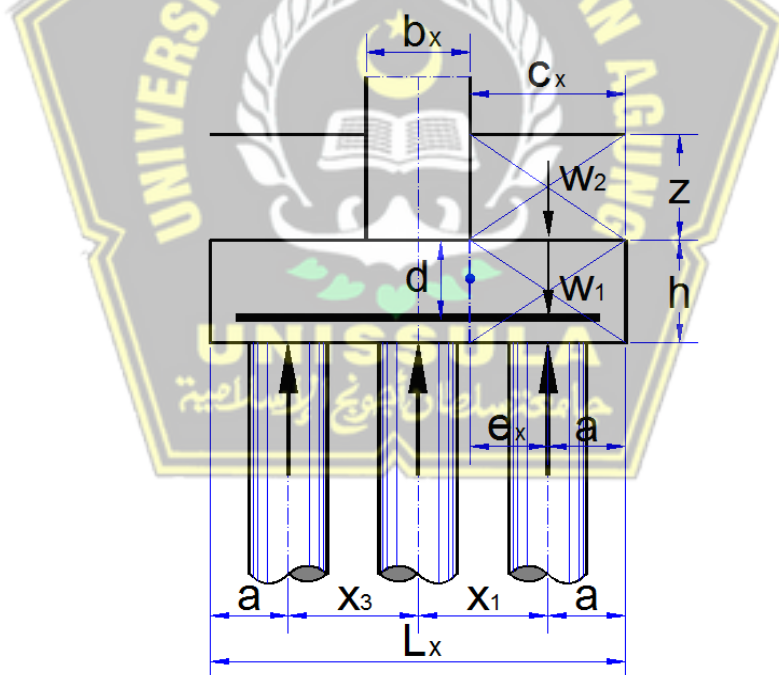
$$\begin{aligned}\sum H_x &\leq \sum \text{Tahanan Gaya Lateral} \\ 7514,89 &\leq (69 \times 108,299) \\ 7514,89 &\leq 7472,65 \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum H_y &\leq \sum \text{Tahanan Gaya Lateral} \\ 6134,55 &\leq (69 \times 108,299) \\ 6134,55 &\leq 7472,65 \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

4.6.7.7. Perhitungan Penulangan Pada *Pilecap*

Desain penulangan lentur *pile cap* dianalisis sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah berat sendiri *pile cap* (q) dan beban terpusat (P). Penulangan *pile cap* kolom didesain dengan menggunakan bahan tulangan baja dengan data sebagai berikut:

a. Desain Penulangan Lentur Arah X



Gambar 4.56. Konfigurasi *Pilecap* dan Tiang Pancang Arah X

- Jarak tepi kolom terhadap sisi luar *pile cap*,

$$c_x = (L_x - b_x) / 2 = 1,300 \text{ m}$$
- Jarak tiang terhadap sisi kolom,

$$e_x = c_x - a = 0,400 \text{ m}$$

- Berat beton,

$$W = c_x * L_y * h * w_c = 89,856 \text{ kN}$$

- Berat beton,

$$W_2 = c_x * L_y * z * w_s = 78,764 \text{ kN}$$

- Momen yang terjadi pada pile cap,

$$M_{ux} = 2 * P_{max} * e_x - W * c_x / 2 = 939,764 \text{ kNm}$$

- Lebar pilecap yang ditinjau

$$b = L_x = 3600 \text{ mm}$$

- Tebal pilecap

$$h = 800 \text{ mm}$$

- Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton

$$d' = 40 \text{ mm}$$

- Tebal efektif plat

$$d = h - d' = 760 \text{ mm}$$

- Kuat tekan beton

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

- Kuat leleh baja tulangan

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Modulus elastis baja

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

- Faktor distribusi tegangan Beton

$$b_1 = 0,85$$

$$r_b = b_1 * 0,85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,03035714$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur Rasio tulangan minimum

$$f = 0,80$$

$$R_{max} = 0,75 * r_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * r_b * f_y / (0,85 * f_c')] = 7,770 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_{ux} / f = 1174,707$$

$$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0,56494$$

$$R_n > R_{max} \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan yang digunakan

$$r = 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c')}] = 0,0014$$

- Rasio tulangan minimum

$$r_{min} = 0,0025$$

- Rasio tulangan yang digunakan

$$r = 0,0025$$

- Luas tulangan yang diperlukan

$$A_{s\ perlu} = r * b * d = 6840,00 \text{ mm}^2$$

- Diameter tulangan yang digunakan

$$D = 22 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$s = p / 4 * D^2 * b / A_s = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan maksimum

$$s_{max} = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan yang digunakan

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Digunakan tulangan

$$D \quad 22 \quad - \quad 200$$

- Luas tulangan terpakai

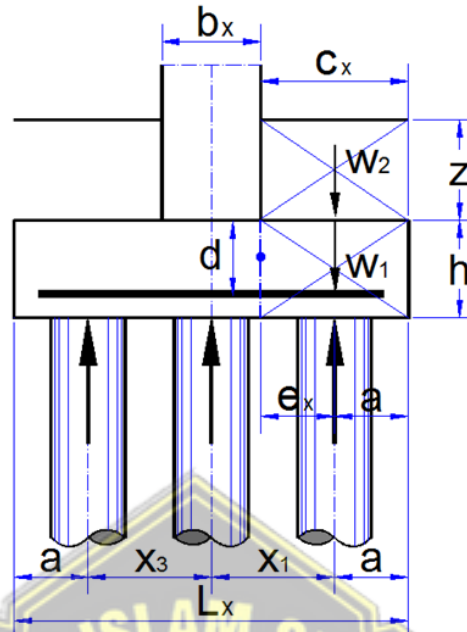
$$A_{s\ pasang} = \pi / 4 * D^2 * b / s = 6842,39 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s\ perlu} \leq A_{s\ pasang}$$

$$6840,00 \text{ mm}^2 \leq 6842,39 \text{ mm}^2 \dots (\text{OK})$$

b. Desain Penulangan Lentur Arah Y



Gambar 4.57. Konfigurasi *Pilecap* dan Tiang Pancang Arah y

- Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pile cap,

$$c_x = (L_x - b_x) / 2 = 1,300 \text{ m}$$
- Jarak tiang terhadap sisi kolom,

$$e_x = c_x - a = 0,400 \text{ m}$$
- Berat beton,

$$W = c_x * L_y * h * w_c = 89,856 \text{ kN}$$
- Berat beton,

$$W_2 = c_x * L_y * z * w_s = 78,764 \text{ kN}$$
- Momen yang terjadi pada *pilecap*,

$$M_{ux} = 2 * P_{max} * e_x - W * c_x / 2 = 939,764 \text{ kNm}$$
- Lebar *pilecap* yang ditinjau

$$b = L_x = 3600 \text{ mm}$$
- Tebal *pilecap*

$$h = 800 \text{ mm}$$
- Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton

$$d' = 40 \text{ mm}$$
- Tebal efektif plat

$$d = h - d' = 760 \text{ mm}$$

- Kuat tekan beton

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

- Kuat leleh baja tulangan

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Modulus elastis baja

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

- Faktor distribusi tegangan Beton

$$b_1 = 0,85$$

$$r_b = b_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,03035714$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur Rasio tulangan minimum

$$f = 0,80$$

$$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 7,770 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_{ux} / f = 1174,707$$

$$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0,56494$$

$$R_n > R_{max} \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan yang digunakan

$$r = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0,0014$$

- Rasio tulangan minimum

$$r_{min} = 0,0025$$

- Rasio tulangan yang digunakan

$$r = 0,0025$$

- Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = r * b * d = 6840,00 \text{ mm}^2$$

- Diameter tulangan yang digunakan

$$D = 22 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$s = p / 4 * D^2 * b / A_s = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan maksimum

$$s_{max} = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan yang digunakan

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Digunakan tulangan

$$D \quad 22 \quad - \quad 200$$

- Luas tulangan terpakai

$$A_s = p / 4 * D^2 * b / s = 6842,39 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ perlu}} \leq A_{s \text{ pasang}}$$

$$6840,00 \text{ mm}^2 \leq 6842,39 \text{ mm}^2 \dots (\text{OK})$$

c. Desain Penulangan Lentur Arah Y

- Rasio tulangan susut minimum

$$r_{smin} = 0,0014$$

- Luas tulangan susut arah x

$$A_{sx} = r_{smin} * b * d = 3803 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan susut arah y

$$A_{sy} = r_{smin} * b * d = 3830 \text{ mm}^2$$

- Diameter tulangan yang digunakan

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan susut arah x

$$s_x = p / 4 * \phi^2 * b / A_{sx} = 106 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan susut maksimum arah x

$$s_{x,max} = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan susut arah x yang digunakan

$$s_x = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan susut arah y

$$s_y = p / 4 * \phi^2 * b / A_{sy} = 106 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan susut maksimum arah y

$$s_{y,max} = 200 \text{ mm}$$

- Jarak tulangan susut arah y yang digunakan

$$s_y = 200 \text{ mm}$$

- Digunakan tulangan susut arah x

$$\phi 12 - 200$$

- Digunakan tulangan susut arah y

$$\phi 12 - 200$$

4.7. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan

Rekapitulasi hasil analisis dan perancangan yang telah dilakukan pada Gedung Rumah Sakit 5 Lantai di Banda Aceh, Aceh sebagai berikut:

1. Perancangan Gedung Rumah Sakit 5 Lantai di Banda Aceh, Aceh dengan kondisi Tanah Lunak (SE) yang menggunakan Sistem Ganda yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dengan parameter desain pada Tabel 4.85 sebagai berikut:

Tabel 4.80. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		IV
Faktor Keutamaan	I_e	1,5
Klasifikasi Situs		SE (Tanah Lunak)
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek	S_s	0,8817
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik	S_1	0,3029
Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,19464
Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	2,7884
Percepatan pada periode pendek	S_{MS}	1,05331
Percepatan pada periode 1 detik	S_{M1}	0,8446
Percepatan desain pada periode pendek	S_{DS}	0,7022
Percepatan desain pada periode 1 detik	S_{D1}	0,5630
Parameter periode	T_0	0,1604
	T_s	0,8019
Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)		
Faktor koefisien modifikasi	R	8
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	3
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5
Parameter Sistem Ganda		
Faktor koefisien modifikasi	R	7
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	2,5
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

2. Analisis hasil respon dinamik struktur akibat pembebanan gempa sebagai berikut:

a) Analisis Respon Dinamik

Dari analisis respon dinamik, diperoleh hasil partisipasi massa sebagai berikut:

- Mode 1 : Translasi Arah Y (0,7112 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah X (0,5762 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,4050 Detik)

b) Analisis Gempa dari Struktur Atas

Dari analisis dinamik respon spektrum, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Beban gempa untuk arah X
 - $T_x = 0,597$ detik
 - $V_{\text{dinamik X}} = 29353,9479$ kN
- Beban gempa untuk arah Y
 - $T_y = 0,711$ detik
 - $V_{\text{dinamik Y}} = 29353,9479$ kN

c) Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*Story Drift*) telah memenuhi syarat. Adapun simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi adalah:

- *Story Drift X*
 - Lantai 1-2 = $17,53 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 36,92 \text{ mm}$
 - Lantai 3- Atap dak = $18,30 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 31,38 \text{ mm}$
- *Story Drift Y* = $28,33 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 31,38 \text{ mm}$
 - Lantai 1-2 = $23,74 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 36,92 \text{ mm}$
 - Lantai 3- Atap dak = $28,79 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 31,38 \text{ mm}$

d) Pengecekan Efek *P*-Delta

Pengecekan efek *P*-Delta dari struktur menyimpulkan bahwa struktur tidak dipengaruhi oleh efek *P*-Delta.

e) Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Pengecekan ketidakberaturan torsi menyimpulkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan torsi horizontal dan tidak terdapat ketidakberaturan torsi vertikal arah X dan arah Y.

3. Analisis gaya dalam yang diperoleh dengan menggunakan ETABS sebagai berikut:

a) Pelat

Dimensi pelat 3900 x 3900 mm dengan tebal 130 mm

- $M_{\max}$ akibat $M_{11 \max}$ = 14,334 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{11 \min}$ = -17,304 kN-m
- $M_{\max}$ akibat $M_{22 \max}$ = 10,004 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{22 \min}$ = -13,875 kN-m
- V_u = 14,875 kN

Dimensi pelat 5500 x 3900 mm dengan tebal 120 mm

- $M_{\max}$ akibat $M_{11 \max}$ = 12,745 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{11 \min}$ = -16,478 kN-m
- $M_{\max}$ akibat $M_{22 \max}$ = 11,216 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{22 \min}$ = -15,082 kN-m
- V_u = 13,109 kN

b) Balok

Dimensi balok G1 350 x 700 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -349,442 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 82,7123 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 245,253 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -222,55 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 218,841 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 273,721 kN-m | ▪ T_u | = 17,852 kN-m |

Dimensi balok G2 500 x 1000 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -589,802 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 119,883 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 279,187 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -100,091 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 208,306 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 403,832 kN-m | ▪ T_u | = 58,592 kN-m |

Dimensi balok B1 300 x 600 mm

- | | | | |
|----------------------|---------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -31,96 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 26,608 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 35,547 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -12,64 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 33,759 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 30,499 kN-m | ▪ T_u | = 29,313 kN-m |

c) Kolom

Dimensi kolom K1 1000 x 1000 mm

- P_u kolom atas = 8071,7696 kN
- P_u kolom desain = 9725,6526 kN
- V_u kolom desain = 173,8015 kN
- P_u kolom bawah = 0 kN

Dimensi kolom K2 700 x 700 mm

- P_u kolom atas = 2253,9358 kN
- P_u kolom desain = 5230,0757 kN
- V_u kolom desain = 116,9106 kN
- P_u kolom bawah = 6037,1822 kN

Dimensi kolom K3 1200 x 1200 mm

- P_u kolom atas = 8071,7696 kN
- P_u kolom desain = 16840,7842 kN
- V_u kolom desain = 337,3478 kN
- P_u kolom bawah = 0 kN

d) Dinding Geser

Tabel 4.81. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Tipe Dinding Geser	Gaya Aksial - Lentur (P max)			Gaya Geser	
	P (kN)	M ₂ (kNm)	M ₃ (kNm)	V ₂ (kN)	V ₃ (kN)
Dinding Geser SW01	-34869,93	-35,1395	105798,362	-7056,723	-639,671
Dinding Geser SW02	-28672,65	-18541,46	44832,045	-26200,73	-4397,701
Dinding Geser SW03	-17270,42	-13341,39	-14104,403	2578,348	-4397,701
Dinding Geser SW04	-31157,32	-38302,3	-53466,27	-5472,313	-5316,919
Dinding Geser SW05	-20548,91	-20,906	44832,045	-7027,474	-32,74
Dinding Geser SW06	-11835,12	-11826,27	-18897,34	-2720,735	-1785,079

e) Pondasi

Tabel 4.82. Gaya Reaksi Pada Kolom

TYPE	P (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)
PC 01	996,70	-194,36	-142,56	-94,94	-91,67
PC 02	3090,34	73,20	86,63	78,49	69,71
PC 03	6365,97	158,43	106,57	175,61	198,17
PC 04	9725,65	123,80	117,44	110,25	76,68

Tabel 4.83. Gaya Reaksi Pada Dinding Geser (*Shearwall*)

TYPE	P (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)
PC SW 01	33694,88	2744,49	159,32	3012,80	11,00
PC SW 02	36955,12	299,24	3474,81	3701,79	1737,64
PC SW 03	15442,57	301,02	225,79	470,89	440,71
PC SW 04	33437,03	53,33	1613,89	633,49	164,62
PC SW 05	29688,61	2861,93	154,99	974,54	2384,12
PC SW 06	17882,28	1254,89	505,76	619,89	451,07

4. Hasil perancangan berupa desain elemen struktur yang dapat memikul beban gempa dan beban gravitasi sebagai berikut:

a) Pelat

Rekapitulasi hasil penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.94 sebagai berikut:

Tabel 4.84. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	7,8	7,8	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
S2	7,8	7,8	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150

b) Balok

Rekapitulasi hasil penulangan balok pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.95 sebagai berikut:

Tabel 4.85. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tul. Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	35 × 70	Atas	6 D19	4 D19	3D10-100	2D10-150	2 D10
		Bawah	3 D19	5 D19			
G2	50 × 100	Atas	8 D19	6 D19	2D10-100	2D10-150	4 D10
		Bawah	6 D19	6 D19			
B1	30 × 60	Atas	3 D16	3 D16	2D10-100	2D10-150	2 D10
		Bawah	3 D16	3 D16			

c) Kolom

Rekapitulasi hasil penulangan kolom pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.96 sebagai berikut:

Tabel 4.86. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	1000 × 1000	24 D25	5 D13-100	5 D13-150
2	K2	700 × 700	20 D22	4 D13-100	4 D13-150
3	K3	1200 × 1200	40 D22	6 D13-100	6 D13-150

d) Dinding Geser

Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.97 sampai 4.102 sebagai berikut:

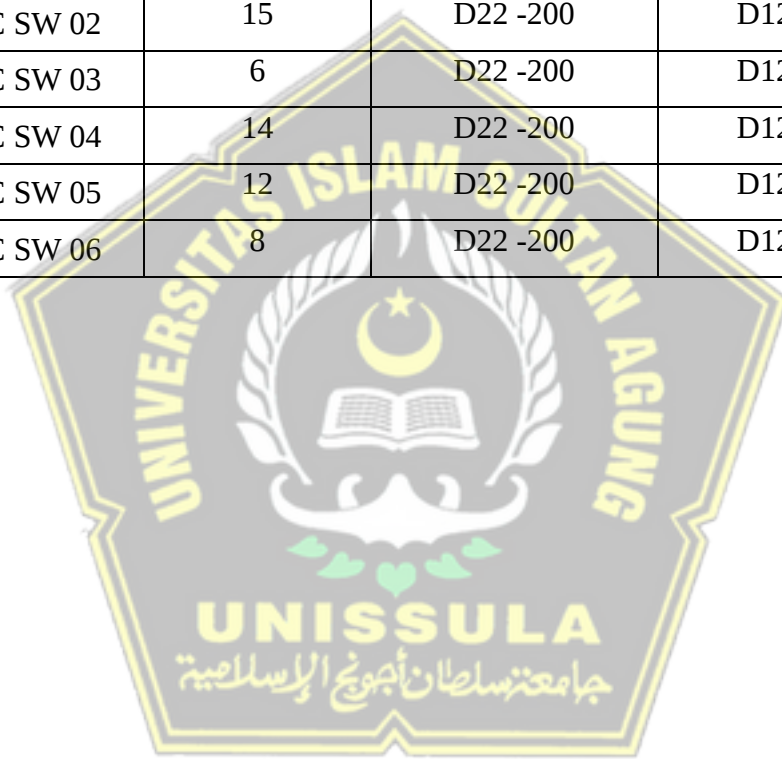
Tabel 4. 87. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser

Tipe Dinding Geser	Tulangan Kolom			Tulangan Badan			
	Longitudinal	Transversal		Longitudinal	Transversal	Transversal	
		Sejajar Lebar	Sejajar Panjang			Sejajar Lebar	Sejajar Panjang
SW01	24 D25	5 D13-100	5 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	8 D13-100
SW02	24 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	6 D13-100
SW03	24 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	10 D13-100
SW04	24 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	12 D13-100
SW05	24 D25	5 D13-100	5 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	6 D13-100
SW06	6 D16	4 D13-100	4 D13-100	2D 16-200	2 D16-200	4 D13-100	14 D13-100

e) Pondasi

Tabel 4.88. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pondasi

Type	Jumlah Tiang (n)	Penulangan <i>Pilecap</i>	
		Tulangan Lentur	Tulangan Susut
PC 01	1	D22 -200	D12 - 200
PC 02	2	D22 -200	D12 - 200
PC 03	3	D22 -200	D12 - 200
PC 04	4	D22 -200	D12 - 200
PC SW 01	14	D22 -200	D12 - 200
PC SW 02	15	D22 -200	D12 - 200
PC SW 03	6	D22 -200	D12 - 200
PC SW 04	14	D22 -200	D12 - 200
PC SW 05	12	D22 -200	D12 - 200
PC SW 06	8	D22 -200	D12 - 200



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis Desain Struktur Gedung Rumah Sakit yang telah dibahas pada laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “DESAIN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT 5 LANTAI DI KOTA BANDA ACEH” didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan analisa struktur untuk yang direncanakan berdasarkan SNI 1726 : 2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur bangunan Gedung dan Nongedung” maka sistem struktur yang digunakan pada bangunan ini adalah Sistem Ganda yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dengan data hasil analisa sebagai berikut :
 - a. Kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa bangunan telah terpenuhi pada 40 ragam untuk arah UX, UY, dan RZ. Sehingga partisipasi massa bangunan telah terpenuhi yaitu 100 % dari massa struktur, menurut SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 mengenai jumlah ragam. Pada mode 1 bangunan mengalami translasi arah Y dengan periode getar sebesar 0,711 detik, pada mode 2 bangunan mengalami translasi arah X dengan periode getar sebesar 0,576 detik, sedangkan pada mode 3 bangunan mengalami rotasi dengan periode getar sebesar 0,405 detik.
 - b. Kontrol Simpangan antar lantai, baik simpangan arah X maksimum sebesar 18,30 mm pada lantai 4 bangunan dengan simpangan izin 36,92 mm dan arah Y maksimum sebesar 28,79 mm pada lantai 4 bangunan dengan simpangan izin 35,38 mm, dengan begitu simpangan antar lantai menurut SNI 1726 : 2019 pasal 7.12.1 sudah memenuhi.
 - c. Kontrol P-Delta, baik nilai P-Delta arah X nilai terbesar 0,059 P-Delta maksimum 0,0909 dan arah Y nilai terbesar 0,089 P-Delta maksimum 0,0909, dengan begitu P-Delta menurut SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.7 sudah memenuhi.

2. Analisa ketidakberaturan struktur berdasarkan SNI 1726 : 2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur bangunan Gedung dan Nongedung” menghasilkan antara lain :

a. Ketidakberaturan horizontal

Pada bangunan yang didesain tidak mengalami ketidakberaturan horizontal (ketidakberaturan torsi 1a dan 1b, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang, dan ketidakberaturan sistem non paralel).

b. Ketidakberaturan vertikal

Pada bangunan yang didesain tidak mengalami ketidakberaturan vertikal (ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b, ketidakberaturan masa, ketidakberaturan geometri vertikal, ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral, dan ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat 5a dan 5b).

3. Desain komponen struktur dengan mengacu pada SNI 2847 : 2019 tentang “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan” menghasilkan desain sebagai berikut :

a. Struktur Atas Gedung

- Desain dimensi pelat lantai (S1) didesain dengan ketebalan 130 mm serta penulangan pada pelat tipe S1 D10 – 150 mm dan Pelat atap (S2) didesain dengan ketebalan 120 mm serta penulangan pada pelat tipe S2 D10 – 150 mm.
- Desain balok G1 (35 x 75) cm tulangan atas pada tumpuan 6 D19 bawah pada tumpuan 3 D19, Tulangan atas pada lapangan 4 D19 bawah pada lapangan 5 D19, tulangan transversal pada tumpuan 3D10 – 100 pada lapangan 2D10 – 150. Tulangan torsi 2 D10. G2 (50 x 100) cm tulangan atas pada tumpuan 8 D19 bawah pada tumpuan 6 D19, Tulangan atas pada lapangan 6 D19 bawah pada lapangan 6 D19, tulangan transversal pada tumpuan 2D10 – 100 pada lapangan 2D10 – 150. Tulangan torsi 4 D10. B1 (30 x 60) cm tulangan atas pada tumpuan 3 D16 bawah pada tumpuan 3 D16, Tulangan atas pada lapangan 3 D16 bawah pada lapangan 3 D16,

tulangan transversal pada tumpuan 2D10 – 100 pada lapangan 2D10 – 150. Tulangan torsi 2 D10.

- Desain kolom K1 (100 x 100) cm tulangan pokok 24 D25 tulangan geser tumpuan 5 D13-100 tulangan geser lapangan 5 D13 – 150. K2 (70 x 70) cm tulangan pokok 20 D22 tulangan geser tumpuan 4 D13-100 tulangan geser lapangan 4 D13 – 150. K3 (120 x 120) cm tulangan pokok 40 D22 tulangan geser tumpuan 6 D13-100 tulangan geser lapangan 6 D13 – 150.
- Desain dinding geser SW01 didapat hasil penulangannya yaitu untuk tulangan longitudinal 2D16 – 200 dan tulangan transversal 2D16 – 200. Desain dinding geser SW02 didapat hasil penulangannya yaitu untuk tulangan longitudinal 2D16 – 200 dan tulangan transversal 2D16 – 200. Desain dinding geser SW03 didapat hasil penulangannya yaitu untuk tulangan longitudinal 2D16 – 200 dan tulangan transversal 2D16 – 200. Desain dinding geser SW04 didapat hasil penulangannya yaitu untuk tulangan longitudinal 2D16 – 200 dan tulangan transversal 2D16 – 200. Desain dinding geser SW05 didapat hasil penulangannya yaitu untuk tulangan longitudinal 2D16 – 200 dan tulangan transversal 2D16 – 200. Desain dinding geser SW06 didapat hasil penulangannya yaitu untuk tulangan longitudinal 2D16 – 200 dan tulangan transversal 2D16 – 200.

b. Struktur Bawah Gedung

- Desain pondasi tiang pancang dengan diameter 600mm dan panjang tiap segmen 12m direncanakan telah mampu menahan gaya pada struktur gedung dengan nilai $P_{\text{yang bekerja}} = 2623,42 \text{ kN} \leq P_{\text{izin}} = 2978,51 \text{ kN}$. Sedangkan untuk kontrol terhadap gaya lateral nilai $h_{\text{umax}} = 42,66 \text{ kN} \leq H_{\text{izin}} = 108,30 \text{ kN}$.
- c. Desain penulangan lentur dan tulangan susut pada struktur *pilecap* direncanakan telah mampu menahan gaya yang bekerja pada tiap kelompok tiang pondasi yang telah didesain. Dengan tulangan lentur digunakan D22-200 dan tulangan susut digunakan D12-200.

5.2. Saran

Saran yang didapat setelah melaksanakan proses desain struktur Gedung Rumah Sakit 5 Lantai di Kota Banda Aceh adalah sebagai berikut:

1. Proses perancangan suatu bangunan gedung hendaknya dapat mengikuti standar SNI yang terbaru guna menyesuaikan dengan aturan dan batasan dalam perencanaan struktur sehingga desain struktur yang dihasilkan memenuhi standar yang berlaku.
2. Perhitungan struktur bangunan gedung hendaknya tidak hanya bergantung pada penggunaan *software* analisis struktur saja, namun harus didukung pula menggunakan perhitungan manual sebagai kontrol perhitungan dan menghindari terjadinya kesalahan dalam proses input data pada *software*.
3. Pemahaman dan ketelitian terkait peraturan yang berlaku serta keterampilan dalam penggunaan *software* analisa struktur harus selalu ditingkatkan sebagai bekal untuk menghadapi dunia kerja nanti.



DAFTAR PUSTAKA

- Atmadja, H. S., & Maulana, S. A. (2017). *Redesign Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro Kota Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Budiono, Bambang dkk. (2017). *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa*. Bandung: ITB Press.
- Fadli, M. H. (2015). *Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda (Dual System) Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai Standard Code SNI 1726:2012*. Jakarta, Indonesia.
- Musthofa, E., & Fasikhullisan. (2019). *Perencanaan Gedung Enam Tingkat Rumah Sakit Royal Biringkanaya di Makasar Berdasarkan SNI 1726-2012*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 693.
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 694.
- Nasional, B. S. (2020). *SNI 1727-2020 : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 235.
- PU, Puskim. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>
- Putra, Rozy B. A. & Budiyanto, S. (2022). *Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Reza, Alif Muhammad. (2021, 13 Januari). *Penulangan Balok*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/iWj6L-jefoU>
- Reza, Alif Muhammad. (2021, 27 Januari). *Penulangan Dinding Geser*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/OvmMcXg0hVU>
- Reza, Alif Muhammad. (2022, 1 September). *Desain Penulangan Lentur Pelat*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/q7AhrEsfZOE>
- Setiawan, Agus. (2020, 16 Juli). *Desain Kolom SRPMK #1 Sesuai SNI Beton Terbaru*. Agus Setiawan, https://youtu.be/Uyu_sS2IxpW
- Setiawan, Agus. (2020, 29 Juli). *Bagaimana Cara Mendesain Kolom SRPMK ? #2 Contoh Soal*. Agus Setiawan, <https://youtu.be/GEF6-xvf3Ks>
- Sofian, A., & Arrosyid, A. (2019). *Analisis Perbandingan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Khusus pada Desain Struktur Gedung Asrama Mahasiswa Unimus di Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).