

TUGAS AKHIR

ANALISIS SISTEM STRUKTUR DAN DIMENSI STRUKTUR GEDUNG PERKANTORAN PADA BERBAGAI JENIS KONDISI TANAH DI KOTA MEDAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

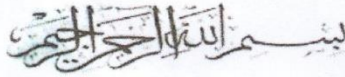
Disusun Oleh:

MUHAMMAD YUSRIL FAISAL

1707210004



**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**



LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

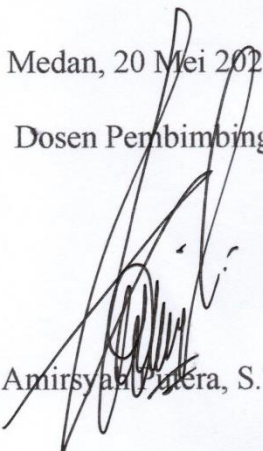
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Yusril Faisal
NPM : 1707210004
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Sistem Struktur dan Dimensi Struktur Gedung
Perkantoran pada Berbagai Jenis Kondisi Tanah di Kota
Medan

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 20 Mei 2022

Dosen Pembimbing


Tondi Amirsyah Pintera, S.T., M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

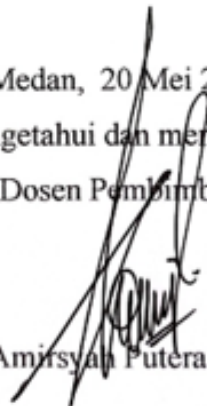
Nama : Muhammad Yusril Faisal
NPM : 1707210004
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Sistem Struktur dan Dimensi Struktur Gedung
Perkantoran pada Berbagai Jenis Kondisi Tanah di Kota
Medan
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

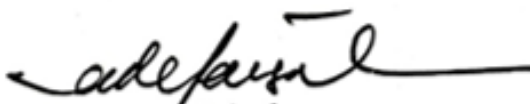
Medan, 20 Mei 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing


Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I



Dr. Ade Faisal

Dosen Pembanding II



Dr. Fahrizal Zulkarnain

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Yusril Faisal
Tempat, Tanggal Lahir : Klaten, 04 Oktober 1999
NPM : 1707210004
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Sistem Struktur dan Dimensi Struktur Gedung Perkantoran pada Berbagai Jenis Kondisi Tanah di Kota Medan”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat serupa pembatalan kelulusan /kesarjama saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Mei 2022

Saya yang menyatakan,



Muhammad Yusril Faisal

ABSTRAK

ANALISIS SISTEM STRUKTUR DAN DIMENSI STRUKTUR GEDUNG PERKANTORAN PADA BERBAGAI JENIS KONDISI TANAH DI KOTA MEDAN

Muhammad Yusril Faisal

1707210004

Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T.

Perencanaan dan perancangan bangunan struktur beton bertulang tahan gempa di Indonesia diatur dalam SNI 1726-2019, SNI 1727-2020 dan SNI 2847-2019. Dalam merencanakan struktur gedung banyak faktor yang mempengaruhi, salah satunya adalah perbedaan jenis tanah berpengaruh pada resiko ketahanan bangunan saat terjadi gempa dimana pada setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda. Dalam jurnal ini terdapat 3 model struktur gedung kantor 10 lantai dengan sistem SRPMK. Model pertama yaitu struktur 10 lantai di atas tanah lunak (SE), model kedua struktur 10 lantai di atas tanah sedang (SD), dan model ketiga struktur 10 lantai di atas tanah keras (SC). Struktur menggunakan beton bertulang dengan input beban yang sama dan berdasarkan analisa linier gempa metode respon spektrum. Berdasarkan hasil analisa menggunakan bantuan program analisa struktur, didapat nilai gaya geser pada model 1 ($X = 3644$; $Y = 3716$), model 2 ($X = 2948$; $Y = 3006$), dan model 3 ($X = 2415$; $Y=2463$). Hasil analisis desain tulangan balok pada model 1 menggunakan tulangan longitudinal 19 D19, untuk model 2 menggunakan tulangan longitudinal 17 D19, untuk model 3 menggunakan tulangan longitudinal 15 D19. Hasil desain tulangan kolom pada model 1 menggunakan tulangan longitudinal 40 D22, untuk model 2 menggunakan tulangan longitudinal 32 D22, untuk model 3 menggunakan tulangan longitudinal 24 D22. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa semakin keras tanah tempat struktur maka semakin kecil pula gaya gempanya, hal ini karena disebabkan oleh faktor yang mempengaruhi adalah nilai koefisien respon seismik (C_s) yang ditentukan dari nilai S_d1 .

Kata kunci: SRPMK, respon spektrum, tanah lunak, tanah sedang, tanah keras.

ABSTRACT

ANALYSIS STRUCTURE SYSTEM AND STRUCTURAL DIMENSIONS OF OFFICE BUILDING ON VARIOUS TYPES OF SOIL CONDITIONS IN MEDAN CITY

Muhammad Yusril Faisal

1707210004

Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T.

The planning and design of earthquake-resistant reinforced concrete structures in Indonesia is regulated in SNI 1726-2019, SNI 1727-2020 and SNI 2847-2019. In planning the structure of the building, there are many factors that influence, one of which is the difference in soil types that affect the risk of building resilience during an earthquake where each type of soil has different characteristics. In this journal, there are 3 structural models of a 10-storey office building with the SRPMK system. The first model is a 10-story structure on soft ground (SE), the second model is a 10-story structure on medium soil (SD), and the third model is a 10-story structure on hard ground (SC). The structure uses reinforced concrete with the same load input and based on a linear analysis of the earthquake response spectrum method. Based on the results of the analysis using the help of a structural analysis program, the shear force values obtained in model 1 ($X = 3644$; $Y = 3716$), model 2 ($X = 2948$; $Y = 3006$), and model 3 ($X = 2415$; $Y=2463$). The results of the analysis of the design of the beam reinforcement in model 1 using 19 D19 longitudinal reinforcement, for model 2 using 17 D19 longitudinal reinforcement, for model 3 using 15 D19 longitudinal reinforcement. The results of the column reinforcement design in model 1 using 40 D22 longitudinal reinforcement, for model 2 using 32 D22 longitudinal reinforcement, for model 3 using 24 D22 longitudinal reinforcement. Based on these results, it can be seen that the harder the soil where the structure is located, the smaller the earthquake force, this is because the influencing factor is the value of the seismic response coefficient (C_s) which is determined from the value of S_dI .

Keywords: SRPMK, response spectrum, soft soil, medium soil, hard soil.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Sistem Struktur dan Dimensi Struktur Gedung Perkantoran pada Berbagai Jenis Kondisi Tanah di Kota Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Rizki Efrida S.T, M.T selaku selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Orang Tua Penulis, Ayahanda Muhammad Rizal S.Ag. dan Ibunda tercinta Lilik Rahmawati S.Ag. yang telah memberikan kasih sayang tanpa batas,

membesarkan, membimbing, memberikan semangat & dukungan baik moral maupun materil dan doa-doa terbaik yang tidak pernah putus hingga hari ini dan Adik tersayang Azizah Caesa Riza Septin beserta atok, nenek, uwak, bapak, unde, bulek, saudara–saudara sepupu yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan studi pendidikan dari awal hingga akhir, semoga Allah melimpahkan kasih sayangnya, selalu dalam lindungannya dan balasan terbaik kepada semuanya atas segala pengorbanan, kesabaran, nasehat, bimbingan dan doanya yang begitu luas dalam setiap langkah hidup penulis.

9. Sahabat – sahabat penulis Muhammad Rizki Pratama, Pradana Bayu Putra, Malik Vanedi, Deny Syaputra, Rendi Syahputra, Sri Tara Diva Sialagan, Asya Rizki Ila Utami, Indah Dwi Sukmawati, Dinda Nasution, Rizki, Tapriadi dan Farid serta keluarga besar Teknik Sipil UMSU 2017 serta teman sejawat lainnya yang tidak dapat disebut satu per satu terimakasih atas dukungan dan kerjasamanya selama ini.
10. Teman seperbimbingan skripsi Winda Tari Utami yang selalu banyak membantu dan memberi semangat serta menjadi teman diskusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih sudah sabar dan berjuang bersama mempelajari software – software analisis struktur dan memahami ilmu desain struktur untuk bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah memudahkan & lancarkan setiap urusan & rencana terbaiknya kedepan.
11. @alfalaah.print yang telah mensponsori penelitian skripsi penulis dan mulai dari sejak awal penulis kuliah hingga menyelesaikan studi Sarjana Teknik (S.T.). Terimakasih atas *support* dan kerjasamanya, semoga @alfalaah.print semakin berkembang dan mempunyai cabang di seluruh Indonesia.
12. Abangda Alif Muhammad Reza S.T., M.T. yang telah banyak membantu dalam memberikan ilmu desain struktur untuk bisa menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Semoga abangda alif sehat selalu, selalu dalam naungan Allah SWT di memudahkan & dilancarkan segala urusan dan rezekinya.
13. Channel @8minuteslearn yang telah banyak membantu dalam memberikan ilmu dan tutorial menggunakan software analisis struktur sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Semoga channel 8 minutes learn semakin maju dan berkembang serta menjadi channel no 1 di Indonesia dalam ilmu desain struktur.

14. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu selesainya penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga segala kebaikan semua pihak mendapat balasan yang terbaik dan berlipat dari Allah swt.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 25 April 2022

Muhammad Yusril Faisal

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	7
2.2.1 Perilaku Bangunan Tahan Gempa	7
2.3 Sistem Struktur	8
2.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen	9
2.3.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa	9
2.3.1.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah	9
2.3.1.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	10
2.3.2 Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur Menurut SNI 1726:2019	10

2.4 Struktur Beton	10
2.4.1 Beton Bertulang	10
2.4.1.1 Balok	11
2.4.1.2 Kolom	11
2.5 Pembebanan untuk Perencanaan Bangunan Gedung	13
2.5.1 Kombinasi Pembebanan	13
2.5.1.1 Beban Mati	14
2.5.1.2 Beban Hidup	14
2.5.1.3 Beban Angin	15
2.5.1.4 Beban Gempa	15
2.6 Tata Cara Perencanaan Gedung Tahan Gempa (SNI 1726:2019)	15
2.6.1 Gempa Rencana	16
2.6.2 Peta Wilayah Gempa	16
2.6.3 Arah Pembebanan Gempa	17
2.6.4 Prosedur Analisis	17
2.6.5 Struktur Penahan Gaya Seismik	17
2.6.6 Spektrum Respon Desain	18
2.7 Evaluasi Kriteria SRPMK Tahan Gempa Dengan Metode Respon Spektrum	19
2.7.1 Analisis Respons Spektrum	19
2.7.2 Geser Dasar Seismik	20
2.7.3 Periode Alami Struktur	22
2.7.4 Penentuan Simpangan Antar Lantai	23
2.7.5 Pengaruh P-Delta	24
2.7.6 Ketidakberaturan Horizontal	25
2.7.7 Ketidakberaturan Vertikal	26
2.8 Parameter Tanah	27
2.8.1 Jenis Tanah	27
2.8.2 Analisis Daya Dukung Tanah	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Metodologi Penelitian	30
3.2 Permodelan Struktur	32

3.2.1	Data Perencanaan Struktur	32
3.2.2	Konfigurasi Bangunan	32
3.2.3	Dimensi Rencana Kolom dan Balok	36
3.3	Pembebanan Struktur	37
3.3.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	38
3.3.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	39
3.3.3	Beban Angin (Wind)	40
3.3.4	Beban Gempa	40
3.4	Koreksi Faktor Redudansi	41
3.5	Kombinasi Pembebanan	41
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1	Tinjauan Umum	44
4.2	Perbandingan Hasil Analisis Struktur di Berbagai Kondisi Tanah	44
4.2.1	Analisis Respons Spektrum Ragam	44
4.2.2	Berat Struktur	48
4.2.3	Gaya Geser Dasar Nominal	49
4.2.4	Simpangan Antar Tingkat	51
4.2.5	Pengaruh P-Delta	53
4.2.6	Ketidakteraturan Horizontal	54
4.2.6.1	Ketidakteraturan Torsi (Tipe 1a dan Tipe 1b)	55
4.2.7	Ketidakteraturan Vertikal	57
4.2.7.1	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak (Tipe 1a dan Tipe 1b)	57
4.2.7.2	Ketidakteraturan Massa (Tipe 2)	61
4.2.7.3	Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat (Tipe 5a dan Tipe 5b)	62
4.2.8	Desain Struktur Balok dan Kolom	65
4.2.8.1	Desain Balok	65
4.2.8.2	Desain Kolom	69
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	75

DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	78
LEMBAR ASISTENSI	136
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Macam-macam respon akibat beban siklik.	7
Gambar 2.2: Jenis kolom berdasarkan tipe penulangan	12
Gambar 2.3: Struktur kolom bergoyang dan tak bergoyang	12
Gambar 2.4: Spektrum respons desain	19
Gambar 2.5: Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2019	23
Gambar 2.6: Tipe ketidakberaturan horizontal pada struktur	25
Gambar 2.7: Tipe ketidakberaturan vertikal pada struktur	26
Gambar 3.1: Bagan Alir Metodologi Penelitian.	25
Gambar 3.2: Denah rangka struktur gedung.	28
Gambar 3.3: Potongan rangka struktur gedung kantor 10 lantai	34
Gambar 3.4: Perspektif 3D Struktur gedung kantor 10 lantai	34
Gambar 3.5: Elemen Balok dan Kolom yang ditinjau	35
Gambar 3.6: Elemen Balok dan Kolom yang ditinjau	35
Gambar 3.7: Grafik respons spektrum gempa Kota Medan dengan kondisi tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC)	40
Gambar 4.1: Perbandingan nilai gaya geser dasar arah X pada ketiga kondisi tanah	47
Gambar 4.2: Perbandingan nilai gaya geser dasar arah Y pada ketiga kondisi tanah	48
Gambar 4.3: Perbandingan nilai story drift arah X pada ketiga kondisi tanah	49
Gambar 4.4: Perbandingan nilai story drift arah Y pada ketiga kondisi tanah	49
Gambar 4.5: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur arah X pada ketiga kondisi tanah	50
Gambar 4.6: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur arah Y pada ketiga kondisi tanah	51
Gambar 4.7: Grafik pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah X pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	52
Gambar 4.8: Grafik pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah Y pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	53
Gambar 4.9: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah x) pada tanah lunak, sedang, dan keras	56
Gambar 4.10: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah y) pada tanah lunak, sedang, dan keras	56

Gambar 4.11: Pengecekan ketidakberaturan massa (tipe 2) pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	58
Gambar 4.12: Koreksi ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras (arah x)	61
Gambar 4.13: Koreksi ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras (arah y)	61
Gambar 4.14: Nilai As perlu dan As pakai balok pada ketiga model	63
Gambar 4.15: Gambar detail penampang dan tulangan balok pada ketiga model	65
Gambar 4.16: Nilai As perlu dan As pakai kolom pada ketiga model	66
Gambar 4.15: Gambar detail penampang dan tulangan kolom pada ketiga model	68
Gambar L1.1: Denah dan potongan lift	77
Gambar L1.2: Denah penthouse	78
Gambar L1.3: Potongan rangka struktur penthouse	78
Gambar L1.4: Dimensi balok penthouse	78
Gambar L1.5: Dimensi kolom penthouse	78
Gambar L1.6: Reaksi (kg) / beban dari struktur penthouse	79
Gambar L2.1: Luas pengaruh dan luas tributari tipikal	81
Gambar L2.2: Denah perencanaan tangga	83
Gambar L2.3: Tampak potongan samping perencanaan tangga	83
Gambar L2.4: Skema pembebanan pada tangga	84
Gambar L3.1: Beban angin tampak atas	87
Gambar L3.2: Beban angin tampak samping	87
Gambar L4.1: Peta parameter Ss untuk daerah Medan	88
Gambar L4.2: Peta parameter S1 untuk daerah Medan	89
Gambar L4.3: Peta transisi periode panjang, TL untuk daerah Medan	92
Gambar L.4.4: Spektrum respon desain untuk daerah Medan	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Jenis – jenis tanah	28
Tabel 2.2: Koefisien daya dukung dari Terzaghi	29
Tabel 3.1: Dimensi komponen struktur yang digunakan dalam analisis.	37
Tabel 3.2: Berat material konstruksi berdasarkan SNI 1727:2020	38
Tabel 3.3: Berat tambahan komponen gedung berdasarkan SNI 1727:2020	38
Tabel 3.4: Nilai faktor reduksi beban hidup per lantai	39
Tabel 4.1: Nilai perioda alami dan ragam massa struktur pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.	44
Tabel 4.2: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan struktur	45
Tabel 4.3: Perbandingan nilai V , V_t , dan penyesuaian skala gempa pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	46
Tabel 4.4: Perbandingan nilai gaya geser dasar pada ketiga kondisi tanah	47
Tabel 4.5: Perbandingan story drift pada struktur di berbagai kondisi tanah	48
Tabel 4.6: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	50
Tabel 4.7: Kontrol ketidakberaturan horizontal tipe 1a & 1b pada tanah lunak, sedang, dan keras	52
Tabel 4.8: Kontrol ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah x) pada tanah lunak, sedang, dan keras	54
Tabel 4.9: Kontrol ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah y) pada tanah lunak, sedang, dan keras	55
Tabel 4.10: Kontrol ketidakberaturan massa struktur pada ketiga kondisi tanah	57
Tabel 4.11: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b arah x pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	59
Tabel 4.12: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b arah y pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	60
Tabel 4.13: Output gaya dalam balok (B24 lantai 2) pada model 1, 2 dan 3	62
Tabel 4.14: Nilai A_s & ρ perlu dan A_s & ρ pakai balok (B24) pada model 1, 2 & 3	63
Tabel 4.15: Nilai M_u , M_n , V_u , dan V_n balok (B24) pada model 1, 2 & 3	64
Tabel 4.16: Rekapitulasi tulangan balok (B24) pada struktur 10 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras	64

Tabel 4.17: Output gaya dalam kolom (C22 lantai 1) pada model 1, 2 dan 3	66
Tabel 4.18: Nilai A_s & ρ perlu dan A_s & ρ pakai kolom (C22) pada model 1, 2 & 3	66
Tabel 4.19: Nilai M_u , M_n , V_u , dan V_n kolom (C22) pada model 1, 2 & 3	67
Tabel 4.20: Rekapitulasi tulangan kolom pada struktur 10 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras	68
Tabel L1.1: Data spesifikasi lift dari Hyundai Elevator Co., Ltd	76
Tabel L1.2: Data spesifikasi lift dari Hyundai Elevator Co., Ltd	76
Tabel L2.1: Beban hidup area berdasarkan Tabel 4.3.1 SNI 1727:2020	80
Tabel L2.2: Beban hidup area setelah direduksi	82
Tabel L2.3: Data perencanaan tangga dari base ke lantai 1	82
Tabel L2.4: Data perencanaan tangga dari lantai 1 ke lantai 10	82
Tabel L4.1: Faktor keutamaan gempa (Tabel 4, SNI 1726-2019, hal 25)	88
Tabel L4.2: Koefisien situs (F_a) (Tabel 6 SNI 1726-2019, hal. 34)	89
Tabel L4.3: Koefisien situs, F_v (Tabel 7, SNI 1726-2019, hal. 34-35)	89
Tabel L4.4: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.	90
Tabel L4.5: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik.	90
Tabel L4.6: Pemilihan prosedur analisis (Tabel 16, SNI 1726-2019, hal. 68)	93
Tabel L4.7: Data gempa respon spektrum pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	94
Tabel L5.1: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2019, Tabel 18, hal. 72)	95
Tabel L5.2: Koefisien batas atas untuk periode yang dihitung (SNI 1726 - 2019, Tabel 17 hal. 72).	96
Tabel L6.1: Nilai koefisien seismic (C_s)	98
Tabel L6.2: Berat struktur (W)	98
Tabel L6.3: Nilai V_t pada tanah lunak	99
Tabel L6.4: Nilai C_s pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras	100

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang (mm^2)
A _s	= Luas tulangan, (mm^2)
A _T	= Luas tributary (mm^2)
A _v	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau Luas (mm^2)
b	= Lebar daerah tekan komponen struktur (mm)
b _w	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)
C _{s'}	= Gaya tekan pada beton (kN)
C _d	= Faktor amplikasi defleksi
C _s	= Koefisien respon gempa (g)
C _t	= Nilai parameter periode pendekatan
C _u	= Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung
C _{v_x}	= Faktor distribusi vertikal
D	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
d'	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)
d _b	= Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
D	= Pengaruh dari beban mati
d	= Tinggi nominal total penampang (mm)
f	= Frekuensi Struktur
F _a	= Koefisien situs perioda pendek pada perioda 0,2 detik
F _v	= Koefisien situs perioda panjang pada perioda 1 detik
f _{c'}	= Kuat tekan beton (MPa)
f _y	= Kuat leleh baja (Mpa)
f _{vy}	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
E	= Modulus elastisitas bahan (Mpa)
E _h	= Pengaruh beban seismik horizontal
E _v	= Pengaruh beban seismik vertikal
E _x	= Beban Gempa Arah X
E _y	= Beban Gempa Arah Y
G	= Modulus geser (Mpa)

- G_{Cp} = Koefesien tekanan eksternal
 G_{cpi} = Koefesien tekana internal
 g = Percepatan gravitasi (mm/det^2)
 h = Tinggi gedung yang ditinjau (m)
 H = Tinggi bukit terhadap elevasi kawasan disi angin datang (m)
 h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)
 I_e = Faktor Keutamaan
 K = Kekakuan struktur (kN/m)
 K_d = faktor pengaruh angin
 K_z = koefesien eksposur tekana velositas
 K_{zt} = faktor topografi
 K_{LL} = Faktor elemen beban hidup
 L = Panjang bentang (m)
 L = Beban hidup rencana (kN/m^2)
 L_L = Beban hidup
 L_o = Beban hidup tanpa reduksi
 L_r = Beban hidup di atap (kN/m^2)
 l_n = Bentang bersih balok (mm)
 M_{nc} = Momen kapasitas 2 kolom yang bertemu di joint (kN.m)
 M_{nb} = Momen kapasitas 2 balok yang menumpu di joint (kN.m)
 M_n = Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (N.mm)
 P_u = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (kN)
 R = Beban hujan (kN/m^2)
 R = Faktor koefisien modifikasi respon
 S = Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan (N)
 S_A = Batuan keras
 S_B = Batuan
 S_C = Tanah keras
 S_D = Tanah sedang
 S_E = Tanah lunak
 S_F = Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik.
 S_a = spektrum respons percepatan desain
 S_s = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2s

S_1 = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 s
 S_{DS} = Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek
 S_{D1} = Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik
 S_{MS} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek
 S_{M1} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik
 T = Perioda getar fundamental struktur (detik)
 $T_{a\ min}$ = Nilai batas bawah perioda bangunan, (detik)
 $T_{a\ maks}$ = Nilai batas atas perioda bangunan, (detik)
 T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton (N.mm)
 T_n = Kuat momen torsi nominal (N.mm)
 T_u = Momen torsi terfaktor pada penampang (N.mm)
 V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (kN)
 V_n = Pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan (kN)
 V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (kN)
 V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang (kN)
 V = Kecepatan angin (km/jam)
 V_n = Kekuatan geser (kN)
 V_t = Gaya geser dasar nominal dari ragam spektrum (kN)
 V_1 = Gaya geser dasar nominal dari statik ekuivalen (kN)
 W = Berat total gedung (kg)
 W = Beban angin (kN)
 W_t = Berat total gedung (kg)
 Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain (mm)
 Δ_a = Simpangan antar lantai yang diijinkan (mm)
 β = Rasio bentang arah memanjang terhadap arah memendek plat dua arah
 δ_x = Defleksi pusat massa ditingkat x (mm)
 δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan (mm)
 ρ = Faktor reduksi
 ρ_{max} = Rasio tulangan tarik maksimum (%)
 ρ_{min} = Rasio tulangan tarik minimum (%)
 Ω_0 = Faktor pembesaran defleksi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan kawasan yang terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng (*triple junction plate convergence*) yaitu lempeng Eurasia, lempeng Samudera Pasifik dan lempeng India-Australia yang masing-masing bergerak ke barat dan ke utara serta relatif terhadap Eurasia. Pergerakan tiga lempeng tersebut yang sebagian berpusat di dasar Samudra Hindia, dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi berkekuatan skala besar atau kecil. Salah satu dampak yang ditimbulkan dari gempa bumi adalah kerusakan infrastruktur. Untuk mengurangi kerusakan pada infrastruktur, perlu adanya tahap perencanaan struktur gedung tahan gempa. Perencanaan ini tidak lepas dari aspek-aspek yang harus diperhatikan dalam struktur gedung diantaranya, periode (umur) bangunan, kekakuan struktur, kondisi tanah, dan massa struktur (Giatmajaya et al., 2021).

Wilayah Negara Indonesia juga memiliki berbagai jenis tanah yang berbeda disetiap daerahnya, bahkan pada suatu lokasi yang sama bisa terdapat perbedaan jenis tanah. Jenis tanah dibedakan menjadi enam jenis tanah yaitu batuan keras, batuan, tanah keras, tanah sedang, tanah lunak dan tanah khusus, hal ini diakibatkan oleh letak geografis. Negara Indonesia yang berada di garis khatulistiwa yang memiliki iklim tropis dan juga pertemuan dari berbagai lempeng Bumi (Rahmasari et al., 2017). Perbedaan jenis tanah sangat berpengaruh pada resiko ketahanan bangunan saat terjadi gempa dimana pada setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda jika terjadi gempa sehingga dalam perencanaan struktur jenis tanah dapat berpengaruh pada desain dan respon struktur pada suatu bangunan gedung (Giatmajaya et al., 2021).

Gempa bumi merupakan bencana alam yang disebabkan kerusakan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba dan umumnya diikuti dengan terjadinya patahan atau sesar (fault) (Triono & Tri, 2003). Gempa dapat mengakibatkan banyak kerugian bagi manusia, mulai dari harta benda, hewan peliharaan, lingkungan bahkan sampai nyawa manusia sendiri. Dalam beberapa tahun terakhir saja telah terjadi beberapa gempa yang menimbulkan kerusakan dan menelan korban jiwa.

Dalam perencanaan gedung konstruksi umur rencana dan massa struktur dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan dan dimensi struktur yang direncanakan, sedangkan kondisi tanah sangat tergantung dari jenis tanah pada suatu wilayah tertentu. Jenis tanah yang berbeda tentunya memiliki kemampuan dan daya dukung tanah yang berbeda untuk menahan gaya-gaya vertikal dan horizontal yang terjadi pada suatu struktur. Serta melalui medium tanah yang berbeda akan berbeda pula energi gempa yang dihantarkan dari pusat gempa ke pondasi bangunan dan akan diteruskan ke struktur bangunan atas dan akan menghasilkan spektrum respon yang berbeda sehingga mengakibatkan perbedaan desain suatu struktur bangunan dan sistem strukturnya. Maka dalam suatu perencanaan struktur, data tanah pada suatu wilayah tertentu harus diteliti terlebih dahulu.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 1726:2019) mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, menurut Faisal (2007) Kota Medan termasuk dalam zona gempa yang mengandung frekuensi rendah dan berdurasi panjang mengharuskan setiap bangunan di Kota Medan memperhitungkan parameter gaya gempa untuk mengantisipasi terjadinya gempa agar tidak menimbulkan dampak kerugian yang besar.

Dalam peraturan tersebut, struktur bangunan gedung diklasifikasikan ke dalam enam kelas situs yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus). Struktur bangunan gedung berdasarkan klasifikasi kelas situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Pengaruh gaya gempa terhadap respon struktur akan berbeda terhadap struktur bangunan gedung pada berbagai jenis kondisi tanah yang ada di Kota Medan.

Karenanya penulis mencoba mengangkat judul skripsi ini dengan harapan dapat menjadi sebuah referensi mengenai analisis pembangunan struktur gedung perkantoran pada kondisi tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras di Kota Medan dengan menggunakan acuan terbaru yaitu, SNI 1726-2019 (SNI Gempa), SNI 1727-2020 (SNI Pembebanan) dan SNI 2847-2019 (SNI Struktur Beton Bertulang).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat dikaji dari latar belakang diatas adalah:

1. Bagaimana perbandingan hasil desain struktur utama bangunan bertingkat berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019 pada berbagai jenis kondisi tanah di Kota Medan?
2. Bagaimana perilaku struktur bangunan bertingkat pada berbagai jenis kondisi tanah di Kota Medan sesuai SNI 1726:2019 SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui perbandingan dimensi struktur utama gedung perkantoran 10 lantai dengan 12 m x 30 m pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras di Kota Medan berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019.
2. Untuk mengetahui perbandingan perilaku struktur 10 lantai terhadap pembebanan yang bekerja pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras di Kota Medan berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019.

1.4. Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini tidak menyimpang, maka dibatasi hanya membahas:

1. Perencanaan dan analisis tugas akhir ini dibatasi hanya pada struktur atas, yaitu struktur utama berupa kolom dan balok. Tidak memperhitungkan struktur bawah dan tidak mendesain sambungan, diasumsikan seluruh sambungan dan plat lantai sudah kuat dalam menahan gaya-gaya yang bekerja. Perencanaan gedung ini difungsikan sebagai gedung perkantoran dengan struktur gedung beton bertulang 10 lantai pada berbagai jenis kondisi tanah (Tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak) di Kota Medan menggunakan pedoman persyaratan perencanaan struktur yaitu SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019. Tugas akhir ini tidak menganalisis biaya dan waktu.

2. Perilaku struktur dan desain struktur utama pada bangunan yang direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ini dianalisis dengan beban gempa metode response spektrum menggunakan program ETABS.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yang dapat dipergunakan sebagai kontribusi pertimbangan dalam ilmu teknik sipil adalah sebagai berikut

1. Memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya tentang pengaruh sistem struktur pada struktur gedung perkantoran dengan berbagai jenis kondisi tanah di Kota Medan.
2. Digunakan sebagai referensi atau acuan dasar dalam merencanakan suatu struktur gedung perkantoran dengan berbagai jenis kondisi tanah di Kota Medan.
3. Dengan menggunakan FEM dalam mengevaluasi perilaku/ kinerja gaya dapat menghemat biaya dan waktu dibandingkan melakukan tes eksperimen.

1.6.Sistematika Penulisan

Proposal atau skripsi ini terdiri dari lima bab yang disusun sesuai dengan topik yang akan dibahas, yaitu: analisis sistem struktur dan dimensi struktur gedung perkantoran pada berbagai jenis kondisi tanah di Kota Medan.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini di bahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan proposal atau skripsi ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini di bahas mengenai teori-teori umum tentang struktur bangunan dan sistem struktur bangunan, material yang digunakan, pembebanan, serta ketentuan-ketentuan dalam desain yang harus di penuhi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini di bahas mengenai prosedur atau cara untuk menyelesaikan permasalahan pada proposal atau skripsi ini.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil dan pembahasan analisis yang dilakukan untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang di dapat dari hasil dan menjawab permasalahan yang sesuai serta saran untuk pengembangan lebih lanjut di masa yang akan datang.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Gempa bumi merupakan fenomena alam biasa sama dengan fenomena alam yang lain seperti hujan, angin, gunung meletus dan sebagainya. Menyusul terjadinya gerakan-gerakan lempeng tektonik pada proses pembentukan bumi, maka sejak itulah proses terjadinya gempa bumi mulai terjadi. Kombinasi antara gerakan lempeng tektonik dan gempa bumi tersebut, memungkinkan kondisi geoseismo-tektonik menjadi seperti sekarang ini (Pawirodikromo, 2012).

Indonesia merupakan negara dengan sebagian besar wilayahnya memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Hal ini disebabkan karena lokasi Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama yang saling berinteraksi, sesar aktif dan gunung-gunung api. Dari kejadian-kejadian gempa bumi pada beberapa tahun terakhir di Indonesia, banyak sarana dan prasarana fisik yang rusak akibat dampak dari peristiwa gempa ini. Selain bangunan yang mengalami kerusakan, hal yang paling penting dari peristiwa ini adalah banyak nyawa manusia yang hilang atau mengalami cedera akibat runtuh atau hancurnya bangunan pada saat gempa bumi terjadi (Dewobroto, 2012).

Dalam perancangan gedung bertingkat banyak faktor yang harus diperhatikan seperti fungsi gedung, keamanan dan kenyamanan pengguna, selain itu faktor ekonomis juga harus diperhatikan. Keamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan. Desain dan pendetailan komponen-komponen struktur tersebut pada umumnya dirancang untuk menahan gaya vertikal gravitasi (beban mati dan hidup), gaya horizontal angin dan gaya gempa.

Gaya gempa berpengaruh besar terhadap perencanaan struktur gedung. Wilayah Indonesia yang menempati posisi ketiga dunia dari 153 negara yang memiliki potensi bahaya gempa (Rahmawan, 2015). Tingkat resiko gempa ditentukan oleh dua faktor utama yaitu besarnya tingkat ancaman (hazard) dan besarnya tingkat kerentanan (vulnerability). Besarnya tingkat ancaman tidak dapat dikurangi karena merupakan fenomena alam. Dengan begitu tingkat resiko gempa hanya dapat dikurangi dengan memperkecil tingkat kerentanan (Satyarno, 2010).

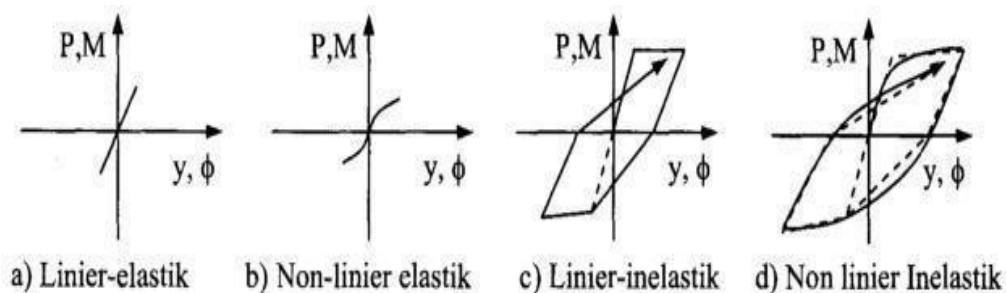
Suatu bangunan gedung beton bertulang yang berlantai banyak sangat rawan terhadap keruntuhan jika tidak direncanakan dengan baik. Oleh karena itu, sebagai professional yang bertanggung jawab diperlukan suatu perencanaan struktur bangunan yang kuat, kaku, dan aman serta tepat dan teliti agar memenuhi kriteria kekuatan, kenyamanan, dan keselamatan berdasarkan SNI yang sudah di tetapkan.

2.2 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisir kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Jadi, bangunan yang dirancang secara konvensional harus mampu berdeformasi inelastik, dengan kata lain bangunan harus berperilaku daktail.

2.2.1 Perilaku Bangunan Tahan Gempa

Menurut Pawirodikromo (2012), riset tentang perilaku bangunan, elemen struktur maupun struktur juga sangat mendukung pengembangan konsep bangunan tahan gempa. Perilaku bangunan akibat beban dapat berupa linear dan non-linear, sedangkan intensitas beban dapat mengakibatkan respon elastik maupun inelastik. Dengan demikian akan terdapat 4 kombinasi yaitu seperti yang tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Macam-macam respon akibat beban siklik.

1. Linear elastik

Adalah respon bahan/elemen struktur yang mana hubungan antara beban- simpangan bersifat lurus, proporsional/linear dan apabila beban dihilangkan maka deformasi bahan akan sama dengan nol (kembali ke posisi semula). Bahan metal khususnya baja mempunyai sifat/respon linear apabila intensitas bebannya masih kecil.

2. Non-linear elastik

Adalah apabila hubungan antara beban-simpangan dari awal sudah tidak lurus/linear tetapi non-linear walaupun intensitas bebannya masih relatif kecil. Apabila beban ditiadakan maka deformasi bahan akan sama dengan nol (kembali ke posisi semula, tidak ada (permanent deformation). Tanah dan beton pada umumnya mempunyai sifat nonlinear sejak intensitas beban masih kecil.

3. Linear inelastik

Adalah suatu kondisi yang mana intensitas beban sudah besar, tegangan yang terjadi sudah tidak lagi tegangan elastik tetapi sudah inelastik. Apabila beban ditiadakan maka benda tidak dapat lagi kembali ke posisi semula tetapi kembali secara linear/lurus di tempat yang lain (ada deformasi permanen). Walaupun beban sudah besar tetapi perilaku bahan dimodekan secara linear. Struktur beton yang dibebani dengan beban siklik dengan intensitas yang besar pada hakikatnya akan berperilaku non-linear inelastik, tetapi pada umumnya dimodelkan sebagai linear-inelastik.

4. Nonlinear inelastik

Adalah suatu kondisi pembebanan siklik yang intensitasnya besar yang diterapkan pada struktur tanah maupun beton. Hubungan antara beban dan deformasi tidak lagi bersifat lurus/linear dan apabila beban siklik ditiadakan maka akan terdapat deformasi permanen.

2.3 Sistem Struktur

Sistem struktur adalah kombinasi dari berbagai elemen struktur yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan struktur yang dapat memikul beban-beban yang direncanakan (Tumilar, 2006).

2.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup. Sedangkan beban angin dan beban gempa termasuk dalam beban lateral. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

- a) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B.
- b) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik C.
- c) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

2.3.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perhitungan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2, balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua muka atas dan bawah. Tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan.
2. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.3, kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c_1 (dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen) harus didesain untuk geser sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.3).

2.3.1.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) merupakan sistem rangka ruang dimana komponen-komponen strukturnya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Ketentuan-ketentuan untuk SRPMM mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, pasal 21.3, yaitu:

- a) Persyaratan SNI 2847:2019 pasal 21.3 berlaku untuk rangka momen menengah yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa.
- b) Detail tulangan pada komponen struktur rangka harus memenuhi ketentuan SNI 2847:2019 pasal 21.3.4.

2.3.1.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa yang tinggi. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh. Komponen struktur rangka ini harus memenuhi kondisi pada pasal 21.5 SNI 2847 2019.

2.3.2 Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur

SNI 1726:2019 pasal 7.2.2 tabel 12 mengatur batasan sistem struktur dan tinggi struktur, dimana masing-masing sistem pemikul gaya seismik mempunyai faktor R , C_d , dan Ω_0 yang berbeda-beda

2.4 Struktur Beton

Beton merupakan suatu elemen struktur yang terdiri dari partikel partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel agregat dan setelah beton segar dicor, ia akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air sehingga membentuk suatu bahan struktur yang padat dan dapat tahan lama, (Ferguson, 1991, dalam Muhammad Ikhsan Saifuddin, 2012). Karakteristik beton adalah kuat tekan atau kuat desaknya. Kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan kuat tariknya, sehingga beton baik untuk menahan gaya tekan tetapi tidak baik menahan tarik.

2.4.1 Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tarik yang rendah

dan batangan- batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. (Chu-Kia Wang & Charles G., 2018).

2.4.1.1 Balok

Balok merupakan salah satu elemen utama penyusun struktur gedung yang umumnya terpasang secara horizontal/ lateral. Sebagai elemen struktur utama, terhubung dengan kolom sehingga berbentuk rangka yang stabil dalam memikul beban baik beban gravitasi maupun gempa.

Fungsi utama dari balok ialah menyalurkan beban gravitasi yang berasal dari pelat lantai, kemudian menyalurkannya kedalam elemen kolom berupa gaya dan momen. Saat gempa terjadi, balok berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya.

Untuk perencanaan struktur balok SRPMK dapat dilihat pada SNI 2847:2019 pasal 9.6 dan 18.6. Pada pasal 18.6.3 & terdapat desain tulangan longitudinal balok, Pasal 18.6.4 tentang desain transversal balok dan pasal 9.5-9.7 & pasal 22.7 tentang desain torsi. Untuk faktor reduksi pada tabel 21.2.1.

2.4.1.2 Kolom

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur. Kolom juga elemen struktur yang berperan penting dalam memikul beban lateral (khususnya gempa) pada struktur Gedung.

Ditinjau dari kelangsingannya, kolom terbagi dua:

a. Kolom pendek (*short reinforced concrete column*)

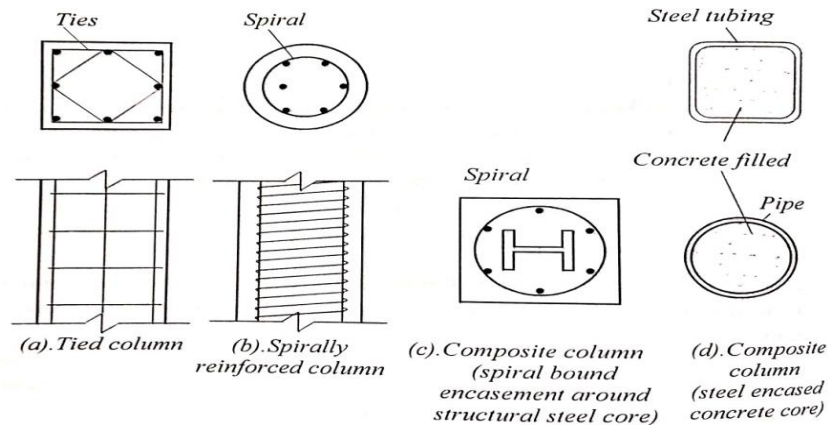
Kolom ini tergolong dalam keruntuhan material. Keruntuhan material adalah suatu kondisi keruntuhan dimana elemen kolom hancur dikarenakan beban yang dipikul melebihi kekuatan & material yang digunakan.

b. Kolom langsing (*slender reinforced concrete column*).

Kolom ini tergolong dalam keruntuhan tekuk. Keruntuhan tekuk adalah suatu bentuk keruntuhan dimana penampang kolom tersebut terlalu langsing sehingga elemen yang menerima beban aksial tekan mengalami tekuk pada batang, meskipun belum mencapai batas kekuatan materialnya.

Bila ditinjau dari penulangannya, kolom dibagi menjadi tiga, yaitu:

- a. Kolom dengan sengkang ikat (*tied column*)
- b. Kolom tulangan spiral (*spirally reinforced column*)
- c. Kolom komposit (*composite column*), seperti Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Jenis kolom berdasarkan tipe penulangan.

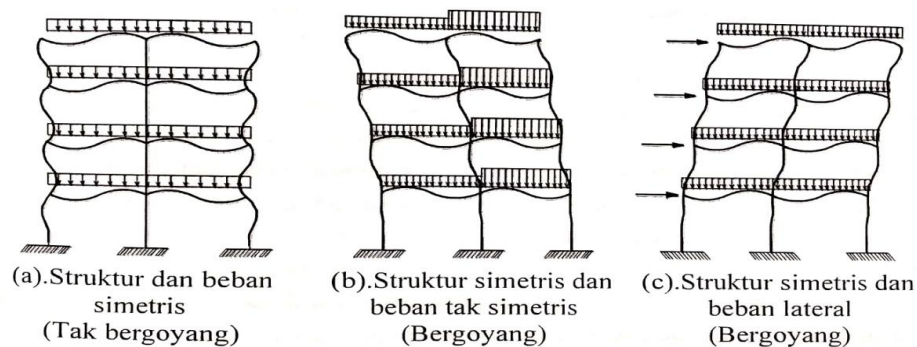
Akibat dari sistem struktur dan tipe pembebanan, kolom dibagi dua, yaitu:

- a. Kolom tak bergoyang

Kolom tak bergoyang terjadi pada struktur yang mengalami beban gravitasi dan formasi bebannya simetris, sehingga kolom murni menerima aksial tekan tanpa adanya perpindahan secara lateral.

- b. Kolom bergoyang

Kolom bergoyang terjadi karena adanya beban lateral (gempa atau angin) yang membebani struktur. Akibatnya struktur kolom mengalami perpindahan di arah lateral (bergoyang), seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Struktur kolom bergoyang dan tak bergoyang.

Untuk merencanakan struktur kolom SRPMK diatur dalam SNI 2847:2019 dapat di lihat pada pasal 18.7; Hal-384.

2.5 Pembebanan untuk Perencanaan Bangunan Gedung

Suatu struktur gedung yang dibangun harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur bangunan menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727:2020, PPIUG 1987 dan SNI 1726:2019.

2.5.1 Kombinasi Pembebanan

2.5.1.a Kombinasi beban untuk metode ultimit

Kombinasi pembebanan dasar (SNI 1727:2020 pasal 4.2.2) adalah sebagai berikut:

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

Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik adalah sebagai berikut:

6. $1,2D + E_v + E_h + L$
7. $0,9D - E_v + E_h$

Kombinasi pembebanan bila pengaruh beban seismik dengan faktor kuat lebih adalah sebagai berikut:

6. $1,2D + E_v + E_{mh} + L$
7. $0,9D - E_v + E_{mh}$.

Untuk pengaruh beban seismik E_h dan E_v harus ditentukan sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.4.2.1 dan pasal 7.4.2.2.

Faktor redudansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Untuk penggunaan nilai redudansi dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.

2.5.1.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, kalding gedung dan komponen arsitektural dan struktural lain serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

Adapun berat jenis dari bahan bangunan dan berat per satuan luas yang diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPURG 1987) dapat dilihat pada tabel 1 PPURG 1987.

2.5.1.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk bahan konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

a. Beban merata:

Minimum sesuai SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1.

b. Beban terpusat:

1) Untuk lantai, atap dan sejenisnya

2) Bekerja merata di area 762 mm x 762 mm

3) Minimum sesuai Tabel 2.18.

4) Penempatan pada lokasi yang menghasilkan efek beban maksimum

c. Beban partisi:

Minimal 0,72 kN/m² (SNI 1727:2020 pasal 4.3.2)

d. Beban impak:

Tangga berjalan: mengacu pada ASME A17.1

e. Mesin:

1) Mesin ringan: berat ditingkatkan 20%

2) Mesin bergerak maju mundur: berat ditingkatkan 50%

Jika ingin mereduksi beban hidup merata terdapat pada SNI 1727 : 2020 pasal 4.7 namun ada syarat (SNI 1727:2020 pasal 4.7.3) jika $L \geq 4,79$ kN/m², lalu garasi mobil penumpang dan tempat pertemuan tidak boleh direduksi.

2.5.1.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada bangunan atau bagian dari bangunan yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif (tekan) dan tekanan negatif (tarik), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau (Farhan, 2021).

Beban angin pada struktur terjadi karena adanya gesekan udara dengan permukaan struktur dan perbedaan tekanan dibagian depan dan belakang struktur. Beban angin tidak memberi kontribusi yang besar terhadap struktur dibandingkan dengan beban yang lainnya. Besarnya tekanan yang diakibatkan angin pada suatu titik akan tergantung kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi yang ditinjau pada stuktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris struktur, dimensi struktur, dan sudut datang angin (Afrida, 2020).

Beban angin didistribusikan merata pada kolom yang berada di dinding terluar bangunan. Beban angin untuk bangunan gedung yang termasuk sebagai Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) direncanakan sesuai dengan aturan pada SNI 1727 – 2020 Pasal 26.

2.5.1.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur itu berdiri. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis beban gempa terdapat tiga cara, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan analisis riwayat respons seismik.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor. Untuk kombinasi dan pengaruh beban seismik dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.4.

2.6 Tata Cara Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Gedung dengan segenap komponen struktur yang direncanakan tahan gempa harus didesain detailnya sedemikian rupa sehingga keseluruhannya dapat berperilaku daktail sepenuhnya. Oleh karena itu, peraturan menetapkan suatu taraf

gempa rencana yang menjamin struktur gedung tidak rusak sewaktu menahan gempa kecil atau sedang, dan saat menahan gempa kuat yang lebih jarang terjadi, struktur mampu mempertahankan perilaku perubahan bentuk secara daktail.

Pada tiap struktur SRPM yang akan dibangun terdapat beberapa daftar kriteria yang harus di evaluasi agar termasuk dalam SRPM tahan gempa. Dalam penelitian ini kriteria tahan gempa pada struktur yang akan dievaluasi, antara lain:

- Periode alami struktur
- Gaya geser seismik
- Penentuan simpangan antar lantai
- Pengaruh P-Delta
- Ketidakberaturan horizontal
- Ketidakberaturan vertical
- SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

Penjelasan mengenai kriteria tersebut diatas akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Sebelum mengevaluasi terhadap beberapa kriteria tersebut, dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa, terlebih dahulu harus ditentukan gaya gempa rencana, prosedur analisis maupun sistem struktur yang digunakan. Adapun tahapannya yaitu sebagai berikut:

2.6.1 Gempa Rencana

Pengaruh gempa yang direncanakan pada struktur gedung, secara keseluruhan masih harus berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

2.6.2 Peta Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6, menjelaskan tentang peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake, MCE*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.17 SNI 1726:2019. Gambar 2.19 dan 2.19 pada SNI 1726:2019 menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) parameter-parameter gerak tanah S_S dan S_1 .

2.6.3 Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan.

Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektivitas 30% (Lubis, 2017).

2.6.4 Prosedur Analisis

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.6, prosedur analisis yang digunakan terkait erat dengan berbagai parameter struktur bangunan tersebut, yaitu:

- a. Parameter keutamaan bangunan berdasarkan Pasal 4.1 dan dapat dilihat pada Tabel 3 SNI 1726:2019.
- b. Parameter faktor keutamaan gempa berdasarkan Tabel 4 SNI 1726:2019.

Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektra pada periode 1 detik (S_1) dan parameter percepatan respons spektra pada periode pendek (S_s) berdasarkan Pasal 6.5 dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9 SNI 1726:2019.

Prosedur analisis struktur harus terdiri dari salah satu tipe struktur yang diizinkan yang ditentukan berdasarkan kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis dan keteraturan. Dari berbagai parameter yang dimiliki oleh struktur gedung tersebut, dapat ditetapkan prosedur analisis respon spektrum dapat digunakan, sesuai dengan ketentuan pada Pasal 7.7.2, Tabel 16 SNI 1726:2019.

2.6.5 Struktur Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.2. Setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang

dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang telah ditetapkan.

Di dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut ini:

- a. Faktor koefisien modifikasi respons (R)
- b. Faktor kuat lebih sistem (C_d)
- c. Faktor pembesaran defleksi (Ω_0^{ξ})
- d. Faktor batasan tinggi sistem struktur

Hal ini dapat dilihat pada Tabel 12 SNI 1726:2019, hal 49-51.

2.6.6 Spektrum Respon Desain

Respons spektrum adalah spektrum (plot) yang memuat nilai-nilai amplituda maksimum dari sebuah nilai respons sistem teredam untuk beragam variasi periode (frekuensi) alami. Respons spektrum merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v) dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respons spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d), kecepatan relatif maksimum (S_v) dan percepatan relatif maksimum (S_a) (Lubis, 2017).

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6, respons spektra desain harus ditentukan dan dimuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektra berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.

Prosedur pembuatan respons spektra desain berdasarkan SNI 1726:2019 Selanjutnya, untuk mendapatkan kurva spektrum desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari Pers. 2.1.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.1)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} .
- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan Pers. 2.2.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.2)$$

dimana:

T = Perioda getar fundamental struktur

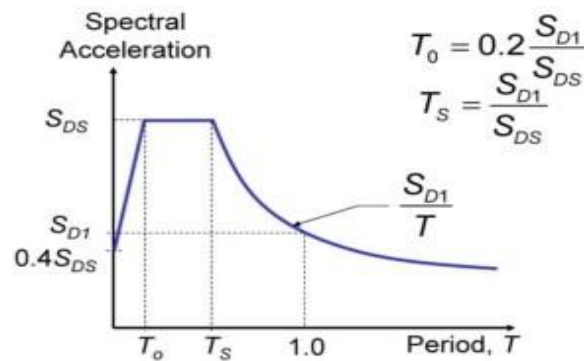
S_{DS} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek

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

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.3 dan 2.4. Dari parameter yang didapat akan terbentuk sebuah grafik seperti pada Gambar 2.4.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.3)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$



Gambar 2.4: Spektrum respons desain.

2.7 Evaluasi Kriteria SRPMK Tahan Gempa Metode Respon Spektrum

2.7.1 Analisis Respon Spektrum Ragam

Metode analisis ragam spektrum respons mendefinisikan bahwa simpangan struktur yang terjadi merupakan penjumlahan dari simpangan masing-masing ragam getarnya. Menurut Budiono dan Supriatna (2011) parameter respons terkombinasi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons

masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja (Hari, 2017). Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares*) dan Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination*).

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90% (SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1). Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/ CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/ SRSS*).

2.7.2 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, Geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.5.

$$V = C_s \cdot W_t \quad (2.5)$$

dimana:

C_s = Koefisien respons seismik yang ditentukan

W_t = Berat total gedung

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1, persamaan-persamaan yang digunakan untuk menentukan koefisien C_s adalah:

- 1) C_s maksimum

Untuk C_s maksimum ditentukan dengan Pers. 2.6.

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{SD_s}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.6)$$

dimana:

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

- R = Faktor modifikasi respons berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019
 I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019

2) Cs hasil hitungan

Nilai Cs maksimum di atas tidak perlu melebihi Cs hitungan pada Pers. 2.7.

$$Cs \text{ hasil hitungan} = \frac{SD_1}{T \left(\frac{R}{I} \right)} \quad (2.7)$$

Dimana:

SD1 = Parameter percepatan respons spektrum desain pada perioda 1 detik

R = Faktor modifikasi respons berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019

T = Perioda struktur dasar (detik)

3) Cs minimum

Nilai Cs hitungan di atas tidak perlu kurang dari nilai Cs minimum pada Pers. 2.8.

$$Cs \text{ minimum} = 0,044 SDS I \geq 0,01 \quad (2.8)$$

Dimana:

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019

4) Cs minimum tambahan

Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 jika lebih besar dari 0,6 g maka Cs harus tidak kurang dari Pers. 2.9.

$$Cs \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{(R/I)} \quad (2.9)$$

Dimana:

S_1 = Parameter percepatan respons spektrum desain yang dipetakan

R = Faktor modifikasi respons berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019

Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dengan Pers. 2.10.

$$V_t \geq V \quad (2.10)$$

Maka, apabila nilai akhir respons dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, maka harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.11.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{V}{V_t} \geq 1 \quad (2.11)$$

Dimana:

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan

V = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen Pada penggunaan program penghitung struktur

2.7.3 Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.6, periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum yang dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.

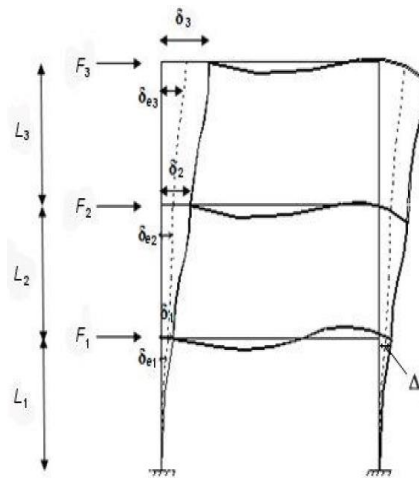
2.7.4 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) dalam mm harus ditentukan sesuai Pers. 2.12. Ilustrasi dari defleksi pusat massa dapat dilihat pada Gambar 2.5.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.12)$$

Dimana: C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 2.8
 δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan
 I_e = Faktor keutamaan yang ditentukan sesuai Tabel 2.4



Gambar 2.5: Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2019.

Keterangan Gambar:

F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_3 = $C_d \delta_{e3} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$ (Tabel 2.14) Tingkat 2

F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

- $\delta e2$ = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta 2$ = $Cd\delta e3/Ie$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta 2$ = $(\delta e2 - \delta e1)Cd/Ie \leq \Delta a$ (Tabel 2.14) Tingkat 1
 $F1$ = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta e1$ = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta 1$ = $Cd\delta e1/Ie$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta 1$ = $\delta 1 \leq \Delta a$ (Tabel 2.14) dimana:
 $\Delta 1$ = simpangan antar lantai $\Delta i/Li$ = rasio simpangan antar lantai
 $\delta 3$ = perpindahan total

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δa) dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.12.1.

2.7.5 Pengaruh P-Delta

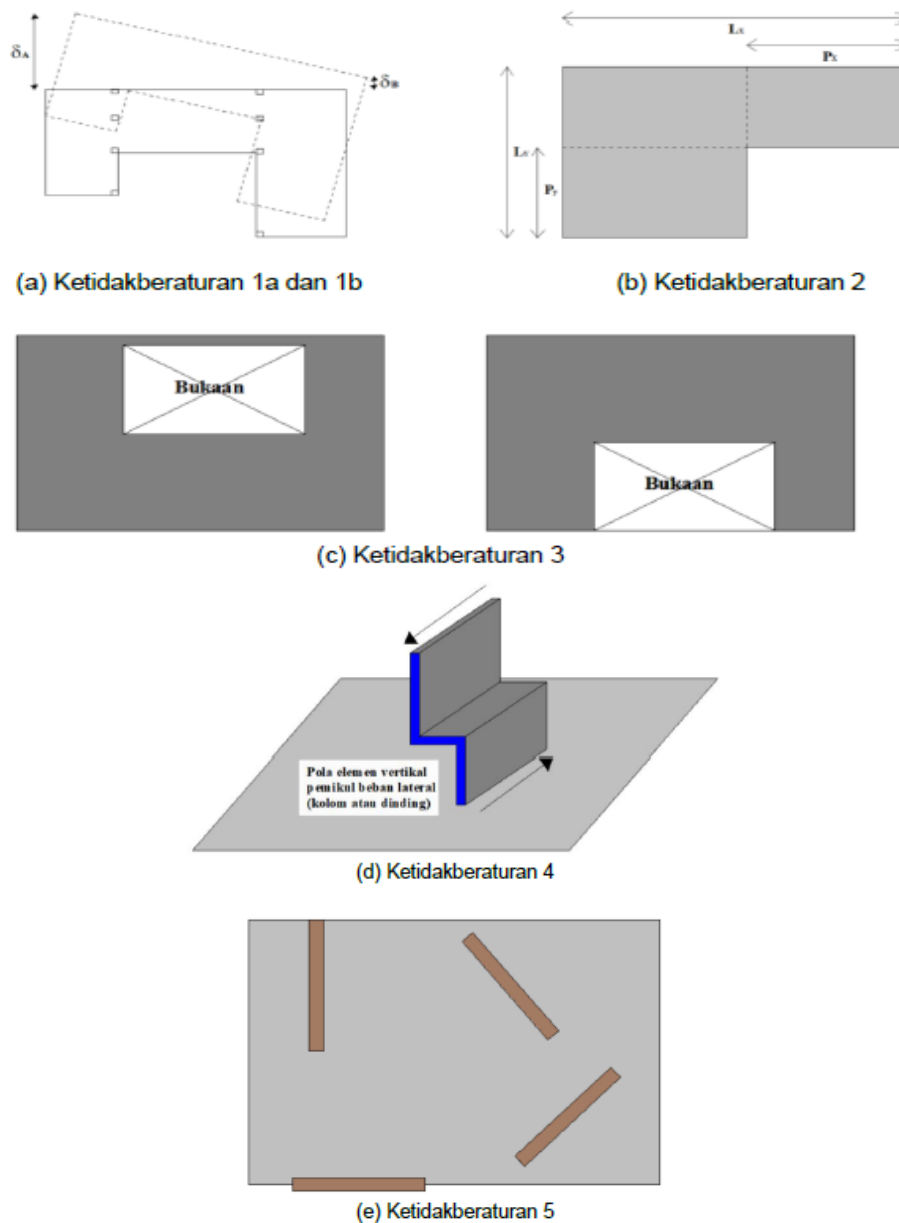
Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.7, pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ), seperti yang ditentukan oleh Pers.2.43 yang harus sama dengan atau kurang dari 0,1. Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan dengan Pers. 2.13.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.13)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini secara konservatif diambil sebesar 1. Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,1 tetapi kurang dari atau sama dengan faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya elemen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya elemen struktur dengan $1,0 (1 - \theta)$. Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

2.7.6 Ketidakberaturan Horizontal

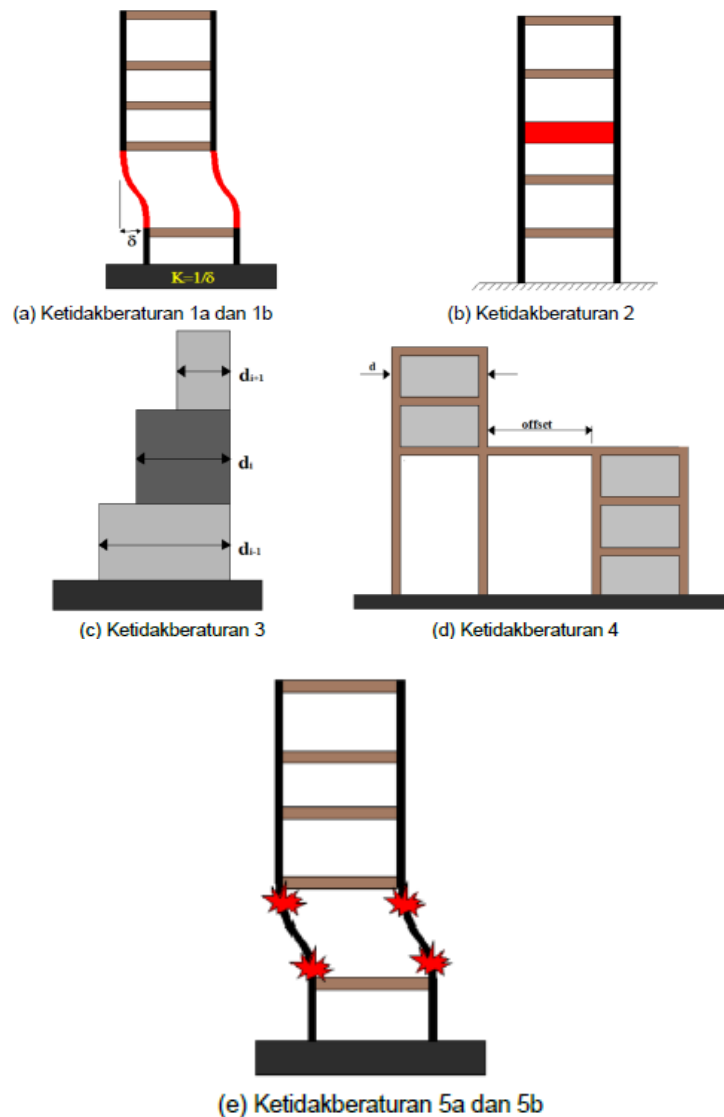
Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.1, struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam SNI 1726:2019 Tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal dan harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk pada tabel tersebut. Persyaratan mengenai batasan dan persyaratan tambahan untuk sistem dengan ketidakberaturan struktur diatur pada Pasal 7.3.3 SNI 1726:2019. Beberapa tipe ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 2.6: Tipe ketidakberaturan horizontal pada struktur.

2.7.7 Ketidakberaturan Vertikal

Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.2 dinyatakan bahwa struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam SNI 1726:2019 Tabel 14 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 14 SNI 1726:2019 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk pada tabel tersebut. Persyaratan mengenai batasan dan persyaratan tambahan untuk sistem dengan ketidakberaturan struktur diatur pada Pasal 7.3.3 SNI 1726:2019. Beberapa tipe ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Tipe ketidakberaturan vertikal pada struktur.

2.8 Parameter Tanah

Sebelum kita menentukan jenis pondasi yang akan digunakan, terlebih dahulu harus diketahui kondisi tanah tempat bangunan akan didirikan. Untuk keperluan tersebut, maka dilakukan penyelidikan tanah (soil investigation). Penyelidikan yang dilakukan terdiri dari penyelidikan lapangan (field test) dan penyelidikan laboratorium (laboratory test).

Penyelidikan tanah dimaksudkan untuk mengetahui kondisi geoteknik, baik keadaan, jenis dan sifat-sifat yang menjadi parameter dari tanah pondasi rencana. Yang dimaksud dengan kondisi geoteknik adalah :

- a. Struktur dan penyebaran tanah serta batuan.
- b. Sifat fisis tanah (*soil properties*).
- c. Sifat teknis tanah atau batuan (*engineering properties*).
- d. Kapasitas dukung tanah terhadap pondasi yang diperbolehkan sesuai dengan tipe pondasi yang akan digunakan.

2.8.1 Jenis Tanah

Untuk menentukan harga c harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur bangunan berdiri. Untuk menentukan jenis tanah menggunakan rumus tegangan geser tanah seperti yang terlihat pada Pers 2.14-2.15:

$$\tau = c + \sum \sigma_i \tan \phi \quad (2.14)$$

$$O_i = \gamma_i \cdot h_i \quad (2.15)$$

Dimana :

τ = tegangan geser tanah (kg/ cm²)

c = nilai kohesi tanah pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

σ_i = tegangan normal masing – masing lapisan tanah (kg / cm²)

γ_i = berat jenis masing – masing lapisan tanah (kg / cm³)

h_i = tebal masing – masing lapisan tanah (cm)

ϕ = sudut geser pada lapisan paling dasar lapisan yang ditinjau

Kedalaman minimal untuk menentukan jenis tanah adalah 5 meter. Ada tiga jenis tanah untuk menentukan nilai c tersebut, yaitu seperti yang tertera pada Tabel 2.1 (Indarto, 2005).

Tabel 2.1: Jenis-jenis tanah.

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata v_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata N	Kuat geser niralir rata-rata S_u (kPa)
Tanah Keras	$v_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq v_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_u < 100$
Tanah Lunak	$v_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

2.8.2 Analisis Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah sangat diperlukan guna mengetahui kemampuan tanah sebagai dasar bagi struktur pondasi. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam mendukung beban, baik berat sendiri struktur pondasi maupun beban struktur atas secara keseluruhan tanpa terjadinya keruntuhan (Bowles, 1988).

Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila mendapat tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi melebihi daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan di dalam tanah pondasi melampaui ketahanan geser tanah pondasi maka akan berakibat keruntuhan geser dari tanah pondasi. Nilai daya dukung tersebut dibatasi oleh suatu daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*), yang merupakan keadaan saat mulai terjadi keruntuhan (Khairul, 2019).

Bila kedalaman pemasangan (D_f) ternyata lebih kecil dari lebar pondasi (B), maka hal ini biasa disebut pondasi dangkal. Daya dukung batas yang dapat

diberikan oleh pondasi untuk pondasi menerus lurus dengan lebar B, yang dikenal dengan rumus daya dukung Terzaghi seperti terlihat pada Pers. 2.16.

$$q_{ult} = c.N_c + \gamma D_f.N_q + 0,5.\gamma.B. N_\gamma \quad (2.16)$$

Dimana :

q_{ult} = daya dukung *ultimate*

c = kohesi tanah (kg/m²)

γ = berat isi tanah (kg/m³)

D_f = kedalaman pondasi (m)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah

Untuk keadaan dimana tanah pondasi adalah pasir lepas atau lempung buruk maka sebagai ganti N_c, N_q, N_γ digunakan N'_c, N'_q, N'_γ . Adapun nilai koefisien daya dukung tanah menurut Terzaghi seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Koefisien daya dukung dari Terzaghi.

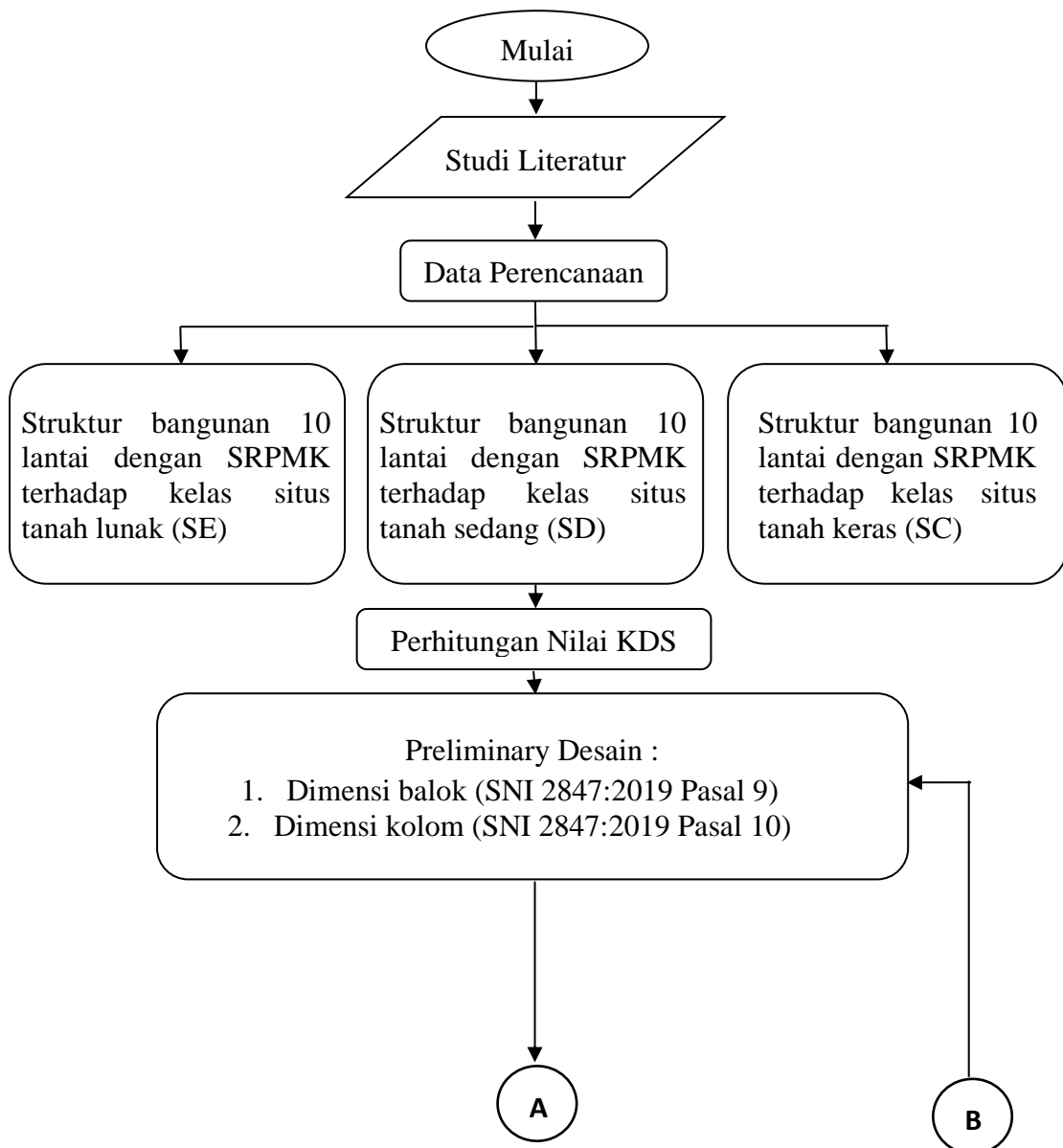
ϕ	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0°	5,71	1	0	5,7	1	0
5 °	7,32	1,64	0	6,7	1,4	0,2
10 °	9,64	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15 °	12,8	4,44	2,4	9,7	2,7	0,9
20 °	17,7	7,43	4,6	11,8	3,9	1,7
25 °	25,1	12,7	9,2	14,8	5,6	3,2
30 °	37,2	22,5	20	19	8,3	5,7
35 °	57,8	41,4	44	23,7	12,6	10,1
40 °	95,6	81,2	114	34,4	20,5	18,8

BAB 3

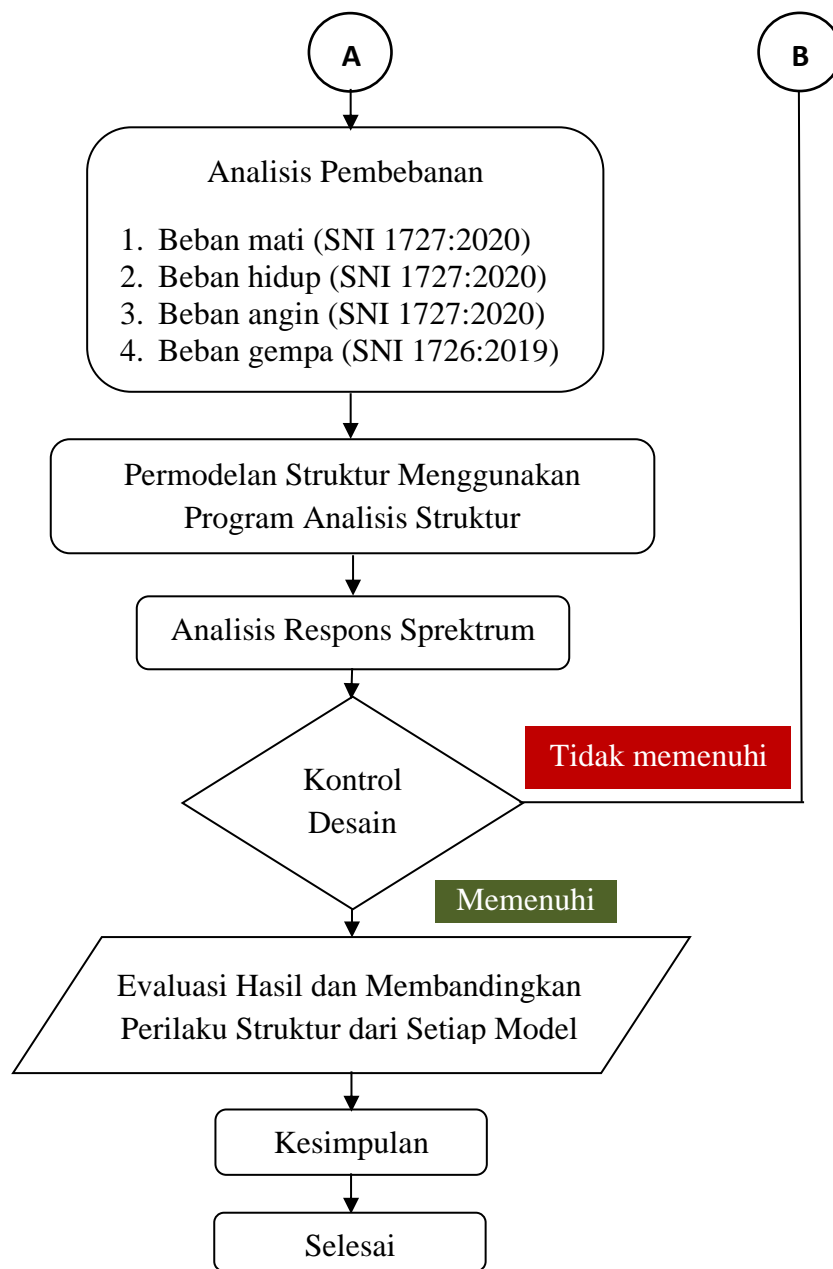
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan software Analisis Struktur. Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam suatu diagram alir seperti yang tampak pada Gambar 3.1



Gambar 3.1: Bagan Alir Metodologi Penelitian.



Gambar 3.1: Bagan Alir Metodologi Penelitian (lanjutan).

Tugas akhir ini memiliki satu pemodelan struktur, yaitu struktur bangunan 10 lantai dengan SRPMK terhadap tigas kelas situs tanah, yaitu tanah lunak (model 1), tanah sedang (model 2), dan tanah keras (Model 3). Ketiga model tersebut akan dianalisis secara linier dinamik dengan menggunakan Analisis Respons Spektrum (*Response Spectrum Analysis*).

3.2 Permodelan Struktur

3.2.1 Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada ketiga pemodelan tersebut yaitu :

1. Gedung difungsikan sebagai perkantoran 10 lantai.
2. Gedung terletak di Kota Medan.
3. Klasifikasi situs tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC).
4. Gedung dikategorikan desain seismik (KDS) D.
5. Struktur utama bangunan adalah struktur beton bertulang.
6. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPMK).
7. Model gedung dimodelkan menjadi 3, yaitu model ke-1 berupa struktur atas 10 lantai dengan kelas situs tanah lunak. Model ke-2 berupa struktur atas 10 lantai dengan kelas situs tanah sedang. Model ke-3 berupa struktur atas 10 lantai dengan kelas situs tanah tanah keras.
8. Pemodelan struktur dengan perletakan jepit-jepit.

3.2.2 Konfigurasi Bangunan

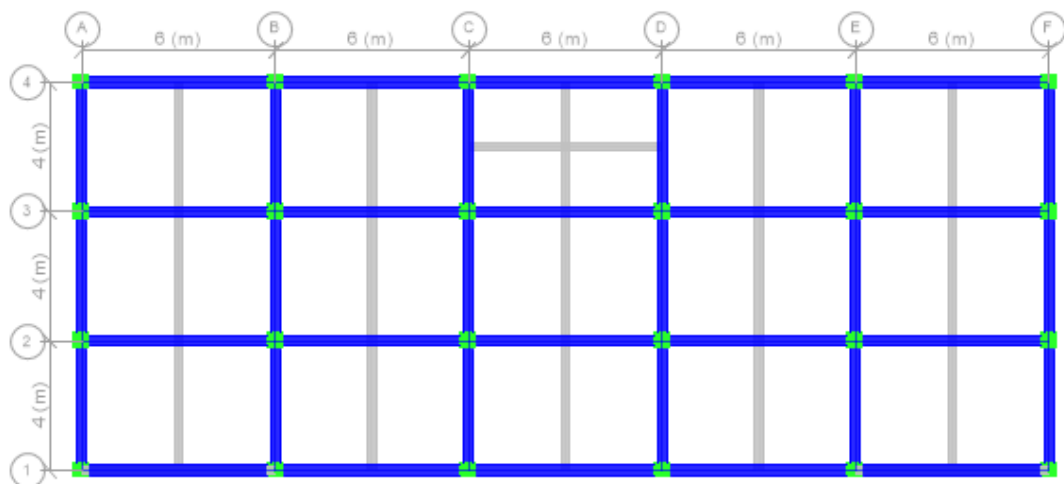
Permodelan struktur model 1,2 dan 3 yaitu struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan memiliki bentuk persegi panjang yang simetris serta merupakan bangunan beraturan (regular building). Struktur gedung yang dibuat dengan permodelan 3D dengan data struktur gedung sebagai berikut :

- 1) Tinggi gedung = 35,5 m
- 2) Panjang gedung = 30 m
- 3) Lebar gedung = 12 m
- 4) Tinggi base ke lantai pertama = 4 m
- 5) Tinggi antar lantai = 3,5 m
- 6) Mutu beton (F_c') = 30 Mpa
- 7) Mutu Tulangan BJTP 420A
 - a. Tegangan leleh (F_y) = 420 MPa
 - b. Tegangan *ultimate* = 520 MPa
- 8) Modulus elastisitas beton = 25742,96 MPa

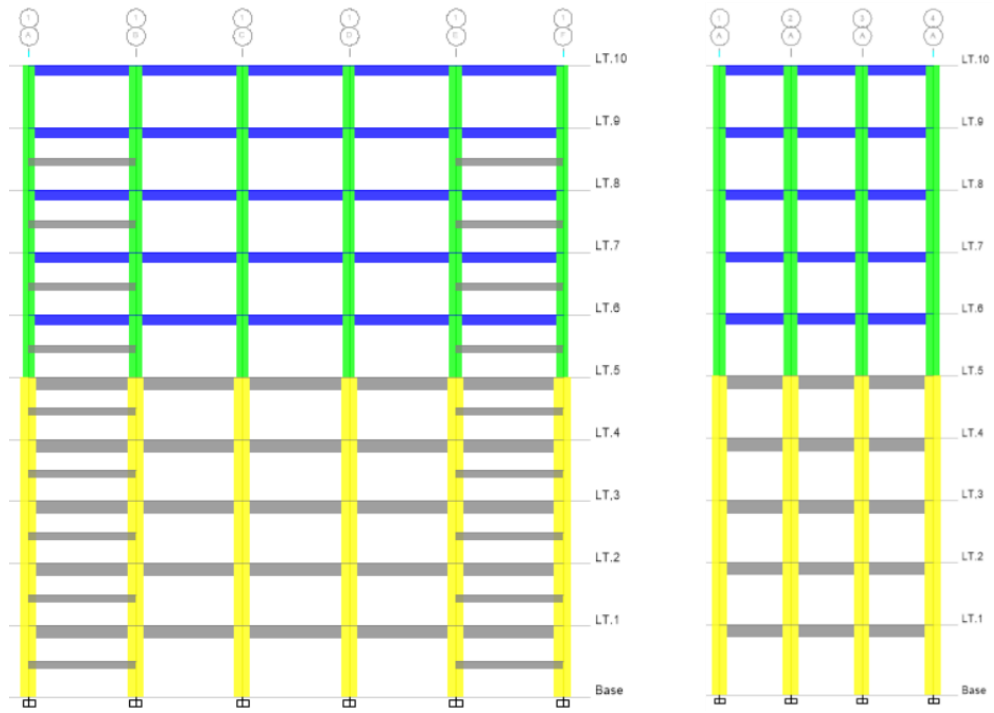
- | | |
|--|-----------------------|
| 9) Modulus elastisitas baja | = 200000 MPa |
| 10) Nilai T_0 dan T_S tanah lunak (SE) kota Medan | = 0,200 s dan 0,998 s |
| 11) Nilai T_0 dan T_S tanah sedang (SD) kota Medan | = 0,167 s dan 0,835 s |
| 12) Nilai T_0 dan T_S tanah keras (SC) kota Medan | = 0,130 s dan 0,650 s |
| 13) Nilai $T_{a \min}$ & $T_{a \max}$ | = 1,158 s dan 1,621 s |
| 14) Pemodelan rangka beton bertulang pemikul Momen
khusus dengan nilai R , Ω , dan C_d | = 8 , 3 dan 5½. |
| 15) Faktor keutamaan gempa (I_e) | = 1,0 |

Pada sisi tengah bangunan (sumbu C-D terhadap sumbu 3-4) terdapat void yang merupakan akses lift dan juga terdapat dua buah akses tangga pada sisi kiri dan sisi kanan (sumbu A-B terhadap sumbu 1-2 dan sumbu E-F terhadap sumbu 1-2) . Akses lift tersebut memiliki dimensi panjang 6 meter (arah x) dan lebar 2 meter (arah y). Untuk akses tangga memiliki dimensi lebar 3 meter (arah x) dan lebar 4 meter (arah y). Gambar 3.2 – 3.5 merupakan denah dan tampak dari struktur bangunan pada model 1 – model 3.

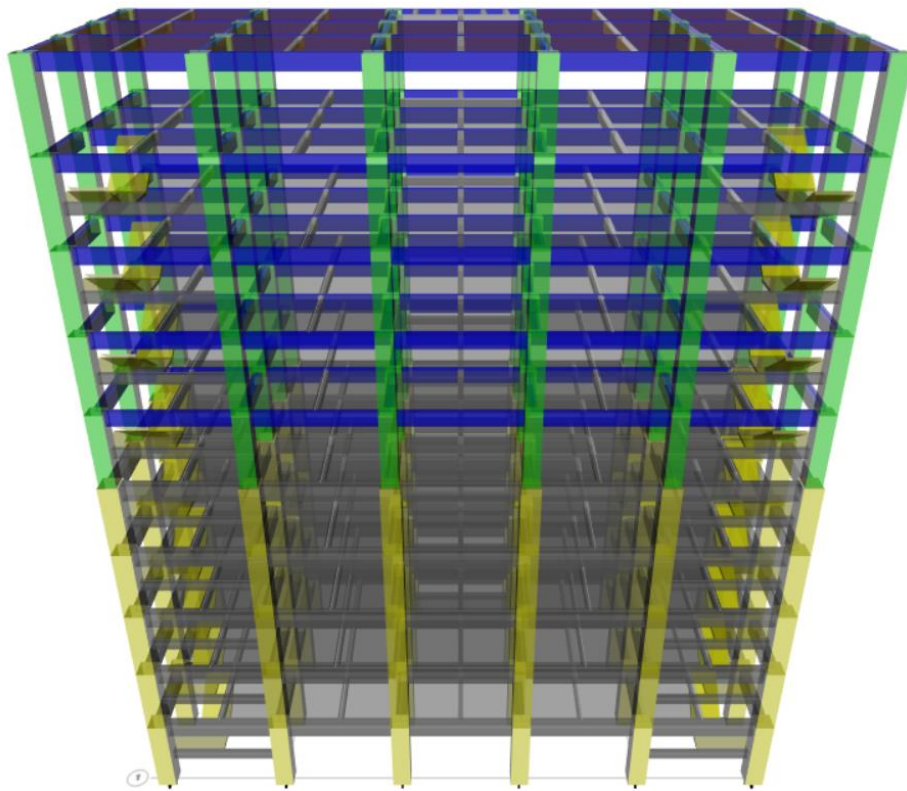
Pada tugas akhir ini, meninjau satu kolom dan satu balok pada posisi yang sama antara Model 1,2 dan 3 untuk dianalisa pada sub bab desain elemen struktur. Balok yang akan ditinjau yaitu balok B24 pada lantai 2 dan kolom yang ditinjau yaitu kolom C22 pada lantai 1. Posisi elemen balok B24 dan kolom C22 dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



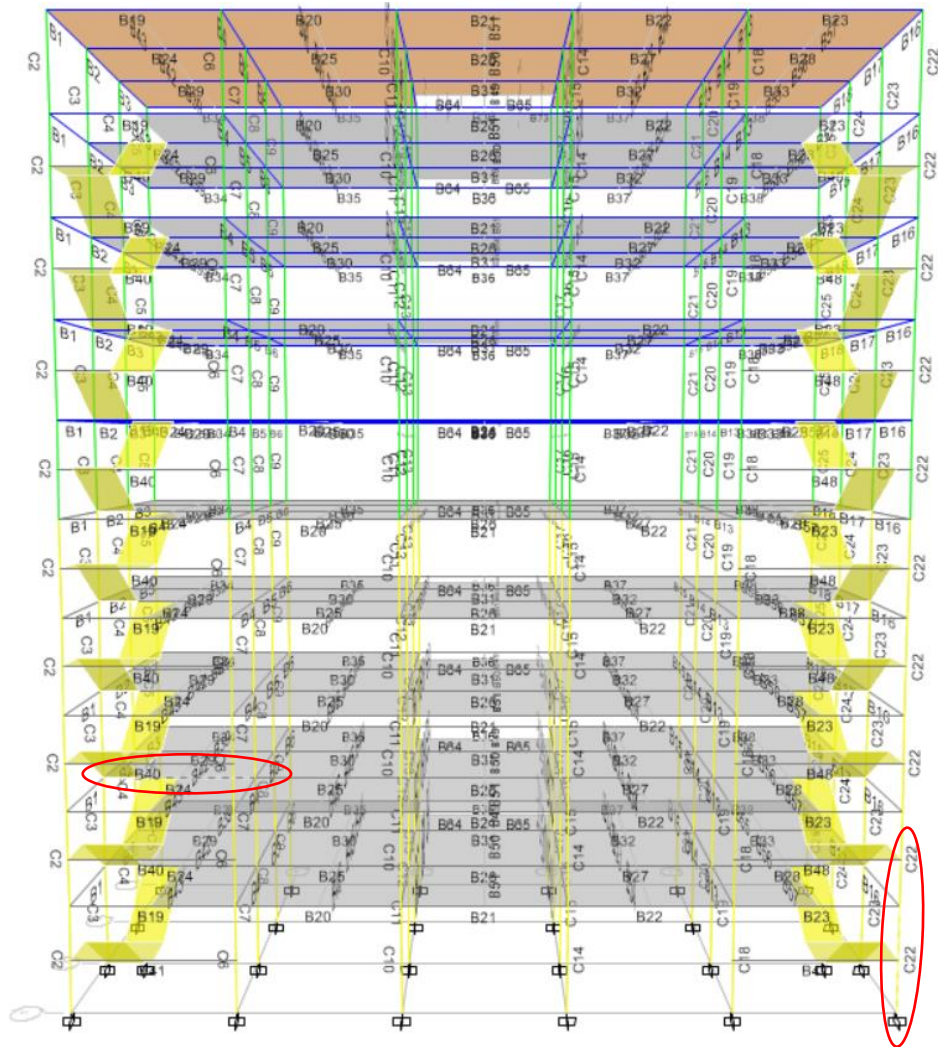
Gambar 3.2: Denah rangka struktur gedung.



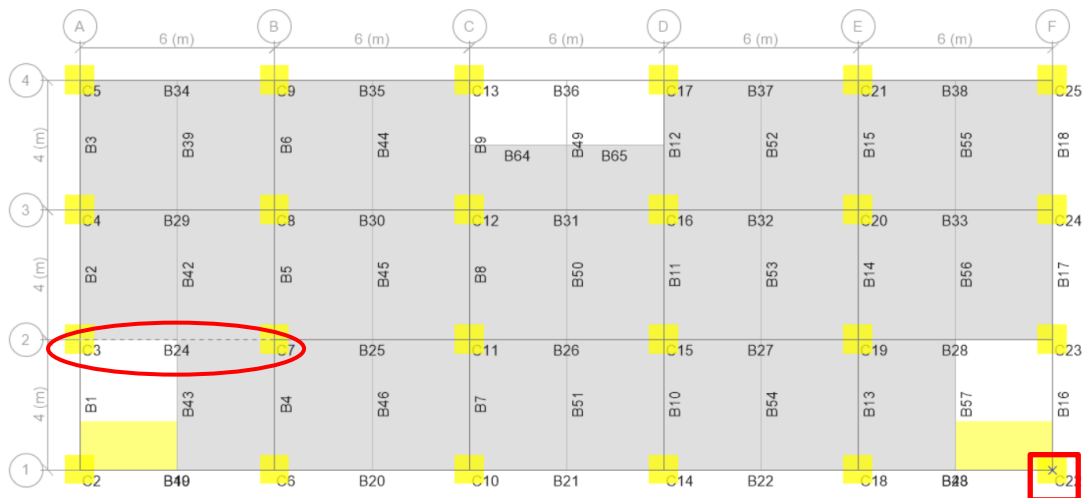
Gambar 3.3: Potongan rangka struktur gedung kantor 10 lantai.



Gambar 3.4: Perspektif 3D Struktur gedung kantor 10 lantai.



Gambar 3.5: Elemen Balok dan Kolom yang ditinjau.



Gambar 3.6: Elemen Balok dan Kolom yang ditinjau.

3.2.3 Dimensi Kolom dan Balok

Sebelum analisa struktur dilakukan, ukuran dari komponen struktur diperlukan untuk menghitung kekakuan struktur yang akan diperlukan di dalam melakukan analisa struktur. Di sisi lain, dimensi komponen struktur yang optimal perlu ditentukan berdasarkan gaya dalam yang terjadi akibat pembebanan struktur yang merupakan hasil dari analisa struktur.

1. Kolom

Untuk perencanaan dimensi kolom, beban aksial yang bekerja pada kolom akibat beban gravitasi dapat dijadikan sebagai acuan. Ukuran dimensi awal kolom kemudian akan ditentukan berdasarkan pada beban aksial tersebut. Untuk menghemat material, karena beban aksial yang diterima oleh kolom akan menjadi semakin kecil pada lantai yang lebih tinggi, maka ukuran dimensi kolom akan dikurangi pada setiap kenaikan 5 lantai bangunan. Persyaratan tinggi kolom pada SNI 2847:2019 pasal 18.7 adalah tidak kurang dari 300 mm dan rasio dimensi terkecil nya tidak kurang dari 0,4 dimensi tegak lurus nya kolom.

2. Balok

Untuk penentuan dimensi balok, persyaratan tinggi balok SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) minimum dapat digunakan sebagai acuan. Untuk balok menerus, SNI 2847-2019 pasal 18.6.2 mensyaratkan nilai lebar (b) balok minimum sebesar 250mm dan minimum dari 0,3 h.

Pada tugas akhir ini, dimensi yang digunakan dapat berubah, dikarenakan dalam tugas akhir ini mencari desain struktur utama dan sistem struktur yang efisien dan aman sesuai persyaratan yang ada di SNI dengan cara *trial error* yang menjadi pembahasan dalam tugas akhir ini. Berikut ini dimensi dari *preliminary* desain komponen komponen struktur seperti dirangkumkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Dimensi komponen struktur yang digunakan dalam analisis.

Model 1 Struktur 10 lantai diatas tanah lunak (SE)	Balok	
	Balok Lantai 1-5	500 x 750
	Balok Lantai 6-10	400 x 600
	Kolom	
	Kolom Lantai 1-5	900 x 900
	Kolom Lantai 6-10	700 x 700
	Pelat Lantai	
	Pelat lantai	150
	Pelat atap	150
	Selimut beton	
	Balok, kolom, & plat lantai	40
Model 2 Struktur 10 lantai diatas tanah sedang (SD)	Balok	
	Balok Lantai 1-5	500 x 750
	Balok Lantai 6-10	400 x 600
	Kolom	
	Kolom Lantai 1-5	900 x 900
	Kolom Lantai 6-10	700 x 700
	Pelat Lantai	
	Pelat lantai	150
	Pelat atap	150
	Selimut beton	
	Balok, kolom, & plat lantai	40
Model 3 Struktur 10 lantai diatas tanah keras (SC)	Balok	
	Balok Lantai 1-5	500 x 750
	Balok Lantai 6-10	400 x 600
	Kolom	
	Kolom Lantai 1-5	900 x 900
	Kolom Lantai 6-10	700 x 700
	Pelat Lantai	
	Pelat lantai	150
	Pelat atap	150
	Selimut beton	
	Balok, kolom, & plat lantai	40

3.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur bangunan dihitung berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987) dan SNI 1727:2020. Pembebanan yang digunakan antara lain:

3.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang bersifat tetap berupa kolom, balok, dinding dan juga termasuk segala unsur tambahan segala unsur tambahan *finishing*, mesin-mesin serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut. Besaran beban mati untuk bangunan gedung dilihat pada Tabel 3.2 & Tabel 3.3.

Tabel 3.2: Berat material konstruksi berdasarkan SNI 1727:2020.

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Baja	7850 kg/m ³

Tabel 3.3: Berat tambahan komponen gedung berdasarkan SNI 1727:2020.

Beban Mati	Besarnya Beban
Plafon dan penggantung	18 kg/m ²
Adukan /cm dari semen	21 kg/m ²
Adukan/ cm dari pasir	16 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 kg/m ²
M&E	60 kg/m ²
Waterpoof	4 kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m ²

Beban mati pada perencanaan ini terdiri dari berat sendiri struktur dan beban mati tambahan yang dijelaskan pada item-item berikut ini:

a. Berat Sendiri

Berat sendiri merupakan berat dari komponen struktur secara keseluruhan tidak termasuk segala unsur tambahan yang tidak memikul beban. Perhitungan berat sendiri telah dihitung secara otomatis oleh program analisis struktur.

b. Beban Tambahan Pelat Lantai

Pada pelat lantai terdapat beban mati tambahan. Beban ini berupa keramik lantai, adukan semen dari spesi antara pelat dengan keramik, plafon beserta penggantungnya dan mechanical engineering dan lain-lain. Untuk perhitungan beban tambahan pelat lantai dapat dilihat pada Lampiran 1.

c. Beban Dinding

Pada perencanaan, dinding bukanlah komponen dari struktur (kecuali dinding struktural) karena dia tidak memikul beban, sehingga dinding dibuat

sebagai beban tambahan. Beban dinding dijadikan sebagai beban garis yang ditumpu pada balok-balok yang berhubungan pada masing-masing lantai. Pada perencanaan ini beban dinding hanya diletakkan pada balok-balok terluar saja, karena dinding bagian dalam menggunakan partisi. Untuk perhitungan beban dinding dapat dilihat pada Lampiran 1.

d. Beban Lift

Pada perencanaan ini beban lift diperhitungkan sebagai beban mati yang dibuat menjadi beban terpusat yang dipikul oleh dua buah balok penumpu. Pada gedung ini direncanakan menggunakan 2 buah lift. Lift yang akan digunakan menjadi beban menggunakan spesifikasi lift produksi Hyundai Elevator Co., Ltd. Dengan spesifikasi teknisnya adalah sebagai berikut:

- 1) Kapasitas penumpang adalah 13 orang dengan beban maks. 900 kg.
- 2) Bukaan (pintu) lift berdimensi 900 x 2100 mm.
- 3) Ukuran kereta angkut memiliki lebar 1660 mm dan panjang 1505 mm.
- 4) Dimensi jalur kereta (*hoistway*) memiliki lebar 6m dan panjang 2m.
- 5) Lift memiliki kecepatan 1 m/det.

Untuk perhitungan beban lift dan dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh penggunaan maupun hunian dan beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur pada waktu tertentu. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi terkadang dapat juga berarah horizontal. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat bergerak atau berpindah. Beban hidup yang bekerja pada struktur yaitu beban hidup dengan fungsi gedung perkantoran. Berat beban hidup disajikan dalam Tabel 3.4. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 3.4: Nilai faktor reduksi beban hidup per lantai.

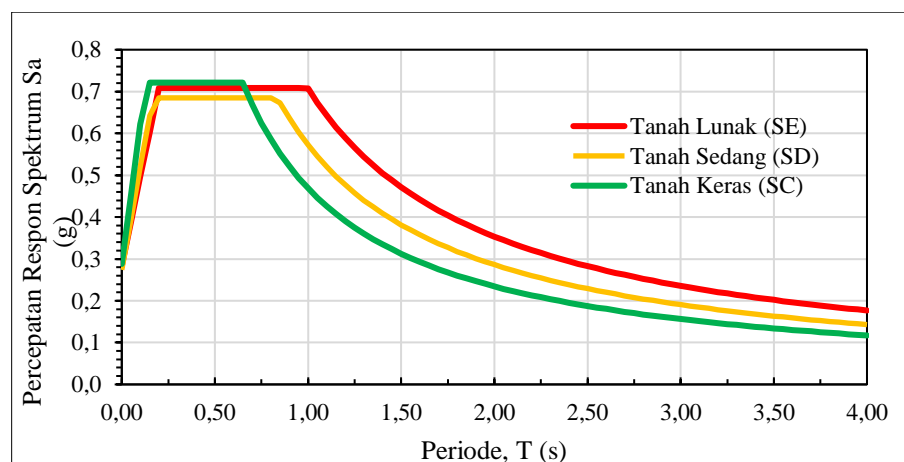
Beban hidup	Besarnya beban
Gedung perkantoran: Lobi dan koridor lantai pertama	479 kg/m ²
Kantor	240 kg/m ²
Beban hidup pada tangga dan bordes	479 kg/m ²
Atap	100 kg/m ²

3.3.3 Beban Angin (Wind)

Beban angin adalah suatu faktor yang mempengaruhi besarnya tekanan dan isapan saat angin bergerak karena adanya kecepatan angin. Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Berdasarkan SNI 1727:2020 prosedur penentuan beban angin dapat dilihat pada subbab 2.9. Untuk perhitungan beban angin dapat dilihat pada Lampiran 3.

3.3.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur tersebut berdiri. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis beban gempa terdapat 3 analisis, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan prosedur riwayat respon seismik. Perencanaan beban gempa menggunakan analisis Respons Spektrum Ragam. Berdasarkan SNI 1726:2019, respons spektrum desain gempa pada kasus ini, struktur gedung diasumsikan berada pada daerah Medan dengan jenis tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras dengan nilai $S_s = 0,902$ dan $S_1 = 0,469$. Perhitungan beban gempa dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut ini merupakan grafik respons spektrum (desain gempa) Kota Medan dengan kondisi tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC) yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7: Grafik respons spektrum desain gempa Kota Medan dengan kondisi tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC).

3.4 Koreksi Faktor Redudansi

Pada model struktur terdapat gaya geser tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35% gaya geser dasar, maka nilai redudansi (ρ) pada pemodelan struktur menggunakan 1,3. Ditunjukkan pada Lampiran 5.

3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah menggunakan desain kekuatan batas (DFBK) yang telah ditetapkan dalam SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Adapun beban yang digunakan meliputi dead load (D), super imposed dead load (SD), live load (L) dan wind load (W) dan earthquake load (E). Untuk kondisi tanah lunak menggunakan nilai $S_{DS} = 0,709$ dan redundansi $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 SNI 1726). Maka kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6L
3. 1,2 D + L
4. 1,2 D + 0,5W_x
5. 1,2 D + 0,5W_y
6. 1,2 D + L + W_x
7. 1,2 D + L + W_y
8. 0,9 D + W_x
9. 0,9 D + W_y
10. 1,342 D + L + 1,3 Eq_x + 0,39 Eq_y
11. 1,342 D + L + 1,3 Eq_x - 0,39 Eq_y
12. 1,342 D + L - 1,3 Eq_x + 0,39 Eq_y
13. 1,342 D + L - 1,3 Eq_x - 0,39 Eq_y
14. 1,342 D + L + 0,39 Eq_x + 1,3 Eq_y
15. 1,342 D + L + 0,39 Eq_x - 1,3 Eq_y
16. 1,342 D + L - 0,39 Eq_x + 1,3 Eq_y
17. 1,342 D + L - 0,39 Eq_x - 1,3 Eq_y
18. 0,758 D + 1,3 Eq_x + 0,39 Eq_y
19. 0,758 D + 1,3 Eq_x - 0,39 Eq_y
20. 0,758 D - 1,3 Eq_x + 0,39 Eq_y

21. $0,758 D - 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
22. $0,758 D + 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
23. $0,758 D + 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
24. $0,758 D - 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
25. $0,758 D - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$

Untuk kondisi tanah sedang menggunakan nilai $S_{DS} = 0,685$ dan redundansi $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2). Maka kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6L$
3. $1,2 D + L$
4. $1,2 D + 0,5W_x$
5. $1,2 D + 0,5W_y$
6. $1,2 D + L + W_x$
7. $1,2 D + L + W_y$
8. $0,9 D + W_x$
9. $0,9 D + W_y$
10. $1,337 D + L + 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
11. $1,337 D + L + 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
12. $1,337 D + L - 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
13. $1,337 D + L - 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
14. $1,337 D + L + 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
15. $1,337 D + L + 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
16. $1,337 D + L - 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
17. $1,337 D + L - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
18. $0,763 D + 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
19. $0,763 D + 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
20. $0,763 D - 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
21. $0,763 D - 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
22. $0,763 D + 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
23. $0,763 D + 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
24. $0,763 D - 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
25. $0,763 D - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$

Untuk kondisi tanah keras menggunakan nilai $S_{DS} = 0,721349$ dan redundansi $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 SNI 1726). Maka kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6L$
3. $1,2 D + L$
4. $1,2 D + 0,5W_x$
5. $1,2 D + 0,5W_y$
6. $1,2 D + L + W_x$
7. $1,2 D + L + W_y$
8. $0,9 D + W_x$
9. $0,9 D + W_y$
10. $1,344 D + L + 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
11. $1,344 D + L + 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
12. $1,344 D + L - 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
13. $1,344 D + L - 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
14. $1,344 D + L + 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
15. $1,344 D + L + 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
16. $1,344 D + L - 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
17. $1,344 D + L - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
18. $0,756 D + 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
19. $0,756 D + 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
20. $0,756 D - 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
21. $0,756 D - 1,3 E_{qx} - 0,39 E_{qy}$
22. $0,756 D + 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
23. $0,756 D + 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
24. $0,756 D - 0,39 E_{qx} + 1,3 E_{qy}$
25. $0,756 D - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Bab 4 ini akan membahas tentang hasil analisis oleh program analisis struktur serta akan diperiksa berdasarkan peraturan yang telah ditentukan oleh SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019. Pada bab ini akan membandingkan hasil dari perilaku struktur dan dimensi struktur beton bertulang dengan analisa beban dinamik metode respon spektrum.

4.2 Perbandingan Hasil Analisis Struktur di Berbagai Kondisi Tanah

Pada sub bab ini akan membahas perilaku struktur gedung kantor 10 lantai menggunakan struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) di atas tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC) yang terletak di kota Medan.

4.2.1. Analisis Respons Spektrum Ragam

Sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, analisis ragam getar alami untuk struktur harus menyertakan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur dalam masing-masing arah horizontal, namun sebagai alternatif diizinkan paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.

Pada analisa model struktur diketiga kondisi tanah dikarenakan strukturnya sama persis dan yang membedakan hanya kondisi tanah, maka nilai perioda dan ragam strukturnya adalah sama. Dimana kombinasi ragam model partisipasi massa ketiga model tersebut telah mencapai 100 persen (Sum UX dan Sum UY) pada mode ke 119, sehingga partisipasi massa telah memenuhi syarat. Berikut ini data ragam massa dan perioda alami struktur mode 1 - mode 3 pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Nilai perioda alami dan ragam massa struktur pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	1	1,285	0,6798	0	0,0415
Modal	2	1,26	0,6798	0,7203	0
Modal	3	1,1	0,7234	0,7203	0,6812
Modal	4	0,48	0,8641	0,7203	0,0132
Modal	5	0,468	0,8641	0,8784	0
Modal	6	0,415	0,8755	0,8784	0,1426
Modal	7	0,254	0,9168	0,8784	0,0027
Modal	8	0,247	0,9168	0,9216	0
Modal	9	0,221	0,9193	0,9216	0,04
Modal	10	0,167	0,9506	0,9216	0,0015
Modal	11	0,163	0,9506	0,9542	0
Modal	12	0,148	0,9519	0,9542	0,0308
Modal	13	0,116	0,9679	0,9542	0,0006
Modal	14	0,114	0,9679	0,9699	0
Modal	15	0,104	0,9684	0,9699	0,0151
Modal	16	0,085	0,9813	0,9699	0,0004
Modal	17	0,084	0,9813	0,9826	0
Modal	18	0,077	0,9817	0,9826	0,0123
Modal	19	0,067	0,9817	0,9896	0
Modal	20	0,067	0,9888	0,9896	0,0003
Modal	21	0,061	0,989	0,9896	0,0067
Modal	22	0,055	0,989	0,9927	0
Modal	23	0,054	0,9924	0,9927	0,0001
Modal	24	0,05	0,9925	0,9927	0,003
Modal	25	0,047	0,9925	0,9977	0
Modal	26	0,046	0,9973	0,9977	0,0001
Modal	27	0,043	0,9973	0,9977	0,0047
Modal	28	0,037	0,9973	0,9995	0
Modal	29	0,036	0,9992	0,9995	1,8E-05
Modal	30	0,034	0,9992	0,9995	0,0018
Modal	31	0,02	0,9992	0,9995	0
Modal	32	0,02	0,9992	0,9995	0
Modal	33	0,019	0,9992	0,9995	0
Modal	34	0,019	0,9992	0,9995	0
Modal	35	0,019	0,9992	0,9995	0
Modal	36	0,019	0,9992	0,9995	0
Modal	37	0,019	0,9992	0,9995	0
Modal	38	0,019	0,9995	0,9995	0,0003

Tabel 4.1: Lanjutan.

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	39	0,019	0,9995	0,9995	0
Modal	40	0,018	0,9995	0,9995	0
Modal	41	0,018	0,9995	0,9995	3,3E-06
Modal	42	0,018	0,9995	0,9995	5,2E-07
Modal	43	0,018	0,9995	0,9995	0
Modal	44	0,018	0,9996	0,9995	3E-05
Modal	45	0,018	0,9996	0,9995	0
Modal	46	0,018	0,9996	0,9995	0,0001
Modal	47	0,018	0,9996	0,9995	0
Modal	48	0,017	0,9996	0,9995	0
Modal	49	0,017	0,9996	0,9995	1,8E-06
Modal	50	0,017	0,9996	0,9996	0
Modal	51	0,017	0,9997	0,9996	1,9E-05
Modal	52	0,017	0,9997	0,9996	0
Modal	53	0,017	0,9997	0,9996	5,5E-07
Modal	54	0,017	0,9997	0,9996	0
Modal	55	0,017	0,9997	0,9996	1,4E-06
Modal	56	0,017	0,9997	0,9996	0
Modal	57	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	58	0,016	0,9997	0,9996	6,2E-06
Modal	59	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	60	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	61	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	62	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	63	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	64	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	65	0,016	0,9997	0,9996	9,2E-06
Modal	66	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	67	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	68	0,016	0,9997	0,9996	1E-06
Modal	69	0,016	0,9997	0,9996	0
Modal	70	0,015	0,9997	0,9996	0
Modal	71	0,015	0,9997	0,9996	0
Modal	72	0,015	0,9997	0,9996	0
Modal	73	0,015	0,9997	0,9996	4,9E-05
Modal	74	0,015	0,9997	0,9996	0
Modal	75	0,015	0,9997	0,9996	0
Modal	76	0,015	0,9997	0,9996	1,4E-06
Modal	77	0,015	0,9997	0,9996	0

Tabel 4.1: *Lanjutan.*

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	78	0,015	0,9997	0,9996	4,4E-06
Modal	79	0,015	0,9997	0,9996	1,4E-05
Modal	80	0,014	0,9997	0,9996	0
Modal	81	0,014	0,9997	0,9996	1,6E-05
Modal	82	0,014	0,9997	0,9996	2,8E-06
Modal	83	0,014	0,9997	0,9996	0
Modal	84	0,014	0,9997	0,9996	3E-05
Modal	85	0,013	0,9997	0,9996	0
Modal	86	0,013	0,9997	0,9996	1,1E-05
Modal	87	0,013	0,9997	0,9997	0
Modal	88	0,013	0,9997	0,9997	1,7E-05
Modal	89	0,012	0,9997	0,9998	0
Modal	90	0,012	0,9997	0,9998	0,0001
Modal	91	0,012	0,9997	0,9998	0
Modal	92	0,012	0,9998	0,9998	0,0001
Modal	93	0,011	0,9998	0,9999	0
Modal	94	0,011	0,9998	0,9999	0,0001
Modal	95	0,011	0,9998	0,9999	0
Modal	96	0,011	0,9998	0,9999	2,4E-05
Modal	97	0,011	0,9998	0,9999	0
Modal	98	0,011	0,9998	0,9999	0
Modal	99	0,011	0,9998	0,9999	1,9E-05
Modal	100	0,011	0,9998	0,9999	0
Modal	101	0,011	0,9998	0,9999	0
Modal	102	0,011	0,9998	0,9999	1,5E-05
Modal	103	0,01	0,9998	0,9999	0
Modal	104	0,01	0,9998	0,9999	1,3E-05
Modal	105	0,01	0,9998	0,9999	0
Modal	106	0,01	0,9998	0,9999	3,3E-06
Modal	107	0,01	0,9998	0,9999	0
Modal	108	0,01	0,9998	0,9999	0
Modal	109	0,009	0,9998	0,9999	0
Modal	110	0,009	0,9998	0,9999	0
Modal	111	0,009	0,9998	0,9999	0
Modal	112	0,009	0,9998	0,9999	2,7E-06
Modal	113	0,009	0,9998	1	0
Modal	114	0,009	0,9999	1	0,0001
Modal	115	0,008	0,9999	1	0
Modal	116	0,008	0,9999	1	3,3E-05

Tabel 4.1 Lanjutan.

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	117	0,008	0,9999	1	0
Modal	118	0,008	0,9999	1	0
Modal	119	0,008	1	1	0,0001

Berdasarkan nilai hasil dari analisis yang dilakukan adalah nilai prioda ditentukan menggunakan metode Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/ CQC*), karena nilai perioda rata-rata yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yaitu selisihnya lebih kecil dari 15%.

4.2.2 Berat Struktur

Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat struktur dari suatu bangunan, maka perlu diketahui berat total bangunan. Berat dari bangunan berasal dari beban mati yang terdiri dari berat sendiri material bangunan dan elemen-elemen struktur, serta beban hidup yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan bangunan. Dikarenakan denah dan gaya yang digunakan pada struktur adalah sama yang membedakan hanya kondisi tanah dasar saja, maka hasil berat struktur, posisi pusat massa, dan pusat kekakuan pada struktur di atas ketiga kondisi tanah juga sama, seperti yang disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan struktur.

Lantai	Massa X	Massa Y	XCM	YCM	XCR	YCR
	Kg	Kg	M	m	m	m
1	605353,62	605353,62	15	6,41	15	5,72
2	588966,91	588966,91	15	6,40	15	5,52
3	588966,91	588966,91	15	6,40	15	5,41
4	588966,91	588966,91	15	6,40	15	5,35
5	582356,53	582356,53	15	6,31	15	5,31
6	508465,33	508465,33	15	6,29	15	5,28
7	508465,33	508465,33	15	6,29	15	5,22
8	508465,33	508465,33	15	6,29	15	5,17
9	504750,20	504750,20	15	6,32	15	5,14
10	415822,57	415822,57	15	6,30	15	5,20
Total	5400579,64	5400579,64				

Dari hasil di atas dapat dilihat nilai koordinat dari pusat massa dan pusat kekakuannya untuk sumbu x adalah 15 m yang merupakan setengah dari lebar atau panjang bangunan. Sedangkan nilai koordinat dari pusat massa dan pusat kekakuan untuk sumbu y tidak berada tepat ditengah-tengah dari lebar bangunan, sehingga menyebabkan eksentrisitas dan harus diperiksa terhadap ketidakberaturan torsi bawaan. Hal ini dikarenakan luasan yang mendistribusikan berat lantai untuk sumbu y tidak simetris dikarenakan ada lubang/ opening.

4.2.3 Gaya Geser Dasar Nominal

Nilai gaya geser dasar nominal diatur dalam SNI 1726-2019, Pasal 7.8.1 Rumus yang digunakan adalah:

$$V = C_s \times W$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar hasil analisa statik ekuivalen

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismic efektif struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.9.1.4.1 mensyaratkan bahwa apabila gaya geser dasar hasil analisa ragam (V_t) kurang dari 100% gaya geser hasil analisa statik ekuivalen (V), maka harus dilakukan penyesuaian skala terhadap V_t, gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala, yaitu:

$$\frac{V}{V_t}$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar hasil analisa statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar hasil analisa ragam respon spectrum

Untuk detail perhitungan nilai C_s dan gaya geser dasar statik ekuivalen (V) dapat dilihat pada Lampiran 6. Berikut ini adalah nilai gaya geser dasar statik ekuivalen (V), gaya geser dasar respon spektrum (V_t), dan penyesuaian skala gempa tertera pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Perbandingan nilai V, Vt, dan penyesuaian skala gempa pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Nilai	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
	X	Y	X	Y	X	Y
V (kN)	3641,87	3714,12	2947,53	3006,02	2414,14	2462,04
Vt (kN)	2884,89	3048,29	2375,36	2511,44	2014,95	2133,19
Skala gempa (mm/s ²)	1548,01	1494,10	1521,63	1467,73	1469,19	1415,29

NB: Nilai penyesuaian skala gempa untuk diinput pada beban RS x & RS y pada software

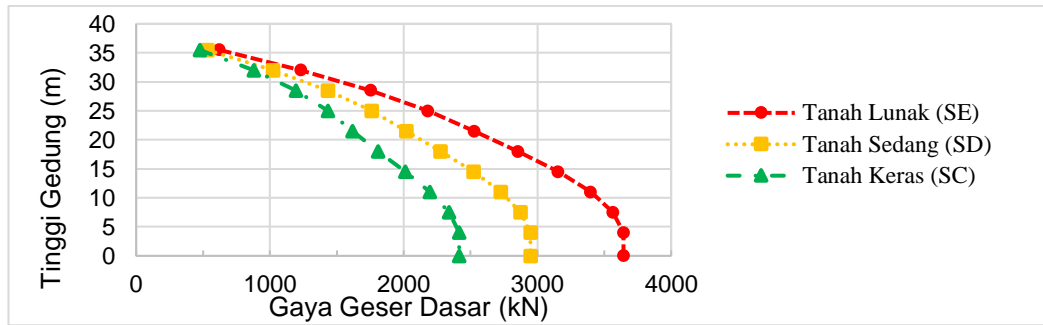
Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa gaya gempa akan semakin kecil pada kondisi tanah yang semakin keras, dimana hal ini disebabkan karena koefisien respon seismic (C_s pakai) gaya gempa dipengaruhi oleh nilai S_d1 yang semakin mengecil pada kondisi tanah yang semakin keras.

Untuk perbandingan antara gaya geser pada struktur gedung yang di akibatkan oleh gaya gempa di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras, telah dihitung menggunakan *software* analisa struktur dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.1-4.2.

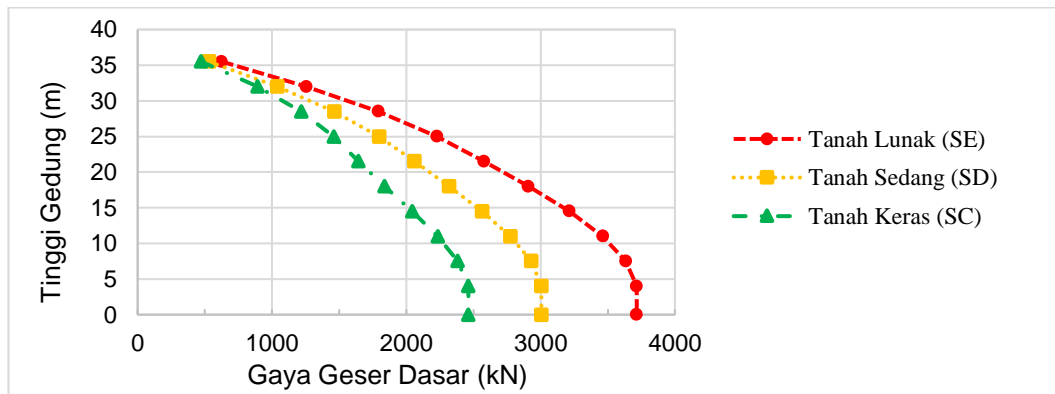
Tabel 4.4: Perbandingan nilai gaya geser dasar pada ketiga kondisi tanah.

Ketinggian (m)	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
	Vx (kN)	Vy (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
35,5	623,944	626,125	531,677	531,715	475,21	472,949
32	1232,61	1255,25	1023,24	1041,17	879,332	893,189
28,5	1755,05	1792,97	1433,05	1463,22	1195,84	1219,79
25	2183,51	2230,24	1760,51	1797,22	1433,03	1461,43
21,5	2527,44	2578,24	2020,1	2059,25	1615,87	1644,81
18	2855,77	2908,95	2275,92	2316,5	1808,21	1837,7
14,5	3156,51	3214,5	2521,24	2566,19	2012,42	2046,28
11	3398,45	3462,26	2726,26	2776,8	2196,82	2236,58
7,5	3565,2	3634,08	2874,17	2929,51	2338,82	2383,69
4	3643,75	3715,71	2947,83	3005,94	2415,01	2462,61

Berikut ini adalah grafik dari tabel diatas:



Gambar 4.1: Perbandingan nilai gaya geser dasar arah X pada ketiga kondisi tanah.



Gambar 4.2: Perbandingan nilai gaya geser dasar arah Y pada ketiga kondisi tanah.

Dari tabel dan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa semakin keras tanah tumpuan struktur bangunan maka semakin kecil pula gaya geser yang terjadi pada struktur itu, dimana hal ini sebabkan karena gaya gempa yang terjadi semakin mengecil pada kondisi tanah yang semakin keras.

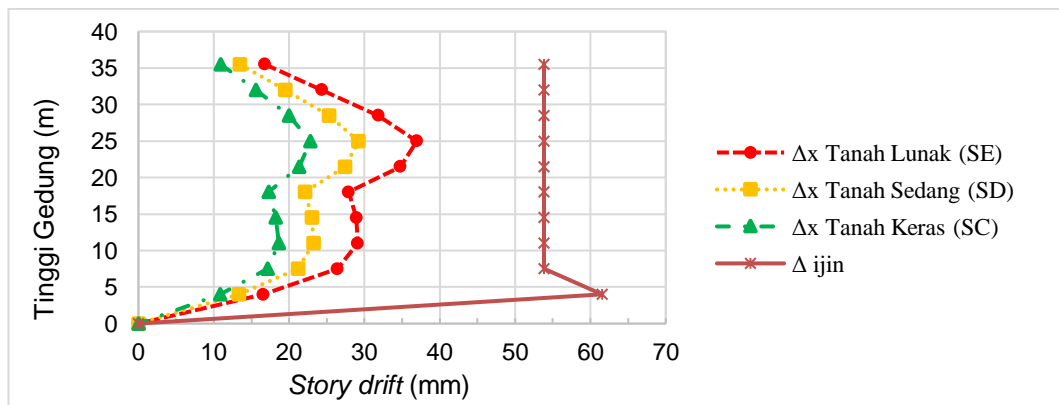
4.2.4 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (Δ) merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_{ijin}). Untuk detail perhitungan *story drift* dapat dilihat pada Lampiran 8. Berikut ini Tabel 4.5 atau Gambar 4.3-4.4 menunjukkan hasil nilai perpindahan dan simpangan antar tingkat maksimum pada setiap lantai dengan tinggi tiap lantai adalah 4 meter dan 3,5 meter.

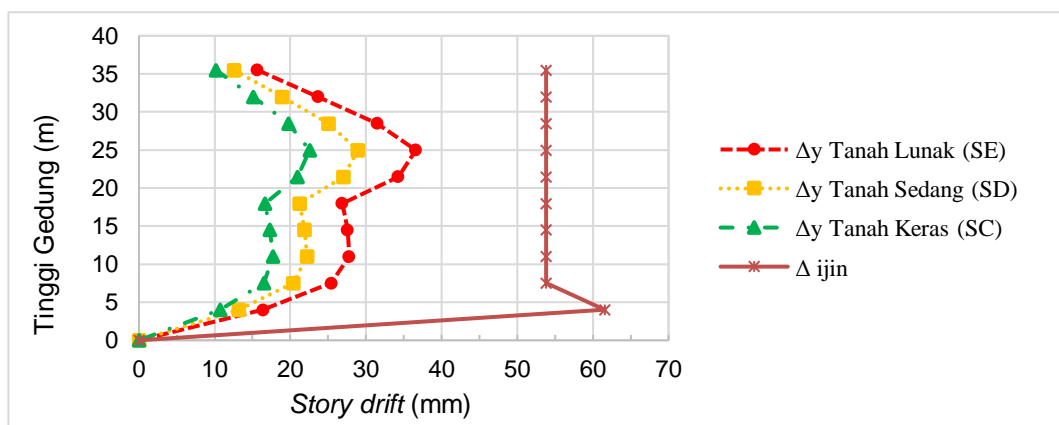
Tabel 4.5: Perbandingan *story drift* pada struktur di berbagai kondisi tanah.

Ketinggian h (m)	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)		Kontrol Δ ijin (mm)
	Δx (mm)	Δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	
35,5	16,78	15,67	13,50	12,58	10,95	10,17	54
32	24,33	23,64	19,46	18,89	15,59	15,10	54
28,5	31,83	31,50	25,30	25,01	20,00	19,75	54
25	36,94	36,59	29,22	28,91	22,83	22,56	54
21,5	34,76	34,27	27,43	27,02	21,35	20,97	54
18	27,89	26,87	22,08	21,26	17,31	16,63	54
14,5	28,92	27,56	23,00	21,90	18,21	17,31	54
11	29,09	27,78	23,27	22,20	18,62	17,75	54
7,5	26,42	25,43	21,22	20,42	17,14	16,49	54
4	16,57	16,38	13,35	13,19	10,86	10,73	62

Berikut ini adalah grafik dari tabel diatas:



Gambar 4.3: Perbandingan nilai *story drift* arah X pada ketiga kondisi tanah.



Gambar 4.4: Perbandingan nilai *story drift* arah Y pada ketiga kondisi tanah.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa struktur di ketiga kondisi tanah aman terhadap simpangan antar tingkat, karena nilai *story drift* struktur gedung pada seluruh lantai masih di bawah batas simpangan ijin (Δ_{ijin}). Kemudian dapat disimpulkan bahwa struktur pada tanah yang semakin keras, maka struktur tersebut akan menghasilkan simpangan yang lebih kecil sehingga struktur akan semakin lebih kaku dibandingkan jika diatas tanah lunak. Hal ini disebabkan karena gaya gempa yang dihasilkan pada tanah yang semakin keras akan lebih kecil dari pada gaya gempa pada tanah lunak.

4.2.5 Pengaruh P-Delta

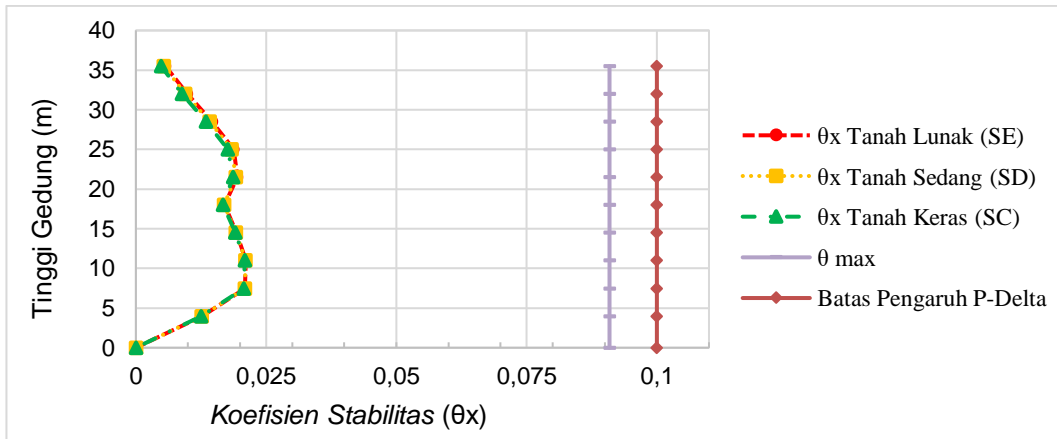
Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P-Delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang timbul oleh pengaruh ini ditentukan berdasarkan nilai koefisien stabilitas (θ).

Jika nilai koefisien stabilitas lebih kecil dari 0,1 maka pengaruh P- Delta dapat diabaikan. Untuk detail perhitungan pengaruh p-delta dapat dilihat pada Lampiran 9. Berikut ini hasil perhitungan P-Delta pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras disajikan pada Tabel 4.6.

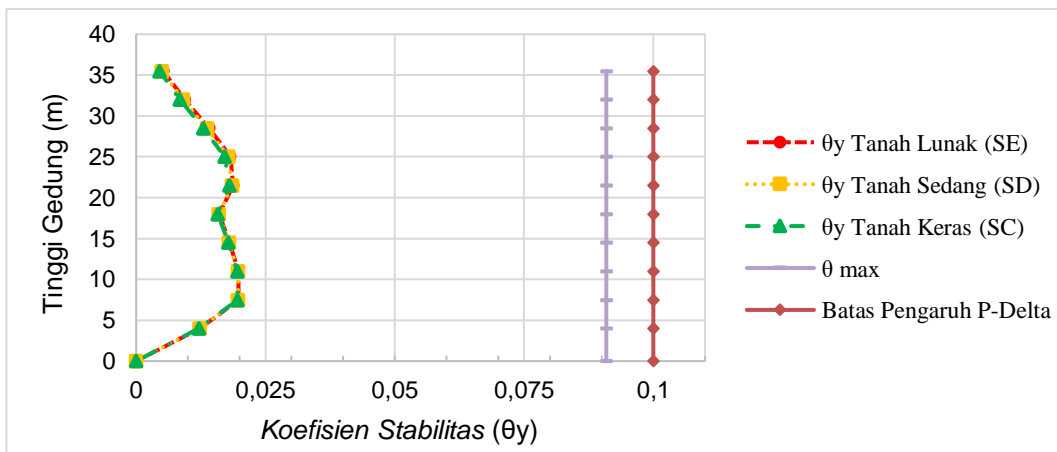
Tabel 4.6: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Tinggi	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)		θ_{max}	Batas Pengaruh P-Delta	Cek
	θ_x	θ_y	θ_x	θ_y	θ_x	θ_y			
35,5	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0909	0,1	OK
32	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,0909	0,1	OK
28,5	0,015	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013	0,0909	0,1	OK
25	0,019	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,0909	0,1	OK
21,5	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
18	0,017	0,016	0,017	0,016	0,017	0,016	0,0909	0,1	OK
14,5	0,019	0,018	0,019	0,018	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
11	0,021	0,020	0,021	0,020	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
7,5	0,021	0,020	0,021	0,020	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
4	0,013	0,012	0,013	0,012	0,013	0,012	0,0909	0,1	OK

Berikut ini adalah grafik dari tabel diatas:



Gambar 4.5: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur arah X pada ketiga kondisi tanah.



Gambar 4.6: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur arah Y pada ketiga kondisi tanah.

Dari hasil perhitungan diatas, struktur pada ketiga kondisi tanah menunjukkan nilai stabilitas rasio (θ) pada semua lantai kurang dari 0,1 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

4.2.6 Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Tabel 13. Pada sub bab ini hanya akan membahas pada ketidakberaturan horizontal tipe 1a (ketidakberaturan torsi) dan tipe 1b (ketidakberaturan torsi berlebih), karena struktur yang dianalisa tidak tergolong pada persyaratan tipe 2 - tipe 5.

4.2.6.1 Ketidakberaturan Torsi (Tipe 1a dan Tipe 1b)

Ketidakberaturan torsi didefinisikan sebagai simpangan rata - rata antar tingkat maksimum. Kontrol ketidakberaturan torsi (tipe 1a) akibat gempa arah x dan y sesuai pasal 7.3.2.1 SNI 1726:2019, rumus simpangan rata-rata sebagai berikut.

$$\Delta_{avg} = \frac{(\Delta_{max} + \Delta_{min})}{2}$$

Dimana :

Δ_{max} = Simpangan maximum

Δ_{min} = Simpangan minimum

Δ_{avg} = Simpangan rata-rata

Jika, $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,2$ (Pasal 7.3.2.1) maka struktur memiliki ketidakberaturan horizontal (tipe 1a = irregular).

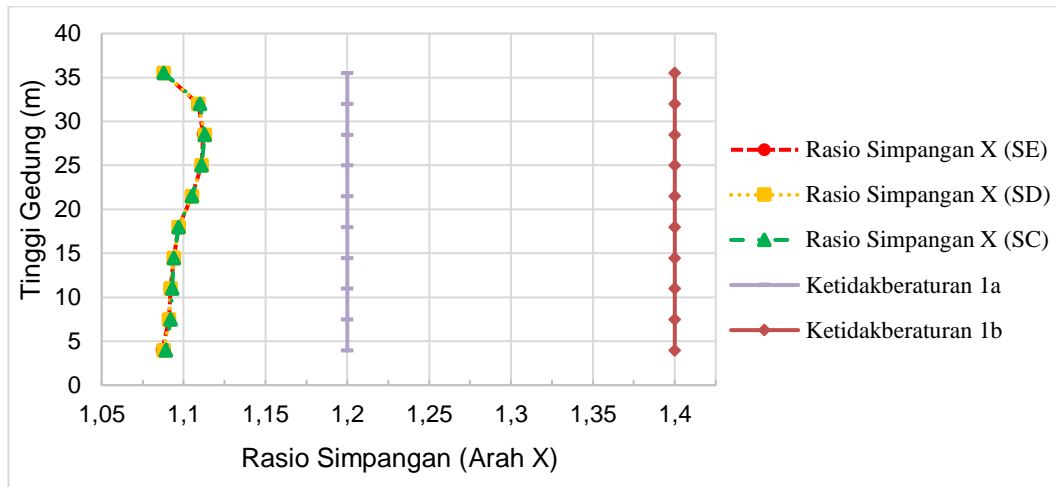
Jika, $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,4$ (Pasal 7.3.2.1) maka struktur memiliki ketidakberaturan horizontal berlebih (tipe 1b = extreme)

Untuk kontrol ketidakberaturan torsi (tipe 1a dan 1b) terhadap beban gempa pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras tertera pada Tabel 4.7.

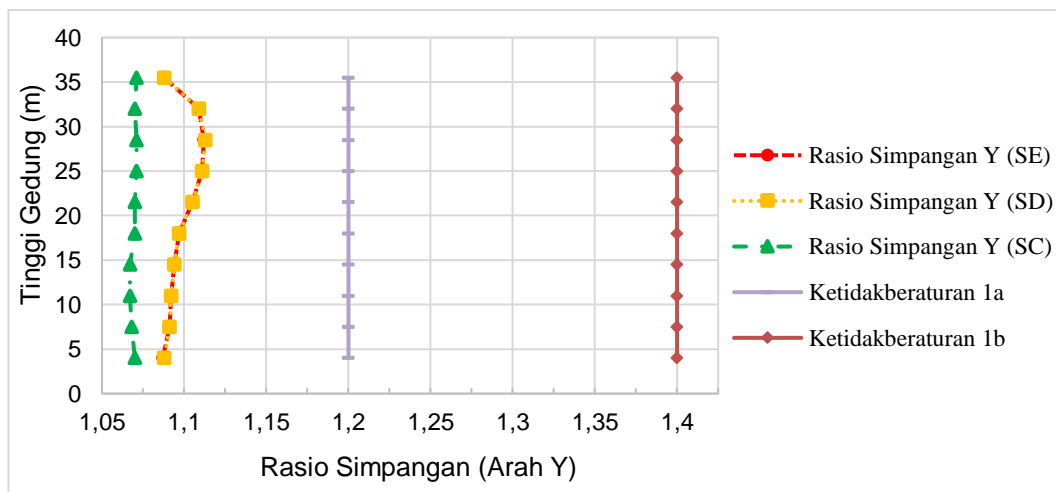
Tabel 4.7: Kontrol ketidakberaturan horizontal tipe 1a & 1b pada tanah lunak, sedang, dan keras.

Tinggi	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)		Batas H. 1a	Batas H. 1b	Cek
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$			
	X	Y	X	Y	X	Y			
35,5	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,07	1,2	1,4	OK
32	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,07	1,2	1,4	OK
28,5	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,07	1,2	1,4	OK
25	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,07	1,2	1,4	OK
21,5	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,07	1,2	1,4	OK
18	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,07	1,2	1,4	OK
14,5	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,07	1,2	1,4	OK
11	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,07	1,2	1,4	OK
7,5	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,07	1,2	1,4	OK
4	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,07	1,2	1,4	OK

Berikut ini adalah grafik dari tabel diatas:



Gambar 4.7: Grafik pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah X pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.



Gambar 4.8: Grafik pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah Y pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Berdasarkan Tabel 4.8 nilai $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ arah x dan y untuk semua tingkat lebih kecil dari 1,2, sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan tipe 1b pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras. Dari ketiga kondisi tanah di atas juga menghasilkan nilai $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ yang hampir sama, tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan.

4.2.7 Ketidakberaturan Vertikal

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Tabel 14. Dalam hal ini hanya dilakukan analisis pada 5 tipe ketidakberaturan vertikal. Di karenakan struktur yang dianalisa tidak tergolong pada cek ketidakberaturan vertikal tipe 3 dan tipe 4 maka hal ini diabaikan.

4.2.7.1 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak/*Soft Story* (Tipe 1a dan Tipe 1b)

Kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya, seperti yang ditunjukkan pada rumus sebagai berikut.

Jika, $K_i < 0,7K_{i+1}$ atau $K_i < 0,8 \times \frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3}$ (Pasal 7.3.2.2), maka struktur gedung memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (tipe 1a).

Jika, $K_i < 0,6K_{i+1}$ atau $K_i < 0,7 \times \frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3}$ (Pasal 7.3.2.2), maka struktur gedung memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebih (tipe 1b).

Dimana :

K_i = Kekakuan lantai i ($i = 1,2,3,4 \text{ \& } 5$)

K_{i+1} = Kekakuan lantai $i + 1$

K_{i+2} = Kekakuan lantai $i + 2$

K_{i+3} = Kekakuan lantai $i + 3$

Kontrol perilaku ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan tipe 1b terhadap struktur 10 lantai pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

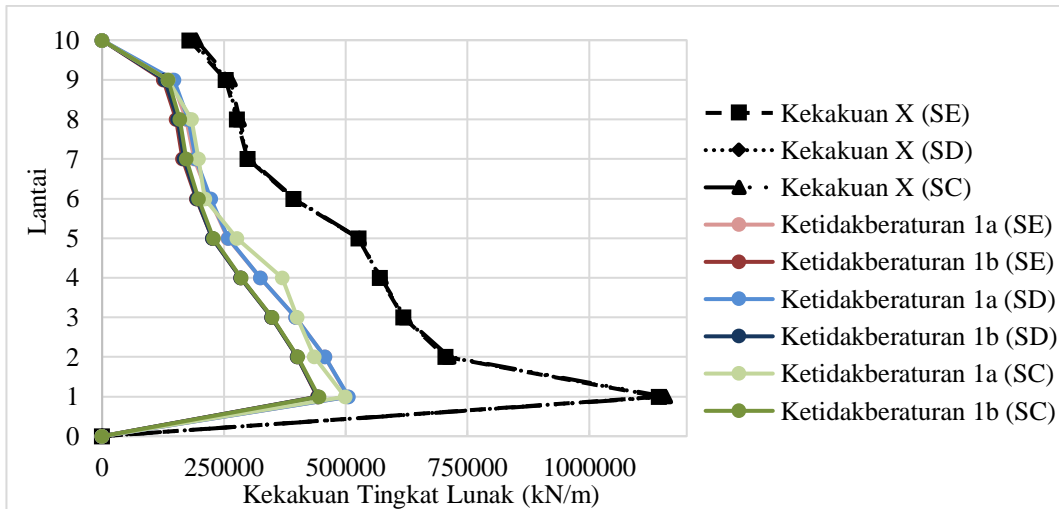
Tabel 4.8: Kontrol ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah x) pada tanah lunak, sedang, dan keras.

Kondisi Tanah	Lt.	Stiffness X	$0,7K_{i+1}$	$0,8(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$	$0,6K_{i+1}$	$0,7(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
SE	10	179320	0	0	0	0	OK	OK
	9	253520	125524	143456	107592	125524	OK	OK
	8	276236	177464	173136	152112	151494	OK	OK
	7	298394	193365	189087	165742	165451	OK	OK
	6	392833	208876	220840	179036	193235	OK	OK
	5	526130	274983	257990	235700	225741	OK	OK
	4	569676	368291	324629	315678	284050	OK	OK
	3	618541	398773	396971	341806	347349	OK	OK
	2	704981	432978	457159	371124	400014	OK	OK
	1	1143190	493487	504853	422989	441746	OK	OK
SD	10	184665	0	0	0	0	OK	OK
	9	256882	129265	147732	110799	129265	OK	OK
	8	278160	179817	176619	154129	154541	OK	OK
	7	299331	194712	191922	166896	167932	OK	OK
	6	393667	209531	222499	179598	194687	OK	OK
	5	526678	275567	258975	236200	226604	OK	OK
	4	570619	368674	325247	316007	284591	OK	OK
	3	619496	399433	397591	342372	347892	OK	OK
	2	707368	433647	457811	371698	400585	OK	OK
	1	1147491	495157	505995	424421	442746	OK	OK
SC	10	193253	0	0	0	0	OK	OK
	9	262945	135277	154602	115952	135277	OK	OK
	8	281873	184061	182479	157767	159669	OK	OK
	7	301502	197311	196819	169124	172216	OK	OK
	6	395546	211051	225685	180901	197474	OK	OK
	5	527763	276882	261045	237328	228415	OK	OK
	4	572491	369434	326616	316658	285789	OK	OK
	3	621539	400744	398880	343495	349020	OK	OK
	2	712155	435077	459145	372923	401752	OK	OK
	1	1155882	498509	508316	427293	444777	OK	OK

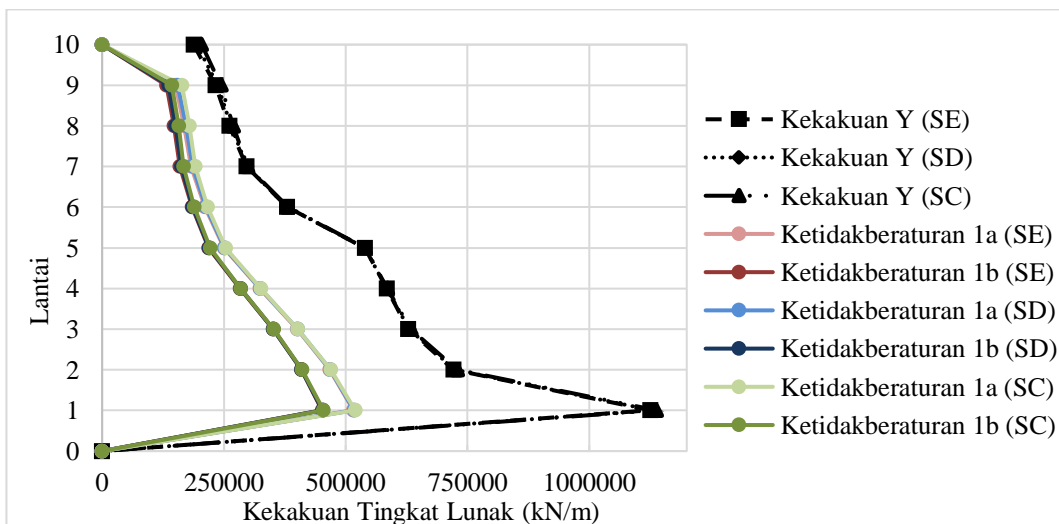
Tabel 4.9: Kontrol ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah y) pada tanah lunak, sedang, dan keras.

Kondisi Tanah	Lt.	Stiffness Y	$0,7K_{i+1}$	$0,8(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$	$0,6K_{i+1}$	$0,7(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
SE	10	188399	0	0	0	0	OK	OK
	9	232883	131879	150719	113040	131879	OK	OK
	8	261789	163018	168513	139730	147449	OK	OK
	7	295990	183252	182152	157073	159383	OK	OK
	6	379211	207193	210843	177594	184488	OK	OK
	5	539133	265447	249864	227526	218631	OK	OK
	4	584206	377393	323822	323480	283345	OK	OK
	3	628596	408944	400680	350523	350595	OK	OK
	2	721246	440017	467183	377158	408785	OK	OK
	1	1124771	504872	515746	432748	451278	OK	OK
SD	10	194359	0	0	0	0	OK	OK
	9	236863	136051	155487	116615	136051	OK	OK
	8	264356	165804	172489	142118	150928	OK	OK
	7	296909	185049	185487	158613	162302	OK	OK
	6	379905	207836	212834	178146	186230	OK	OK
	5	539470	265934	250979	227943	219606	OK	OK
	4	584650	377629	324342	323682	283800	OK	OK
	3	630208	409255	401073	350790	350939	OK	OK
	2	723779	441146	467821	378125	409343	OK	OK
	1	1129025	506645	516970	434267	452349	OK	OK
SC	10	204279	0	0	0	0	OK	OK
	9	244132	142996	163423	122568	142996	OK	OK
	8	269398	170893	179365	146479	156944	OK	OK
	7	298721	188578	191416	161639	167489	OK	OK
	6	381474	209104	216600	179232	189525	OK	OK
	5	540149	267032	253225	228885	221572	OK	OK
	4	585466	378104	325425	324089	284747	OK	OK
	3	633615	409826	401890	351279	351654	OK	OK
	2	728870	443531	469128	380169	410487	OK	OK
	1	1137342	510209	519454	437322	454522	OK	OK

Berikut ini grafik dari tabel diatas :



Gambar 4.9: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah x) pada pada tanah lunak, sedang, dan keras.



Gambar 4.10: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b (arah y) pada pada tanah lunak, sedang, dan keras.

Dari Tabel 4.8 & Tabel 4.9 nilai kekakuan x dan y menunjukkan bahwa kekakuan lateral tiap lantai lebih besar dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (tipe 1a) dan kekakuan lateral tiap lantai lebih besar dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (tipe 1b) artinya struktur tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (soft story) terhadap masing-masing arah. Nilai kekakuan struktur arah x dan y pada kondisi tanah lunak, sedang, dan keras tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan.

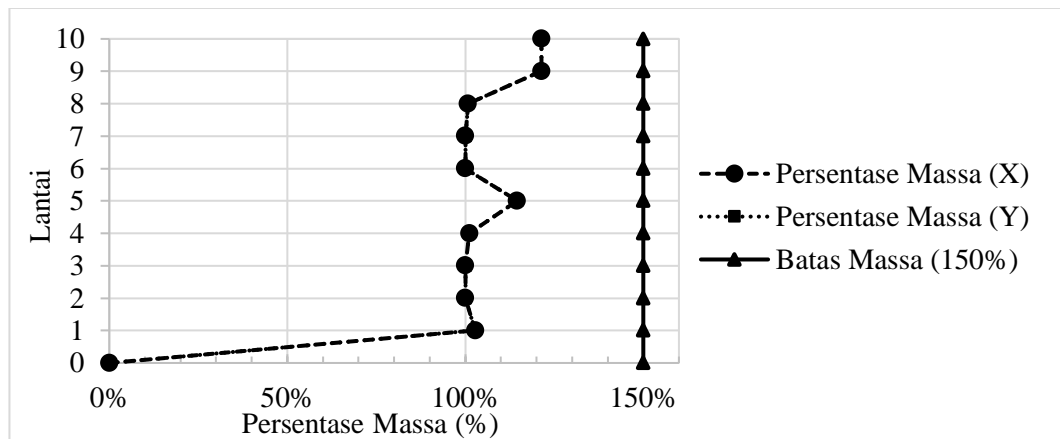
4.2.7.2 Ketidakberaturan Massa (Tipe 2)

Ketidakberaturan massa didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang memiliki massa efektif lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya, untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap struktur gedung apakah memiliki ketidakberaturan massa atau tidak. Dikarenakan denah, gaya, dan beban yang digunakan pada struktur adalah sama, maka hasil berat efektif struktur sama. Kontrol ketidakberaturan massa struktur 10 lantai pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Kontrol ketidakberaturan massa struktur pada ketiga kondisi tanah.

Lt.	Mass X (kg)	Mass Y (kg)	Massa lantai n/ lantai n+ 1	Massa lantai n/ lantai n+ 1	Batas Massa Efektif	Cek massa (X) > 150%	Cek massa (Y) > 150%
1	605354	605353	103%	103%	150%	Tidak	Tidak
2	588967	588966	100%	100%	150%	Tidak	Tidak
3	588967	588966	100%	100%	150%	Tidak	Tidak
4	588967	588966	101%	101%	150%	Tidak	Tidak
5	582357	582356	115%	115%	150%	Tidak	Tidak
6	508465	508465	100%	100%	150%	Tidak	Tidak
7	508465	508465	100%	100%	150%	Tidak	Tidak
8	508465	508465	101%	101%	150%	Tidak	Tidak
9	504750	5047502	121%	121%	150%	Tidak	Tidak
10	415823	415822	121%	121%	150%	Tidak	Tidak

Berikut ini grafik dari tabel diatas :



Gambar 4.11: Pengecekan ketidakberaturan massa (tipe 2) pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Dari Tabel 4.10 atau Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa tidak ada persentase massa efektif yang melebihi 150% dari tingkat di dekatnya baik arah x maupun arah y sehingga struktur gedung pada Model 1 tidak memiliki ketidakberaturan massa.

4.2.7.3 Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Tipe 5a dan Tipe 5b)

Diskontinuitas kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika ditunjukkan seperti yang ada pada rumus berikut ini:

$$V_i < 80\% V_{i-1} \text{ (Ketidakberaturan tingkat lemah (tipe 5a))}$$

Atau

$$V_i < 65\% V_{i-1} \text{ (Ketidakberaturan tingkat lemah berlebih (tipe 5b))}$$

Analisis ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b untuk struktur gedung 10 lantai pada tanah lunak, sedang dan tanah keras dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4.11: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b arah x pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Kondisi Tanah	Lantai	V _x (kN)	0,8V _{i+1}	0,65V _{i+1}	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
SE	10	623,94	0,00	0,00	OK	OK
	9	1232,61	499,16	405,56	OK	OK
	8	1755,05	986,09	801,20	OK	OK
	7	2183,51	1404,04	1140,78	OK	OK
	6	2527,44	1746,81	1419,28	OK	OK
	5	2855,77	2021,95	1642,84	OK	OK
	4	3156,51	2284,61	1856,25	OK	OK
	3	3398,45	2525,21	2051,73	OK	OK
	2	3565,20	2718,76	2208,99	OK	OK
	1	3643,75	2852,16	2317,38	OK	OK
SD	10	531,68	0,00	0,00	OK	OK
	9	1023,24	425,34	345,59	OK	OK
	8	1433,05	818,59	665,11	OK	OK
	7	1760,51	1146,44	931,48	OK	OK
	6	2020,10	1408,41	1144,33	OK	OK
	5	2275,92	1616,08	1313,07	OK	OK
	4	2521,24	1820,74	1479,35	OK	OK
	3	2726,26	2016,99	1638,81	OK	OK
	2	2874,17	2181,01	1772,07	OK	OK
	1	2947,83	2299,33	1868,21	OK	OK

Tabel 4.11: *Lanjutan.*

Kondisi Tanah	Lantai	V _x (kN)	0,8V _{i+1}	0,65V _{i+1}	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
SC	10	475,21	0,00	0,00	OK	OK
	9	879,33	380,17	308,89	OK	OK
	8	1195,84	703,47	571,57	OK	OK
	7	1433,03	956,68	777,30	OK	OK
	6	1615,87	1146,43	931,47	OK	OK
	5	1808,21	1292,70	1050,32	OK	OK
	4	2012,42	1446,56	1175,33	OK	OK
	3	2196,82	1609,94	1308,07	OK	OK
	2	2338,82	1757,46	1427,94	OK	OK
1	2415,01	1871,05	1520,23	OK	OK	

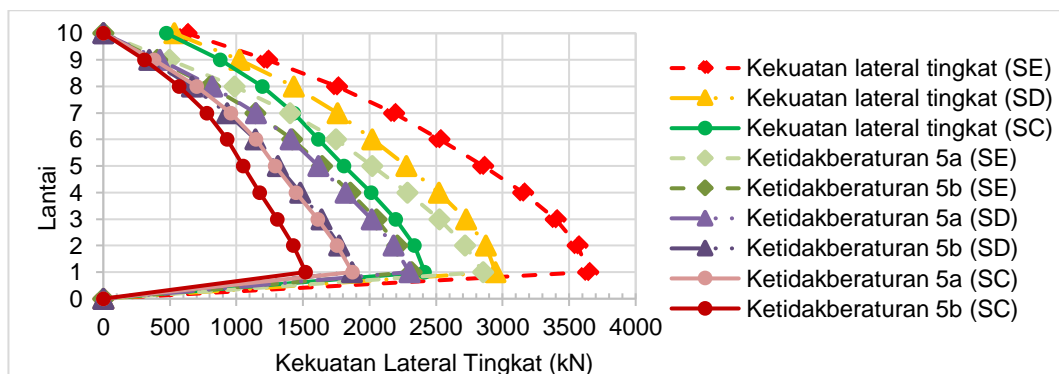
Tabel 4.12: Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b arah y pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Kondisi Tanah	Lantai	V _y (kN)	0,8V _{yi+1}	0,65V _{yi+1}	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
SE	10	626,13	0,00	0,00	OK	OK
	9	1255,25	500,90	406,98	OK	OK
	8	1792,97	1004,20	815,91	OK	OK
	7	2230,24	1434,37	1165,43	OK	OK
	6	2578,24	1784,19	1449,66	OK	OK
	5	2908,95	2062,59	1675,85	OK	OK
	4	3214,50	2327,16	1890,82	OK	OK
	3	3462,26	2571,60	2089,43	OK	OK
	2	3634,08	2769,81	2250,47	OK	OK
1	3715,71	2907,27	2362,15	OK	OK	
SD	10	531,71	0,00	0,00	OK	OK
	9	1041,17	425,37	345,61	OK	OK
	8	1463,22	832,94	676,76	OK	OK
	7	1797,22	1170,58	951,10	OK	OK
	6	2059,25	1437,78	1168,20	OK	OK
	5	2316,50	1647,40	1338,52	OK	OK
	4	2566,19	1853,20	1505,72	OK	OK
	3	2776,80	2052,95	1668,02	OK	OK
	2	2929,51	2221,44	1804,92	OK	OK
1	3005,94	2343,61	1904,18	OK	OK	

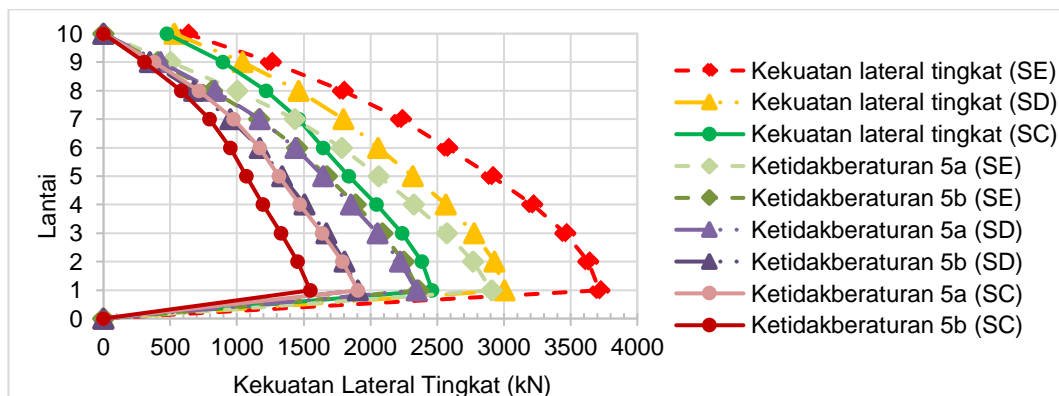
Tabel 4.12: Lanjutan.

Kondisi Tanah	Lantai	Vy (kN)	0,8Vy _i +1	0,65Vy _i +1	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
SC	10	472,95	0,00	0,00	OK	OK
	9	893,19	378,36	307,42	OK	OK
	8	1219,79	714,55	580,57	OK	OK
	7	1461,43	975,83	792,86	OK	OK
	6	1644,81	1169,15	949,93	OK	OK
	5	1837,70	1315,85	1069,13	OK	OK
	4	2046,28	1470,16	1194,50	OK	OK
	3	2236,58	1637,03	1330,08	OK	OK
	2	2383,69	1789,27	1453,78	OK	OK
1	2462,61	1906,95	1549,40	OK	OK	

Berikut ini adalah grafik dari tabel di atas:



Gambar 4.12: Koreksi ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras (arah x).



Gambar 4.13: Koreksi ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras (arah x).

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 nilai kekuatan tingkat arah x dan kekuatan tingkat arah y menunjukkan lebih kecil dari pada batas izin (ketidakberaturan 5a & ketidakberaturan 5b), artinya gedung tidak memiliki ketidakberaturan kuat lateral tingkat (ketidakberaturan 5a & ketidakberaturan 5b) terhadap masing-masing arah.

4.2.8 Desain Struktur Balok dan Kolom

Setelah dilakukan analisis perilaku struktur terhadap beban gempa dan telah memenuhi syarat-syarat yang ada, selanjutnya adalah tahap mendesain elemen struktur agar mendapat elemen yang efisien serta mampu memikul beban yang bekerja. Perencanaan balok SRPMK mengacu pada ketentuan di SNI 2846:2019.

4.2.8.1 Desain Balok

Pada ketiga model struktur gedung, akan di analisa balok utama pada posisi yang sama kemudian akan dilihat perbandingannya antara tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras. Posisi balok yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3.5. Berdasarkan hasil analisa pada program analisa struktur, gaya dalam elemen balok pada tanah lunak , tanah sedang dan tanah keras yang digunakan dalam desain disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Output gaya dalam balok (B24 lantai 2) pada model 1, 2 dan 3.

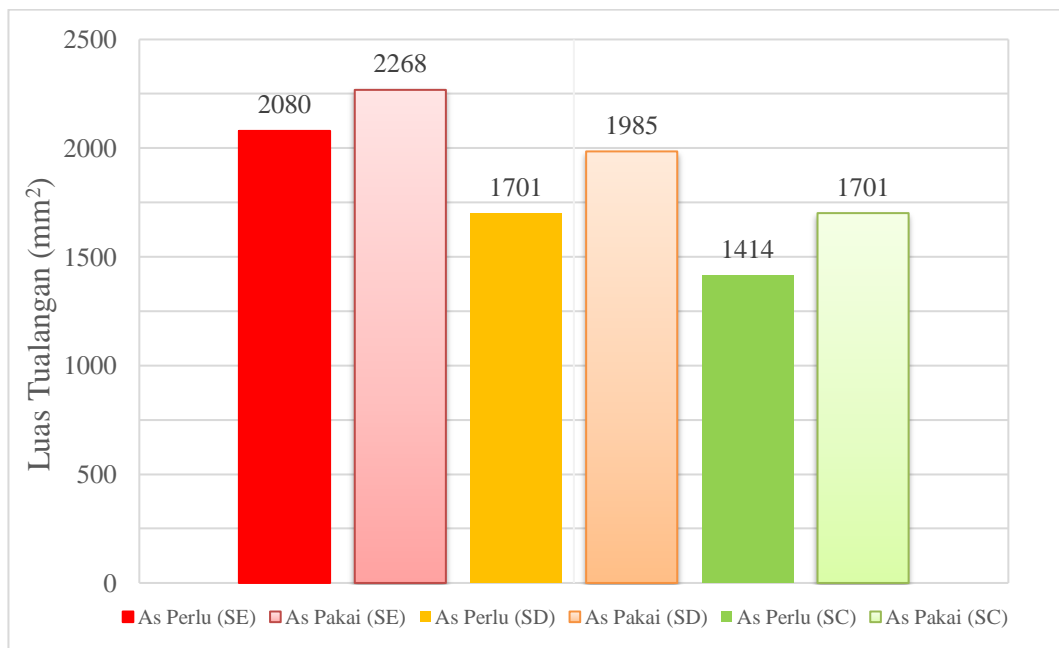
Posisi	Gaya Dalam	Situs Tanah		
		Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
Tumpuan	Mu (-)	-531,38	-438,60	-367,02
	Mu (+)	454,33	361,53	289,98
	Vu	454,18	382,71	327,93
	Vg	79,41	79,41	79,41
Lapangan	Mu (-)	-456,60	-364,00	-292,55
	Mu (+)	527,70	435,08	363,66
	Vu	406,15	334,28	278,84
Tumpuan & Lapangan	Tu	55,02	46,08	40,79
	Pu	0,00	0,00	0,00

Untuk kebutuhan tulangan perlu (A_s perlu) terbesar dan luas tulangan pakai (A_s pakai) serta rasio yang digunakan dalam desain elemen balok dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14: Nilai A_s & ρ perlu dan A_s & ρ pakai balok (B24) pada model 1, 2 & 3.

Tulangan longitudinal	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
As perlu (mm ²)	2080	1701	1414
As pakai (mm ²)	2268	1985	1701
ρ perlu (%)	0,55	0,45	0,38
ρ pakai (%)	0,66	0,58	0,49

Berikut ini adalah grafik dari tabel di atas:



Gambar 4.14: Nilai A_s perlu dan A_s pakai balok pada ketiga model.

Dari tabel dan gambar diatas, dapat dilihat bahwa tulangan perlu dan rasio tulangan perlu terbesar adalah pada struktur di atas tanah lunak, hal ini dipengaruhi oleh gaya dalam pada elemen balok. Selain itu dapat disimpulkan bahwa semakin besar gaya yang bekerja pada elemen maka akan berpengaruh pada kebutuhan tulangan yang semakin besar pula, dalam hal ini yang sangat

berpengaruh dan menjadi perbedaan antara ketiga kondisi tanah yaitu beban gempanya.

Balok direncanakan mampu memikul beban yang bekerja, sehingga kuat rencana harus lebih besar dari kuat perlunya. Persyaratan dan aturan desain elemen balok mengikuti SNI 2847:2019 Pasal 18.6. Untuk detail perhitungan analisa desain balok dapat dilihat pada Lampiran 10. Hasil perbandingan antara kuat rencana dan kuat perlu dalam analisa balok yang ditinjau pada ketiga kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15: Nilai Mu, Mn, Vu, dan Vn balok (B24) pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

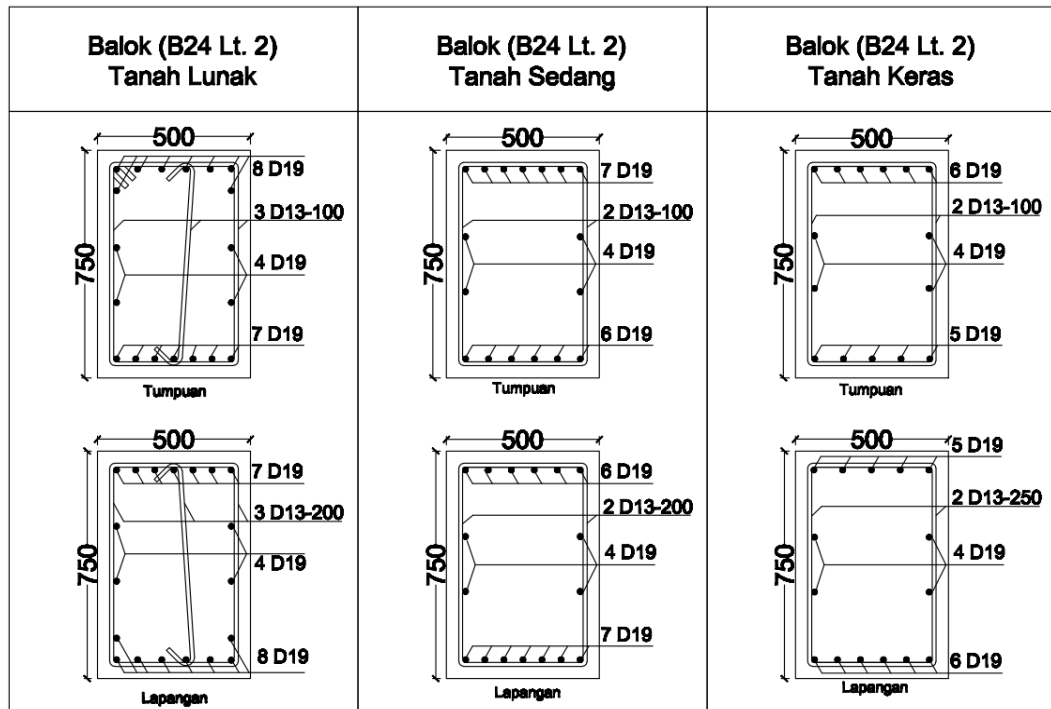
Situs Tanah	Posisi Tulangan		Mu (kNm)	ϕM_n (kNm)	$\phi M_n / Mu$	Vu (kNm)	ϕV_n (kNm)	$\phi V_n / Vu$
SE	Tumpuan	Tul. Lentur atas	-531,38	546,71	1,03			
		Tul. Lentur bawah	454,33	491,25	1,08			
		Tul. Geser				454,18	862,35	1,90
	Lapangan	Tul. Lentur atas	-456,60	491,25	1,08			
		Tul. Lentur bawah	527,70	546,71	1,04			
		Tul. Geser				406,15	671,23	1,65
SD	Tumpuan	Tul. Lentur atas	-438,60	491,25	1,12			
		Tul. Lentur bawah	361,53	424,07	1,17			
		Tul. Geser				382,71	574,89	1,50
	Lapangan	Tul. Lentur atas	-364,00	424,07	1,17			
		Tul. Lentur bawah	435,08	491,25	1,13			
		Tul. Geser				334,28	527,50	1,58
SC	Tumpuan	Tul. Lentur atas	-367,02	424,07	1,16			
		Tul. Lentur bawah	289,98	355,80	1,23			
		Tul. Geser				327,93	574,89	1,75
	Lapangan	Tul. Lentur atas	-292,55	355,89	1,22			
		Tul. Lentur bawah	363,66	424,07	1,17			
		Tul. Geser				278,84	470,01	1,69

Adapun berdasarkan hasil perhitungan balok SRPMK yang berlaku serta menggunakan gaya dalam yang telah diperoleh sebelumnya, didapat dimensi dan tulangan balok pada struktur 10 lantai diatas tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras seperti yang terlihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Rekapitulasi tulangan balok (B24) pada struktur 10 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras.

Posisi tulangan		Situs Tanah		
		SE	SD	SC
Tumpuan	Tul. Lentur atas	8 D 19	7 D 19	6 D 19
	Tul. Torsi	4 D 19	4 D 19	4 D 19
	Tul. Lentur bawah	7 D 19	6 D 19	5 D 19
	Tul. Sengkang	3 D13 - 100	2 D13 - 100	2 D13 - 100
Lapangan	Tul. Lentur atas	7 D 19	6 D 19	5 D 19
	Tul. Torsi	4 D 19	4 D 19	4 D 19
	Tul. Lentur bawah	8 D 19	7 D 19	6 D 19
	Tul. Sengkang	3 D13 - 200	2 D13-200	2 D13-250

Setelah dilakukan analisis *trial error*, di dapat hasil bahwa balok (B24) yang ditinjau pada ketiga model menggunakan dimensi yang sama, yaitu kolom 500 x 750 dengan diameter tulangan D19 untuk tulangan longitudinal dan D13 untuk tulangan trasversal. Jumlah tulangan longitudinal yang dipakai selisih 2 buah D19 pada antar model dan terdapat perbedaan pada jumlah kaki sengkang. Hal ini karena selisih nilai gaya dalam yang dipengaruhi oleh gaya gempa yang bekerja pada struktur. Berikut ini adalah perbandingan gambar detail penampang balok.



Gambar 4.15: Gambar detail penampang dan tulangan balok pada ketiga model.

4.2.8.2 Desain Kolom

Pada kasus ini struktur gedung 10 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras, ketiga kasus struktur gedung ini akan di analisa kolom utama pada posisi yang sama, kemudian akan dilihat perbandingan nilai-nilai gaya dalam dan output penampang yang dihasilkan. Posisi kolom yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3.5. Berdasarkan hasil analisa pada program analisa struktur, gaya dalam elemen kolom pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras yang digunakan dalam desain disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Output gaya dalam kolom (C22 lantai 1) pada model 1, 2 dan 3.

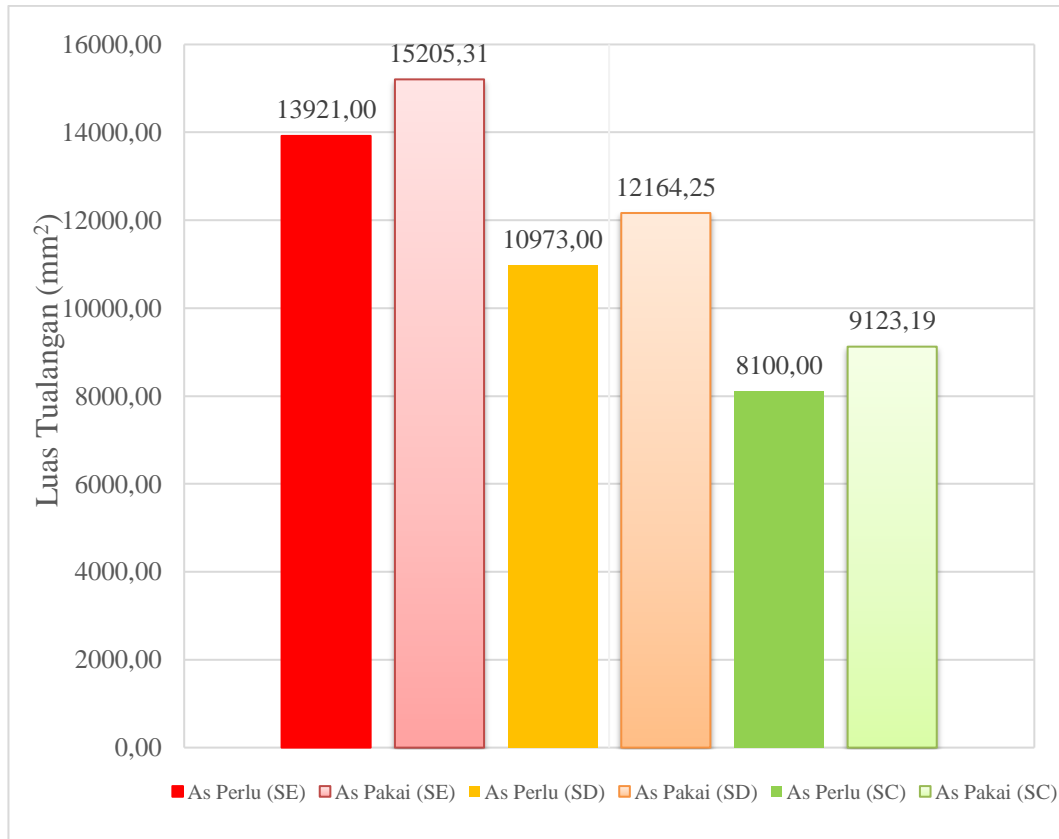
Gaya Dalam	Situs Tanah		
	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
P	-1238,057	-716,371	-317,247
Mx	894,275	729,257	602,808
My	1108,606	887,966	720,628
Vx	482,764	409,275	354,173
Vy	303,658	256,210	220,657

Untuk kebutuhan tulangan perlu (A_s perlu) terbesar dan luas tulangan pakai (A_s pakai) serta rasio yang digunakan dalam desain elemen balok dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18: Nilai A_s & ρ perlu dan A_s & ρ pakai kolom (C22) pada model 1, 2 & 3.

Tulangan longitudinal	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
A_s perlu (mm ²)	13921,00	10973,00	8100,00
A_s pakai (mm ²)	15205,31	12164,25	9123,19
ρ perlu (%)	1,72	1,35	1,00
ρ pakai (%)	1,88	1,50	1,13

Berikut ini adalah grafik dari tabel di atas:



Gambar 4.16: Nilai As perlu dan As pakai kolom pada ketiga model.

Berdasarkan Tabel 4.18 dan Gambar 4.16, dapat dilihat bahwa kebutuhan tulangan perlu dan rasio tulangan perlu terbesar adalah pada tanah lunak (SE), hal ini dipengaruhi oleh gaya dalam pada elemen kolom tersebut yang dapat dilihat pada tabel 4.18. Selain itu dapat disimpulkan bahwa semakin besar gaya yang bekerja pada elemen maka akan berpengaruh pada kebutuhan tulangan yang semakin besar pula, dalam hal ini yang sangat berpengaruh dan menjadi perbedaann antara ketiga kondisi tanah yaitu beban gempanya.

Kolom direncanakan mampu memikul beban yang bekerja, sehingga kuat rencana harus lebih besar dari kuat perlunya. Persyaratan dan aturan desain elemen kolom mengikuti SNI 2847:2019 Pasal 18.7. Untuk detail perhitungan analisa desain kolom dapat dilihat pada Lampiran 11. Hasil perbandingan antara kuat rencana dan kuat perlu dalam analisa kolom yang ditinjau pada ketiga kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19: Nilai μ , M_n , V_u , dan V_n kolom (C22) pada model 1, 2 & 3.

Situs Tanah	Posisi Tulangan		μ (kNm)	ϕM_n (kNm)	ϕM_n / μ	V_u (kNm)	ϕV_n (kNm)
SE	Tumpuan	Longitudinal	1424,34	1864,62	1,31		
		Transversal				2846533	3394886
	Lapangan	Longitudinal	1424,34	1864,62	1,31		
		Transversal				303658	3394886
SD	Tumpuan	Longitudinal	1149,04	1621,53	1,41		
		Transversal				2519571	2843224
	Lapangan	Longitudinal	1149,04	1621,53	1,41		
		Transversal				256210	2843224
SE	Tumpuan	Longitudinal	939,51	1341,12	1,43		
		Transversal				2337496	2824797
	Lapangan	Longitudinal	939,51	1341,12	1,43		
		Transversal				354173	2824797

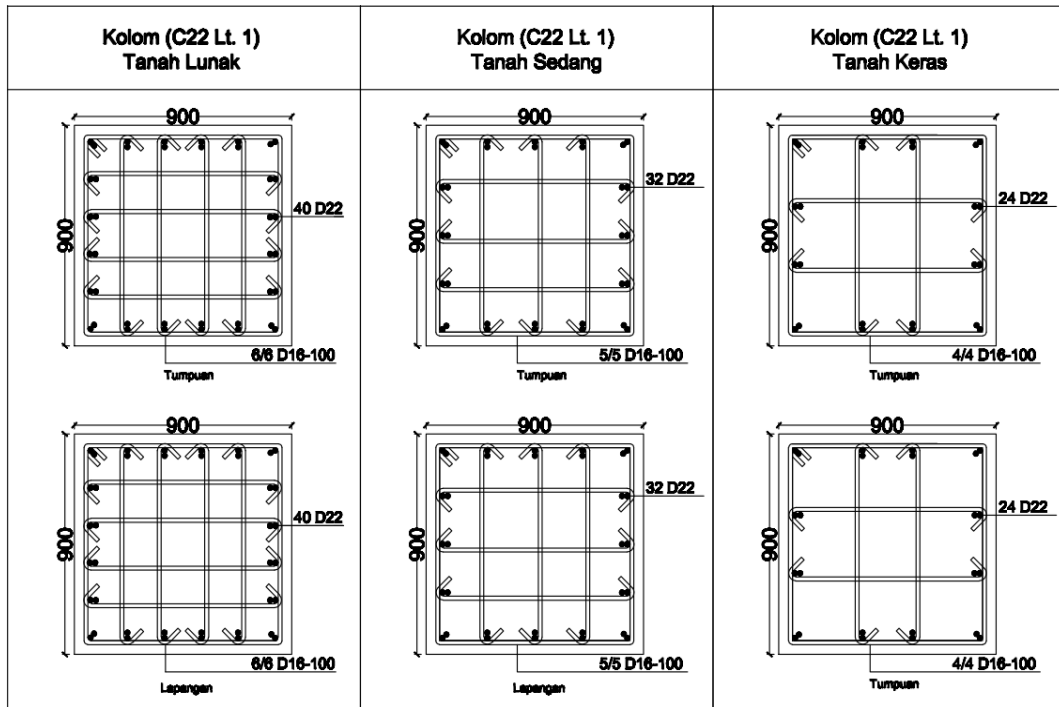
Adapun hasil berdasarkan perhitungan kolom SRPMK sesuai dengan SNI yang berlaku serta menggunakan gaya dalam yang telah diperoleh sebelumnya, didapat dimensi dan tulangan kolom pada struktur gedung 10 lantai diatas tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras seperti yang terlihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20: Rekapitulasi tulangan kolom pada struktur 10 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras.

Posisi tulangan		Situs Tanah		
		Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
Tumpuan	Longitudinal	40 D22	32 D22	24 D22
	Transversal	6/6 D16-100	5/5 D16-100	4/4 D16-100
Lapangan	Longitudinal	40 D22	32 D22	24 D22
	Transversal	6/6 D16-100	5/5 D16-100	4/4 D16-100

Setelah dilakukan analisis dengan *trial error*, di dapat hasil bahwa kolom utama yang ditinjau pada ketiga model menggunakan dimensi yang sama, yaitu kolom 900 x 900 dan diameter tulangan D22 untuk tulangan longitudinal serta D16 untuk tulangan trasversal. Jumlah tulangan longitudinal yang dipakai selisih 8 buah D22 pada antar model dan terdapat perbedaan pada jumlah kaki sengkang. Hal ini karena selisih nilai gaya dalam yang lumayan signifikan, yang dipengaruhi

oleh gaya yang bekerja pada elemen struktur, terutama pada gaya gempa. Berikut ini adalah perbandingan gambar detail penampang kolom.



Gambar 4.17: Gambar detail penampang dan tulangan kolom pada ketiga model.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan struktur gedung kantor 10 lantai menggunakan sistem SRPMK pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras di kota Medan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dimensi penampang yang didesain pada kolom dan balok yang ditinjau adalah balok dan kolom dengan gaya dalam terbesar dari seluruh elemen struktur yang ada dan sudah diperiksa terhadap *strong column weak beam* (SCWB) nya, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

A. Hasil desain balok

- 1) Balok struktur pada tanah lunak yaitu menggunakan dimensi penampang 500 x 750 dengan tulangan longitudinal 19 D19 dan tulangan transversal 3 D13-100 (tumpuan) & 3 D13-200 (lapangan).
- 2) Balok struktur pada tanah sedang yaitu menggunakan dimensi penampang 500 x 750 dengan tulangan longitudinal 17 D19 dan tulangan transversal 2 D13 - 100 (tumpuan) dan 2 D13 - 200 (lapangan).
- 3) Balok struktur pada tanah keras yaitu menggunakan dimensi penampang 500 x 750 dengan tulangan longitudinal 15 D19 dan tulangan transversal 2 D13-100 (tumpuan) & 2D13-250 (lapangan).

B. Hasil desain kolom

- 1) Kolom struktur pada tanah lunak yaitu menggunakan penampang 900 x 900 dengan tulangan longitudinal 40 D22 dan tulangan transversal 5/5 D16 - 100 (tumpuan) dan 5/5 D16 - 100 (lapangan).
- 2) Kolom struktur pada tanah sedang yaitu menggunakan penampang 900 x 900 dengan tulangan longitudinal 32 D22 dan tulangan transversal 4/4 D16 - 100 (tumpuan) dan 4/4 D16 - 100 (lapangan).
- 3) Kolom struktur pada tanah keras yaitu menggunakan penampang 900 x 900 dengan tulangan longitudinal 24 D22 dan tulangan transversal 4/4 D16 - 100 (tumpuan) dan 4/4 D16 - 100 (lapangan).

C. Sesuai hasil yang di dapatkan di atas maka dapat dijadikan rekomendasi bahwa posisi atau kondisi tanah terbaik untuk struktur gedung kantor 10 lantai di kota Medan adalah pada kondisi tanah keras. Karena jika struktur di letakkan pada tanah keras, dimensi struktur gedung dan tulangan akan menjadi lebih efisien dan ekonomis, dengan tanah yang keras akan menghasilkan struktur yang lebih kaku, hal ini dapat dilihat dari data-data tanah yang digunakan untuk perhitungan gaya desain gempa, semakin keras tanah tersebut maka semakin kecil pula nilai data-data tanah tersebut, khususnya nilai parameter spektral respons percepatan desain pada perioda 1 detik (Sd_1), begitu pula sebaliknya.

2. Perbandingan perilaku struktur pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras adalah sebagai berikut:

A. Periode getar alami struktur pada struktur di atas tanah lunak tanah sedang dan tanah keras yaitu 1,285 detik.

B. Nilai koefisien respon seismik (C_s) pakai yaitu:

1) Nilai (C_s) struktur pada tanah lunak adalah 0,069 dan 0,070.

2) Nilai (C_s) struktur pada tanah sedang adalah 0,056 dan 0,057.

3) Nilai (C_s) struktur pada tanah keras adalah 0,046 dan 0,046.

C. Dari nilai C_s yang di gunakan maka menghasilkan gaya geser dasar akibat gempa pada struktur adalah sebagai berikut:

1) Gaya geser dasar struktur di atas tanah lunak adalah 3644,19 kN.

2) Gaya geser dasar struktur di atas tanah sedang adalah 2948,25 kN.

3) Gaya geser dasar struktur di atas tanah keras adalah 2415,47 kN.

D. Simpangan antar tingkat (*story drift*) yang terjadi pada struktur :

1) *Story drift* maksimum struktur di atas tanah lunak adalah 0,037 m.

2) *Story drift* maksimum struktur di atas tanah sedang adalah 0,029 m.

3) *Story drift* maksimum struktur di atas tanah keras adalah 0,023 m.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian ini dengan menambah ketinggian (jumlah tingkat) pada model yang sudah di analisa.
2. Penelitian ini berlokasi di Kota Medan, maka peneliti menyarankan untuk melakukan tinjauan pada lokasi yang berbeda.
3. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan perbandingan dengan sistem struktur selain sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).
4. Tugas akhir ini hanya dilakukan analisa linier, disarankan untuk meninjau terhadap batas platis menggunakan analisis non-linier.
5. Melakukan analisis struktur selain menggunakan *software* ETABS.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansyori, R. (2017). *Disain Elemen Struktur Bangunan Bertingkat dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Khusus*. *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Andalas.
- Afrida, I. (2020). *Analisis Ketahanan Bangunan Gedung Apartemen East Cost Mansion Surabaya dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Respon Spektrum*. Universitas Jember.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. (SNI 2847:2019). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. (SNI 1726:2019). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. (SNI 1727:2019). Jakarta.
- Bowles, J. E. (1988). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga .
- Chu Kia Wang., Charles C Salmon. 1986. *Desain Beton Bertulang*. Erlangga. Jakarta.
- Dewobroto, W. (2012). *Menyongsong Era Bangunan Tinggi dan Bentang Panjang*.
- Faisal, A. & S. M. S. (2007). *Perkiraan Kehancuran Bangunan Rumah Toko di Kota Medan Akibat Skenario Terburuk Gempa Subduksi Nias* (pp. 85–93). *Jurnal Teknologi*.
- Farhan, M. E. (2021). *Studi Perbandingan Analisa Struktur Atap Pada Bangunan Futsal Menggunakan Kuda - Kuda dengan Tipe Howe dan Tipe Rafter*. Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Giatmajaya, W., Sukawati, N. K. S. A., & Darmayasa, I. G. O. (2021). *Analisis Perilaku Struktur Komposit pada Gedung di Atas Tanah Keras, Sedang dan Lunak Akibat Beban Gempa*. *VASTUWIDYA*, 4(1), 1–15.
- Hari. M.S. (2017). *Analisis Struktur Bangunan Baja dengan Sistem Outrigger dan Belt-Truss terhadap Pengaruh Beban Angin dan Beban Gempa*. *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Khairul, F.R. (2019). *Analisis Gedung dengan Pengaruh Interaksi Tanah dengan*

- Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Lesmana, Y. (2020). *Handbook* Prosedur Analisa Beban Gempa Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1726-2019 Edisi Pertama. Penerbit Nas Media Pustaka. Makassar.
- Lesmana, Y. (2020). *Handbook* Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2019 Edisi Pertama. Penerbit Nas Media Pustaka. Makassar.
- Lubis, S. (2017). Perilaku Struktur Gedung Bertingkat yang Memikul Massa Tidak Seragam Perlantai terhadap Beban Gempa Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Pamungkas, A. (2021). Contoh Laporan Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang. Deepublish. Malang.
- Paulay, T. (1992). *Seismic Design in Reinforced Concrete and Masonry Building*. New York: John Wiley and Song Inc.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan*. Universitas Islam Indonesia.
- Rahmasari, P., Lestyowati, Y., & Gatot, B. S. (2017). Analisis Perhitungan Struktur Gedung Pendidikan Fakultas Mipa Universitas Tanjungpura Pontianak. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 4(4).
- Rahmawan, D. (2015). Analisis Kinerja Model Gedung Tidak Beraturan 5 Lantai Di Wilayah Barlingmascakeb Pada Kondisi Tanah *Proposal Tugas Akhir*. https://www.academia.edu/download/45261676/7._Proposal_Tugas_Akhir_DR.pdf
- Satyarno, I. (2010). Evaluasi Dan Tindakan Pengurangan Kerentanan Bangunan Dalam Rangka Mitigasi Bencana Gempa. *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar*.
- Supriatna L., & Budiono B. (2011). Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726 - 201X. ITB, Bandung.
- Triono, A., & Tri, U. P. (2003). Analisis dan Desain Struktur Beton Bertingkat Banyak Daktalitas Penuh di Atas Tanah Lunak di Wilayah Gempa 3 dan 4. *Skripsi*.
- Tumilar, S. (2006). Pelatihan Perencanaan Struktur Bangunan Tinggi. (Hal. 12) PT. Arkonin, Jakarta,

Lampiran 1

Perhitungan Beban Mati Tambahan

Rencana beban tambahan untuk beban mati pada semua model adalah sama, baik beban tambahan pelat lantai, beban dinding beban tangga, dan beban lift.

1. Beban Mati Tambahan pada Plat Lantai

Berikut ini merupakan analisa beban tambahan pada plat lantai untuk lantai dak (lantai atap) dan plat lantai selain dak (lantai atap).

a. Beban mati tambahan pada plat lantai selain dak (lantai 1-14)

1) Spesi lt. keramik (t=2cm)	= 42 kg/m ²	= 0,42 kN/m ²
2) Penutup lantai keramik	= 24 kg/m ²	= 0,24 kN/m ²
3) Plafon + Penggantung	= 18 kg/m ²	= 0,18 kN/m ²
4) ME	= 60 kg/m ²	= 0,60 kN/m ²
Total beban mati	= 144 kg/m ²	= 1,44 kN/m ²

b. Beban mati tambahan pada lantai dak/ atap (lantai 15)

1) Spesi (t = 2cm)	= 42 kg/m ²	= 0,42 kN/m ²
2) Plafond + penggantung	= 18 kg/m ²	= 0,18 kN/m ²
3) Waterproof	= 5 kg/m ²	= 0,05 kN/m ²
4) ME	= 60 kg/m ²	= 0,60 kN/m ²
Total beban mati	= 125 kg/m ²	= 1,25 kN/m ²

2. Beban Dinding (pada Balok Tepi/ Terluar Struktur)

Berikut ini merupakan perhitungan beban dinding yang dibedakan menjadi beban dinding untuk lantai 1, lantai 2 – 14 dan lantai 15 (atap).

a. Dinding Lt. 1 (h antar lantai = 4m)

Dinding batako tanpa lubang (15cm)	= 300 kg/m ²
Beban garis	= $300 \cdot \frac{1}{2} \cdot (4+3,5)$
	= 1,125 ton/m
	= 11,033 kN/m

b. Dinding Lt. 2-10 ($h_{\text{antar lantai}} = 3,5\text{m}$)

$$\text{Dinding batako tanpa lubang (15cm)} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban garis} &= 300 * \frac{1}{2} * (3,5 + 3,5) \\ &= 1,050 \text{ ton/m} \\ &= 10,297 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

c. Dinding Lt. 10 ($h_{\text{antar lantai}} = 3,5\text{m}$)

$$\text{Dinding batako tanpa lubang (15cm)} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban garis} &= 300 * \frac{1}{2} * (3,5 + 0) \\ &= 0,525 \text{ ton/m} \\ &= 5,148 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

d. Dinding Penthouse ($h_{\text{antar lantai}} = 2,5\text{m}$)

$$\text{Dinding batako tanpa lubang (15cm)} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban garis} &= 300 * (2,5) \\ &= 0,750 \text{ ton/m} \\ &= 7,50 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

3. Beban Lift

A. Beban dari mesin lift dan *hoistway* (ruangan lift)

Beban lift dihitung sebagai beban mati terpusat dan diletakkan pada balok yang paling mempengaruhi struktur untuk mendapatkan beban maksimal.

Terdapat 2 hal yang harus dipenuhi, yaitu:

1) Beban yang bekerja pada balok penumpu.

Beban ini merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift, berat kereta, perlengkapan (R1) dan berat bandul pemberat, serta perlengkapan (R2).

2) Koefisien kejut oleh keran.

Dalam PPUIG 1983, beban keran yang membebani struktur perilakunya terdiri dari berat sendiri keran ditambah dengan muatan yang diangkatnya. Sebagai beban rencana, harus diambil beban keran dikali dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan menurut persamaan berikut:

$$\Psi = (1+k_1 \cdot k_2 \cdot v) \geq 1,15$$

Dimana:

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

V = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/det.

k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, dimana untuk keran induk struktur rangka, pada umumnya nilainya diambil sebesar 0,6.

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya dan dapat diambil sebagai berikut:

- Mesin listrik biasa dengan sifat sejenis, $k_2 = 1,0$.
- Mesin sangkar sinkron dan mesin sejenis dengan kopling, $k_2 = 1,3$.
- Mesin dengan pembatas kecepatan otomatis:
 - Dengan alat cengkeram, $k_2 = 0,75$.
 - Dengan alat kait, $k_2 = 0,50$.

Dalam hal ini, nilai k_2 diambil = 1,3.

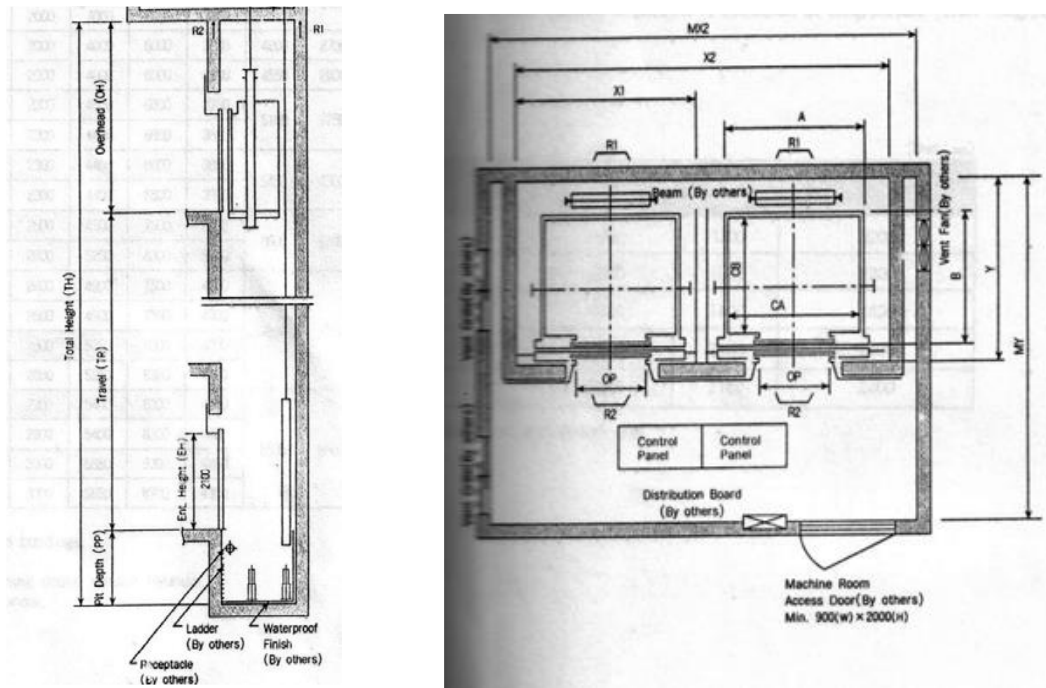
Tabel L1.1: Data spesifikasi lift dari Hyundai Elevator Co., Ltd.

Persons	Load Capacity	Car size A x B (mm)	Clear opening OP (mm)	Hoistway X2 x Y (mm)	Pit P (mm)	Overhead OH (mm)	Speed (m/s)
13	900 kg	1660 x 1505	900	4200 x 2000	1500	4500	1

Tabel L1.2: Data spesifikasi lift dari Hyundai Elevator Co., Ltd.

MX2 x MY (mm)	Reaction	
	R1 (kg)	R2 (kg)
6000 x 4000	5100	3750

Section of Hoistway



Gambar L1.1: Denah dan potongan lift.

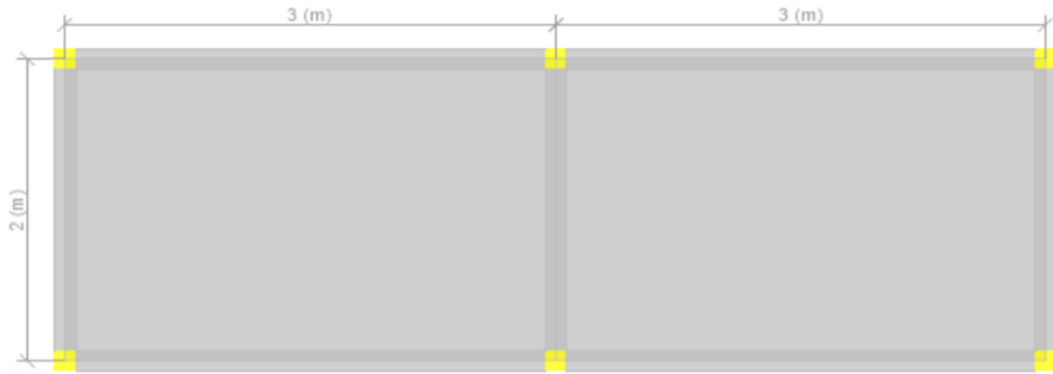
Maka, beban yang bekerja pada balok penumpu adalah:

$$\begin{aligned}
 P &= \Sigma R \cdot \psi \\
 &= (5100 + 3750) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\
 &= 15753 \text{ kg} \\
 &= 157,53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

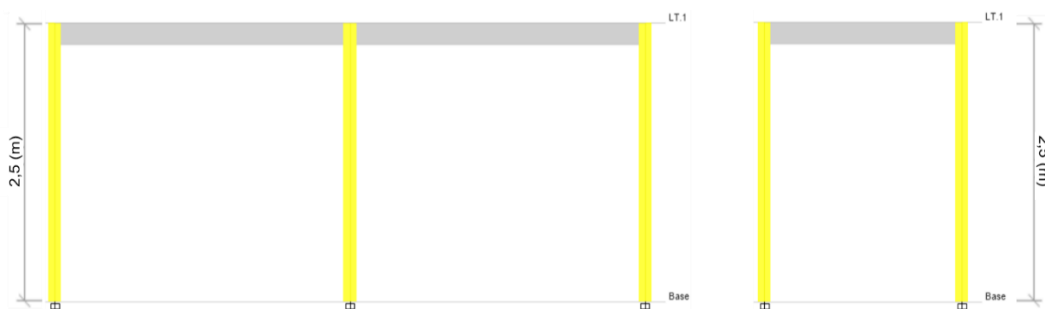
Beban P diletakkan di tengah bentang balok penumpu yang merupakan tempat yang paling mempengaruhi struktur untuk mendapatkan beban maksimal.

B. Beban dari penthouse (ruangan untuk mesin penggerak lift yang berada di lantai atap)

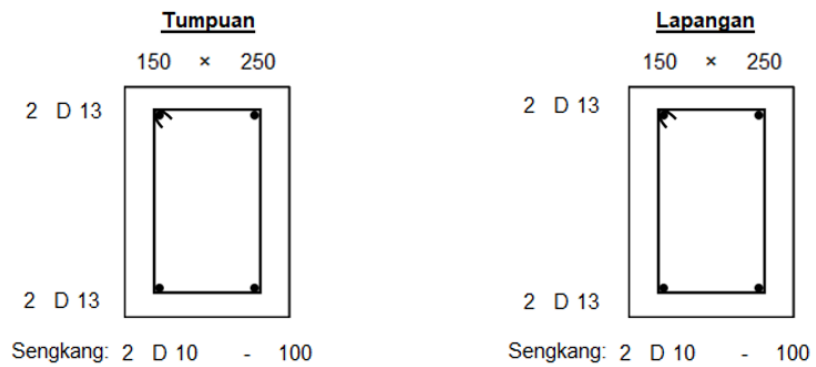
Beban penthouse diambil dari perhitungan secara terpisah dari struktur utama, lalu diambil berat struktur penthouse kemudian diinputkan ke struktur utama. Berikut ini adalah dimensi penthouse, balok, kolom, dan hasil berat dari penthouse yang dijadikan sebagai beban terpusat dan beban terbagi merata.



Gambar L1.2: Denah penthouse.



Gambar L1.3: Potongan rangka struktur penthouse.

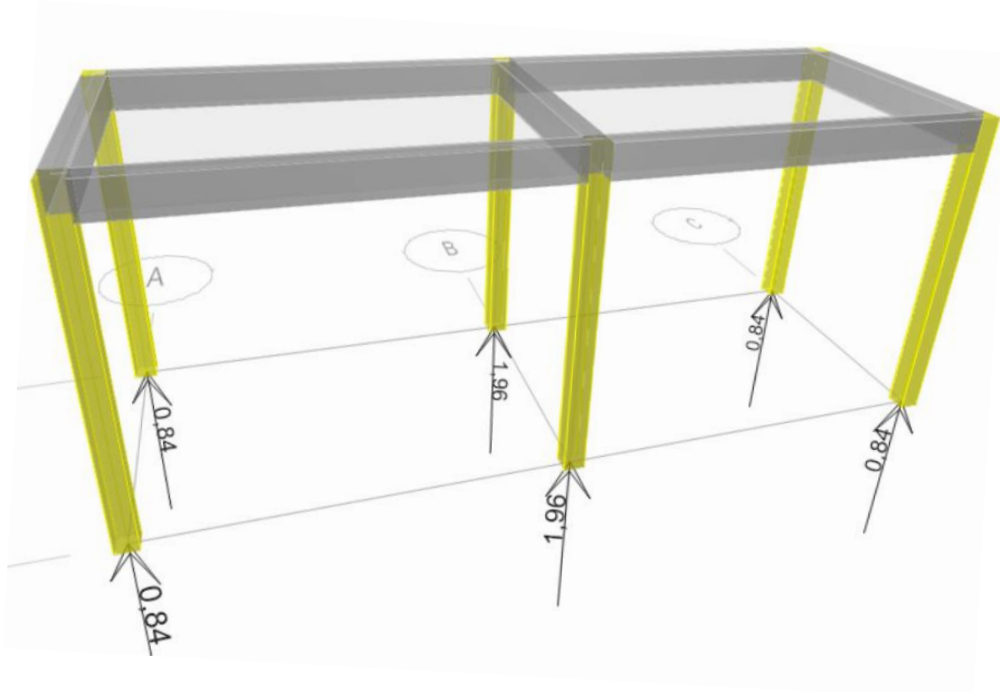


Gambar L1.4: Dimensi balok penthouse



Gambar L1.5: Dimensi kolom penthouse

Dari dimensi ruangan penthouse dan dimensi elemen struktur yang dimodelkan, serta beban yang sudah diinputkan pada struktur penthouse, maka didapatkan berat struktur penthouse seperti Gambar L1.6.



Gambar L1.6: Reaksi (kg) / beban dari struktur penthouse

Lampiran 2

1. Perhitungan Beban Hidup

Nilai beban hidup yang digunakan terdapat pada Tabel L2.1.

Tabel L2.1: Beban hidup area berdasarkan Tabel 4.3.1 SNI 1727:2020.

Beban Hidup L_o				
Plat lantai	240	Kg/m ²	2,40	kN/m ²
Plat atap/ dak	96	Kg/m ²	0,96	kN/m ²
Plat tangga & bordes	479	Kg/m ²	4,79	kN/m ²

Sesuai dengan Pasal 4.7 SNI 1727:2020 bahwa selain beban hidup merata pada atap, semua beban terdistribusi merata minimum lainnya, L_o dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020 dapat direduksi sesuai ketentuan.

Pada beban hidup merata, komponen struktur yang memiliki nilai K_{LLA_T} adalah 400 ft² (36.16 m²) atau lebih diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi sesuai dengan:

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LLA_T}}} \right) \quad (\text{dalam SI})$$

Dimana:

L = beban hidup desain tereduksi per ft² (m²) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

L_o = beban hidup desain tanpa reduksi per ft² (m²) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

K_{LL} = faktor elemen beban hidup (Tabel 4.7-1, SNI 1727:2020)

A_T = luas tributary dalam ft² (m²)

Dalam hal ini, L tidak boleh kurang dari 0,5 L_o untuk struktur yang mendukung satu lantai, L tidak boleh kurang dari 0,4 L_o untuk struktur yang mendukung dua lantai atau lebih.

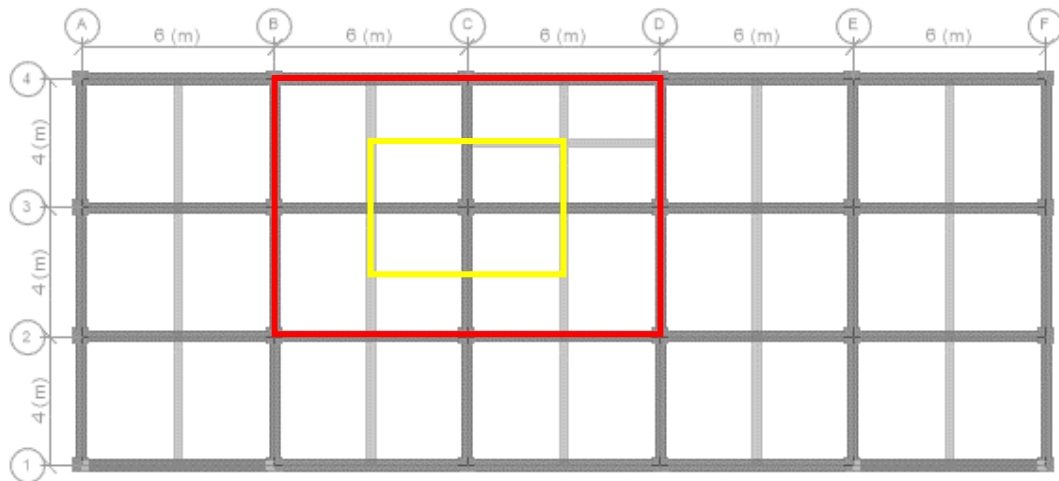
Komponen struktur yang memiliki nilai $K_{LL.A_T}$ adalah 400 ft² (37,16 m²) atau lebih diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi.

Dimana

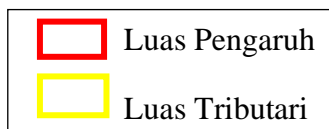
K_{LL} = faktor elemen beban hidup

A_T = luas tributari dalam ft² (m²)

Faktor KLL adalah rasio luas pengaruh (AI) dari komponen struktur terhadap luas tributarynya (AT), yaitu, $KLL = AI / AT$, dan digunakan untuk lebih mendefinisikan area pengaruh komponen struktur sebagai fungsi dari luas tributarynya. Gambar L2.1 mengilustrasikan area pengaruh tipikal dan area tributary untuk suatu struktur dengan jarak bentang yang teratur.



Gambar L2.1: Luas pengaruh dan luas tributary tipikal.



$$\begin{aligned}
 K_{LL} &= \frac{AI}{AT} \\
 &= \frac{12 \times 8}{6 \times 4} \\
 &= 4 \text{ (Kolom Interior } K_{LL} = 4)
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 K_{LL} \cdot A_T &= 4 \times 24 \\
 &= 96
 \end{aligned}$$

Jika $K_{LL} \cdot A_T \geq 400 \text{ft}^2$ ($37,16 \text{ m}^2$)

$$96 \text{ m}^2 \geq 37,16 \text{ m}^2$$

Maka, beban hidup diizinkan untuk direduksi sesuai rumus di pasal 4.7.2 SNI 1727:2020 yaitu

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right)$$

$$L = 2,4 \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{96}} \right)$$

$$L = 1,719 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga nilai beban hidup setelah di reduksi menjadi seperti yang ditunjukkan pada Tabel L2.2.

Tabel L2.2: Beban hidup area setelah direduksi.

Beban Hidup L_o				
Plat lantai	172	Kg/m ²	1,72	kN/m ²
Plat atap/ dak	96	Kg/m ²	0,96	kN/m ²
Plat tangga & bordes	479	Kg/m ²	4,79	kN/m ²

2. Beban Hidup Tangga

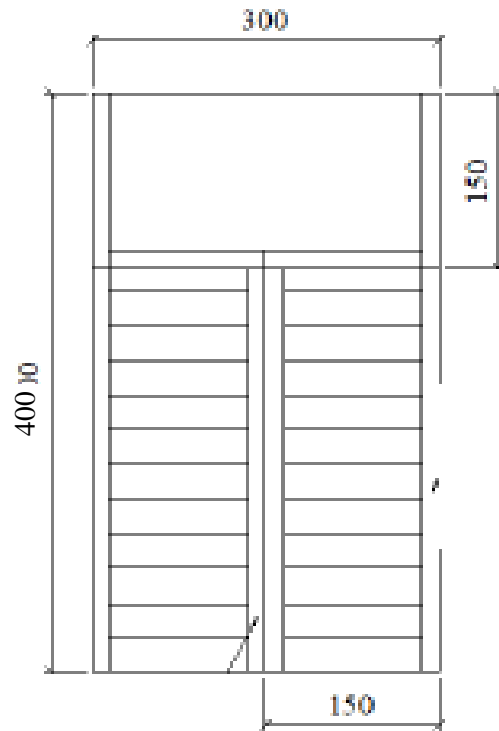
Berikut ini merupakan dimensi dan detail tangga yang dibedakan menjadi beban tangga dari *base* ke lantai 1 dan beban tangga dari lantai 1 ke lantai 10 (atap).

Tabel L2.3: Data perencanaan tangga dari *base* ke lantai 1.

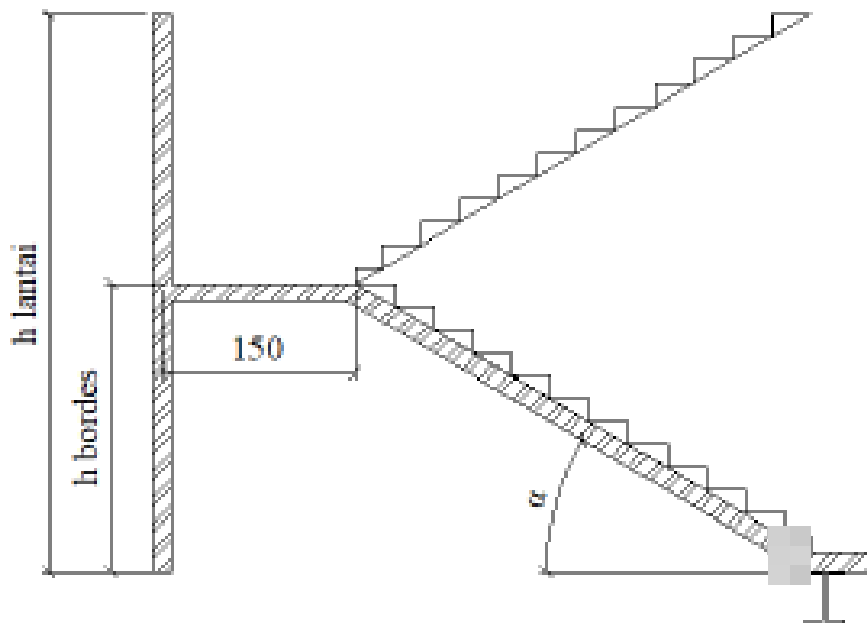
Data Perencanaan	Panjang (m)
Tinggi antar lantai ke bordes	2 m
Lebar tangga	1,5 m
Lebar bordes	1,5 m
Panjang bordes	3 m
Tebal pelat	0,15 m
Kemiringan (α)	38,66 ^o
<i>Optrade</i>	0,22 m
<i>Antrade</i>	0.28 m

Tabel L2.4: Data perencanaan tangga dari lantai 1 ke lantai 10.

Data Perencanaan	Panjang (m)
Tinggi antar lantai ke bordes	1,75 m
Lebar tangga	1,5 m
Lebar bordes	1,5 m
Panjang bordes	3 m
Tebal pelat	0,15 m
Kemiringan (α)	34,99 ^o
<i>Optrade</i>	0,19 m
<i>Antrade</i>	0.28 m



Gambar L2.2: Denah perencanaan tangga.

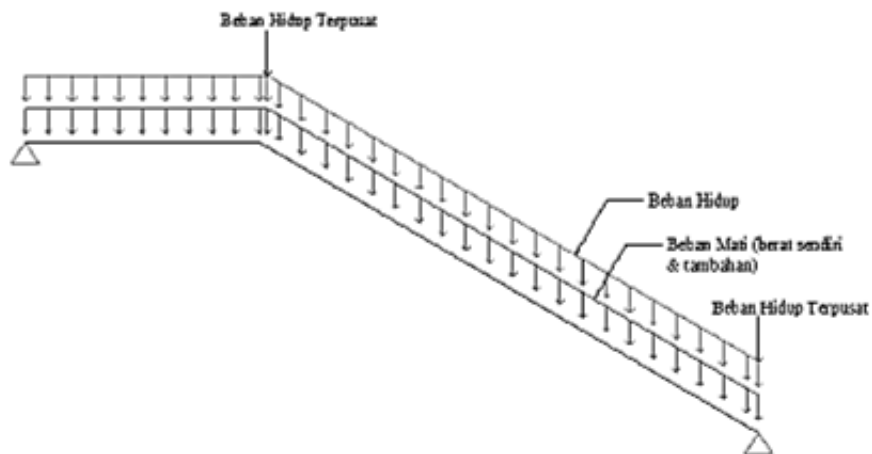


Gambar L2.3: Tampak potongan samping perencanaan tangga.

Berbeda dengan beban mati tangga, perhitungan beban hidup tangga digabung menjadi satu bagian, karena beban hidup untuk tangga pada *base* ke lantai 10 nilainya sama, yaitu:

- a. Beban hidup tangga
 $L = 479 \text{ kg/m}^2$ (Tabel 4.3.1 SNI 1727:2020) dimana beban ini akan diubah menjadi beban per satuan panjang.
- b. Beban pegangan tangga
 $P = 0,89 \text{ kN}$ (Pasal 4.5.1 SNI 1727:2020) beban ini diletakkan pada setiap titik pegangan tangga.

Beban mati dan beban hidup tangga didistribusikan ke sepanjang pelat tangga dan bordes sebagai beban yang akan diinput ke program analisa struktur. Skema pembebanan untuk input ke program analisa struktur yaitu seperti pada Gambar L2.4.



Gambar L2.4: Skema pembebanan pada tangga.

Lampiran 3

Perhitungan Beban Angin

Model struktur 1, 2, dan 3 ($h = 35,5\text{m}$).

1. Kecepatan Angin

Jarak = 23,2 km
Kecepatan (V) = 22 km/jam (Pasal 26.5)
= 6,11 m/s dari data BMKG/ BPS Kota Medan
= 13,67 mph

2. Faktor Arah Angin

Faktor arah angin, K_d = 0,85 (SPGAU) (Tabel 26.6-1)

3. Eksposur

Kekasaran permukaan = B (Pasal 26.7.2)
Eksposur = C (Pasal 26.7.3)

4. Faktor Topografi

Struktur tidak memenuhi semua kondisi, maka $K_{zt} = 1$ (26.8.2)

5. Faktor Elevasi Permukaan Tanah

Elevasi tanah di atas permukaan laut, z_g = 38m (BMKG/ BPS Kota Medan)
Faktor elevasi permukaan tanah, K_e = 1 (Pasal 26.9)

6. Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, K_h dan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah, z = 35,5m
 K_z dan K_h = 1,31 (Tabel 26.10-1)

7. Faktor Hembusan Angin

Faktor hembusan angin, G = 0,85 (Pasal 26.11.1)

8. Koefisien Tekanan Internal, G_{cpi}

Klasifikasi = bangunan tertutup
 G_{cpi} datang = -0,18 (Tabel 26.13-1)
 G_{cpi} pergi = -0,18 (Tabel 26.13-1)

9. Koefisien tekanan dinding, C_p

$$L/B = 30/12 = 2,5$$

$$\text{Sisi angin datang} = 0,8 \text{ (Gambar 27.3-1)}$$

$$\text{Sisi angin pergi} = -0,325 \text{ (Interpolasi) (Gambar 27.3-1)}$$

10. Tekanan Velositas q_z

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (pasal 26.10.2)}$$

$$= 0,613 (1,31)(1)(0,85)(1)(6,11^2)$$

$$= 25,48 \text{ N/m}^2$$

11. Beban Angin

Dengan demikian untuk menentukan sisi angin datang (windward) :

$$P_{\text{datang}} = qGC_p - q(GC_{pi})$$

$$= 25,48 (0,85)(0,8) - (25,48)(-0,18)$$

$$= 21,91 \text{ N/m}^2$$

Untuk sisi angin pergi (Leeward) :

$$P_{\text{pergi}} = qGC_p - q(GC_{pi})$$

$$= 25,48 (0,85)(-0,325) - (25,48)(-0,18)$$

$$= -2,45 \text{ N/m}^2$$

12. Beban Angin Desain Final

Besaran terpaan angin pada arah X

$$P_{1x} \text{ datang} = P \cdot h \cdot P_{\text{datang}}$$

$$P \text{ (Panjang)} = 4 \text{ m}$$

$$P_{1x} \text{ datang (} h_1 = 4 \text{ m)} = 0,351 \text{ kN}$$

$$P_{2x} \text{ datang (} h_2 = 7,5 \text{ m)} = 0,657 \text{ kN}$$

$$P_{3x} \text{ datang (} h_3 = 11 \text{ m)} = 0,964 \text{ kN}$$

$$P_{4x} \text{ datang (} h_4 = 14,5 \text{ m)} = 1,271 \text{ kN}$$

$$P_{5x} \text{ datang (} h_5 = 18 \text{ m)} = 1,578 \text{ kN}$$

$$P_{6x} \text{ datang (} h_6 = 21,5 \text{ m)} = 1,884 \text{ kN}$$

$$P_{7x} \text{ datang (} h_7 = 25 \text{ m)} = 2,191 \text{ kN}$$

$$P_{8x} \text{ datang (} h_8 = 28,5 \text{ m)} = 2,498 \text{ kN}$$

$$P_{9x} \text{ datang (} h_9 = 32 \text{ m)} = 2,804 \text{ kN}$$

$$P_{10x} \text{ datang (} h_{10} = 35,5 \text{ m)} = 3,111 \text{ kN}$$

$$P_{1x} \text{ pergi} = P \cdot h \cdot P \text{ pergi}$$

$$P \text{ (Panjang)} = 4 \text{ m}$$

$$P_{1x} \text{ pergi (} h_1 = 4 \text{ m)} = -0,039 \text{ kN}$$

$$P_{2x} \text{ pergi (} h_2 = 7,5 \text{ m)} = -0,074 \text{ kN}$$

$$P_{3x} \text{ pergi (} h_3 = 11 \text{ m)} = -0,108 \text{ kN}$$

$$P_{4x} \text{ pergi (} h_4 = 14,5 \text{ m)} = -0,142 \text{ kN}$$

$$P_{5x} \text{ pergi (} h_5 = 18 \text{ m)} = -0,176 \text{ kN}$$

$$P_{6x} \text{ pergi (} h_6 = 21,5 \text{ m)} = -0,211 \text{ kN}$$

$$P_{7x} \text{ pergi (} h_7 = 25 \text{ m)} = -0,245 \text{ kN}$$

$$P_{8x} \text{ pergi (} h_8 = 28,5 \text{ m)} = -0,279 \text{ kN}$$

$$P_{9x} \text{ pergi (} h_9 = 32 \text{ m)} = -0,314 \text{ kN}$$

$$P_{10x} \text{ pergi (} h_{10} = 35,5 \text{ m)} = -0,348 \text{ kN}$$

Besaran terpaan angin pada arah Y

$$P_{1y} \text{ datang} = P \cdot h \cdot P \text{ datang}$$

$$P \text{ (Panjang)} = 6 \text{ m}$$

$$P_{1y} \text{ datang (} h_1 = 4 \text{ m)} = 0,526 \text{ kN}$$

$$P_{2y} \text{ datang (} h_2 = 7,5 \text{ m)} = 0,986 \text{ kN}$$

$$P_{3y} \text{ datang (} h_3 = 11 \text{ m)} = 1,446 \text{ kN}$$

$$P_{4y} \text{ datang (} h_4 = 14,5 \text{ m)} = 1,906 \text{ kN}$$

$$P_{5y} \text{ datang (} h_5 = 18 \text{ m)} = 2,366 \text{ kN}$$

$$P_{6y} \text{ datang (} h_6 = 21,5 \text{ m)} = 2,826 \text{ kN}$$

$$P_{7y} \text{ datang (} h_7 = 25 \text{ m)} = 3,287 \text{ kN}$$

$$P_{8y} \text{ datang (} h_8 = 28,5 \text{ m)} = 3,747 \text{ kN}$$

$$P_{9y} \text{ datang (} h_9 = 32 \text{ m)} = 4,207 \text{ kN}$$

$$P_{10y} \text{ datang (} h_{10} = 35,5 \text{ m)} = 4,667 \text{ kN}$$

$$P_{1y} \text{ pergi} = P \cdot h \cdot P \text{ pergi}$$

$$P \text{ (Panjang)} = 6 \text{ m}$$

$$P_{1y} \text{ pergi (} h_1 = 4 \text{ m)} = -0,059 \text{ kN}$$

$$P_{2y} \text{ pergi (} h_2 = 7,5 \text{ m)} = -0,110 \text{ kN}$$

$$P_{3y} \text{ pergi (} h_3 = 11 \text{ m)} = -0,162 \text{ kN}$$

$$P_{4y} \text{ pergi (} h_4 = 14,5 \text{ m)} = -0,213 \text{ kN}$$

$$P_{5y} \text{ pergi (} h_5 = 18 \text{ m)} = -0,265 \text{ kN}$$

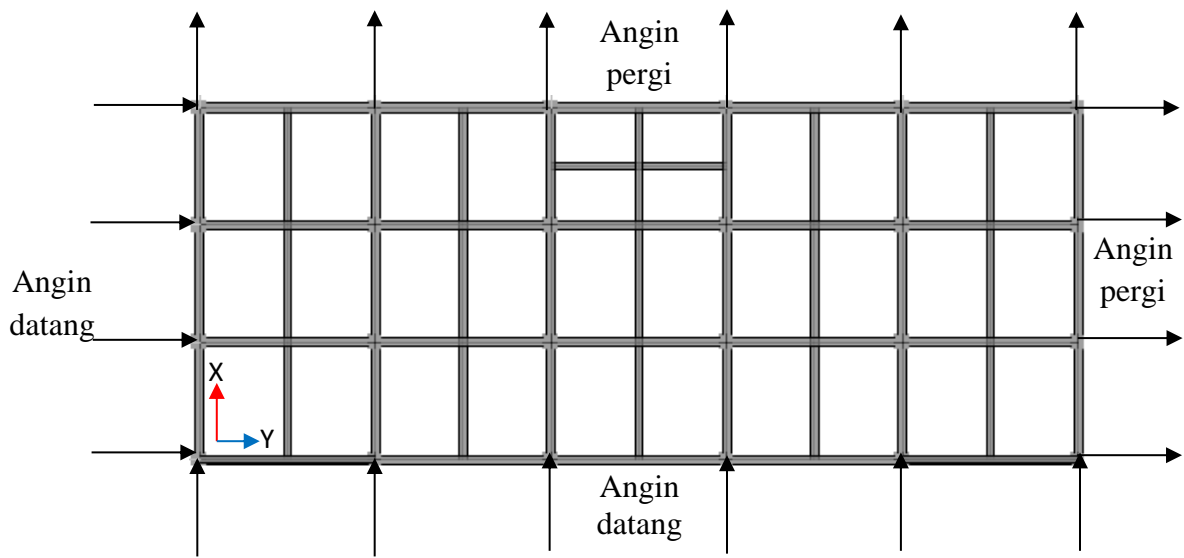
$$P_{6y} \text{ pergi (} h_6 = 21,5 \text{ m)} = -0,316 \text{ kN}$$

$$P_{7y} \text{ pergi (} h_7 = 25 \text{ m)} = -0,368 \text{ kN}$$

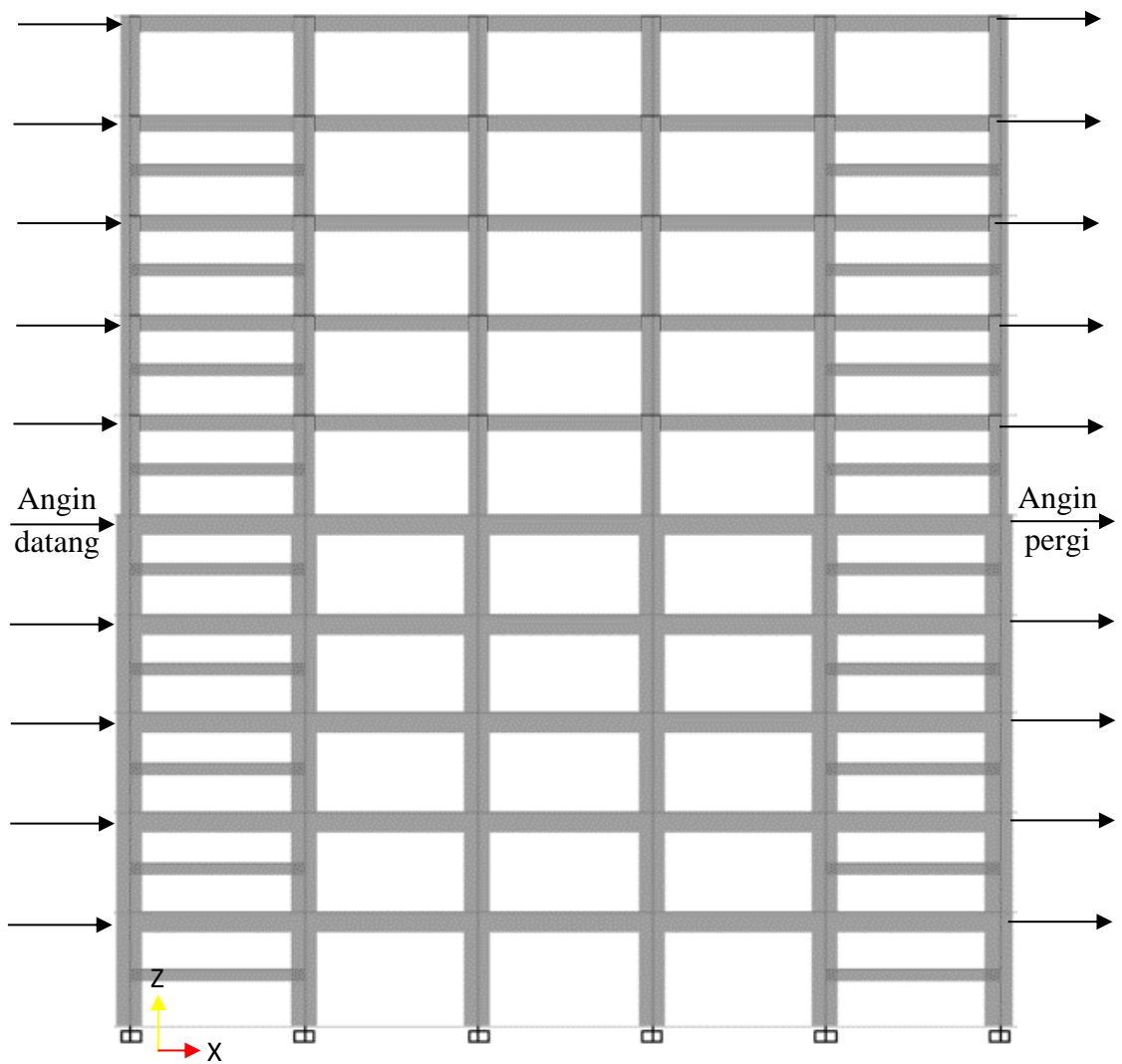
$$P_{8y} \text{ pergi (} h_8 = 28,5 \text{ m)} = -0,419 \text{ kN}$$

$$P_{9y} \text{ pergi (} h_9 = 32 \text{ m)} = -0,470 \text{ kN}$$

$$P_{10y} \text{ pergi (} h_{10} = 35,5 \text{ m)} = -0,522 \text{ kN}$$



Gambar L3.1: Beban angin tampak atas.



Gambar L3.2: Beban angin tampak samping.

Lampiran 4

A. Perhitungan Beban Gempa

Berikut ini hanya melampirkan detail perhitungan data beban gempa pada tanah lunak. Untuk data beban gempa pada tanah sedang dan tanah keras disajikan dalam bentuk tabel.

1. Umum

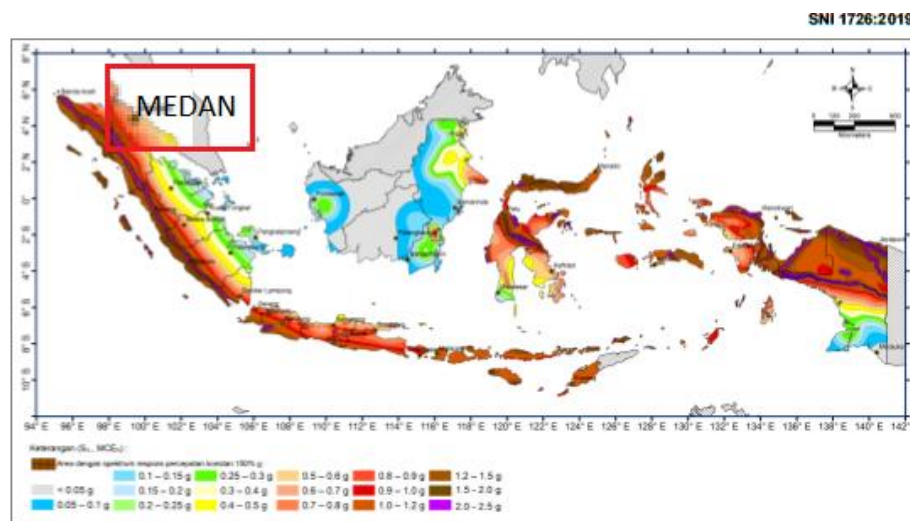
Fungsi bangunan : Apartemen/ Kantor
Jumlah tingkat : 10 lantai
Lokasi : Medan
Kategori resiko : II (Tabel 3 SNI 1726-2019, hal. 24)
Kelas situs tanah : SE (Tanah Lunak)

2. Faktor Keutamaan Gempa

Tabel L4.1: Faktor keutamaan gempa (Tabel 4, SNI 1726-2019, hal 25).

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

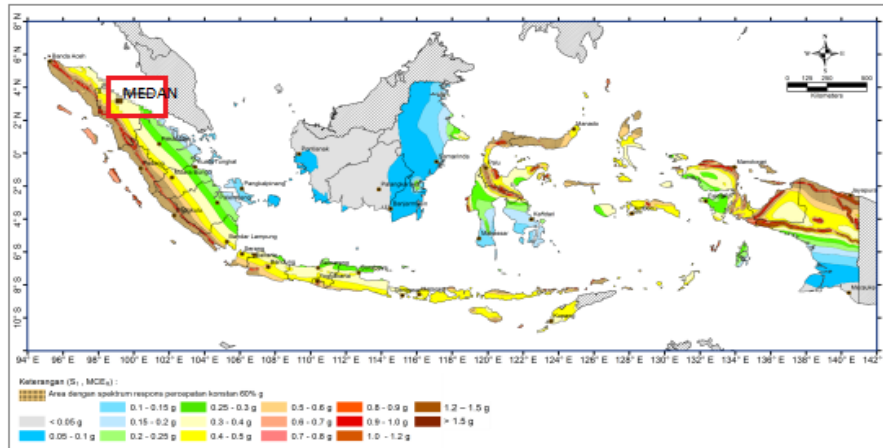
3. Parameter Percepatan Gempa



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_w gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCEs) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

Gambar L4.1: Peta parameter S_s untuk daerah Medan.

Percepatan gempa untuk periode pendek (S_s) kota Medan = 0,901686 g



Gambar L4.2: Peta parameter S_1 untuk daerah Medan.

Percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1) kota Medan = 0,468585 g

4. Koefisien Situs

Tabel L4.2: Koefisien situs (F_a) (Tabel 6 SNI 1726-2019, hal. 34).

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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	SS ^(a)					

Rumus interpolasi : $1,1 + \left(\frac{1-0,90}{1-0,75} \right) (1,3 - 1,1) = 1,17865$

Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode pendek (F_a) = 1,179

Tabel L4.3: Koefisien situs, F_v (Tabel 7, SNI 1726-2019, hal. 34-35).

Kelas situs	Parameter respons spektral 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
SF	SS ^(a)					

$$\text{Rumus interpolasi : } 2,2 + \left(\frac{0,5-0,46}{0,5-0,40} \right) (2,4 - 2,2) = 2,26283$$

Faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v) = 2,263

5. Parameter Respon Spektral

Parameter respon spectral percepatan periode pendek

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,17865 \cdot 0,901686 = 1,063 \text{ g}$$

Parameter respon spectral percepatan periode 1 detik

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 2,26283 \cdot 0,468585 = 1,060 \text{ g}$$

6. Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spectral desain periode pendek

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0,709 \text{ g}$$

Parameter percepatan spectral desain periode 1 detik

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0,707 \text{ g}$$

7. Kategori Desain Seismik

Tabel L4.4: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek. (Tabel 8, SNI 1726-2019, hal. 37).

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

KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek = D

Tabel L4.5: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik. (Tabel 9, SNI 1726-2019, hal. 37).

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

KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik = D

8. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 2847-2019, Penjelasan Pasal 18.2, hal. 361 dan SNI 1726-2019 Tabel 12, (hal. 49) sistem pemikul gaya seismik rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK)

Koefisien modifikasi respon, R : 8

Factor kuat lebih sistem, Ω_o : 3

Factor pembesaran defleksi, C_d : $5\frac{1}{2}$

Faktor redundansi, ρ : 1,3 (Lihat Lampiran 5 Koreksi faktor redundansi)

9. Spektrum Respon Desain

Tata cara perhitungan spectrum respon desain Pasal 6.4, SNI 1726-2019, hal. 35 :

1. Menghitung nilai percepatan S_a , untuk periode $T < T_0$

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

2. Menghitung nilai S_a , untuk rentang periode $T_0 < T < T_s$

Pada rentang ini nilai S_a adalah konstan sesuai nilai S_{DS} .

3. Menghitung nilai S_a , untuk rentang periode $T_s < T < T_L$

Pada rentang ini, nilai S_a adalah:

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

4. Menghitung nilai S_a , untuk rentang periode $T > T_L$

Pada rentang ini, nilai S_a adalah:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Ket:

S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar alami fundamental

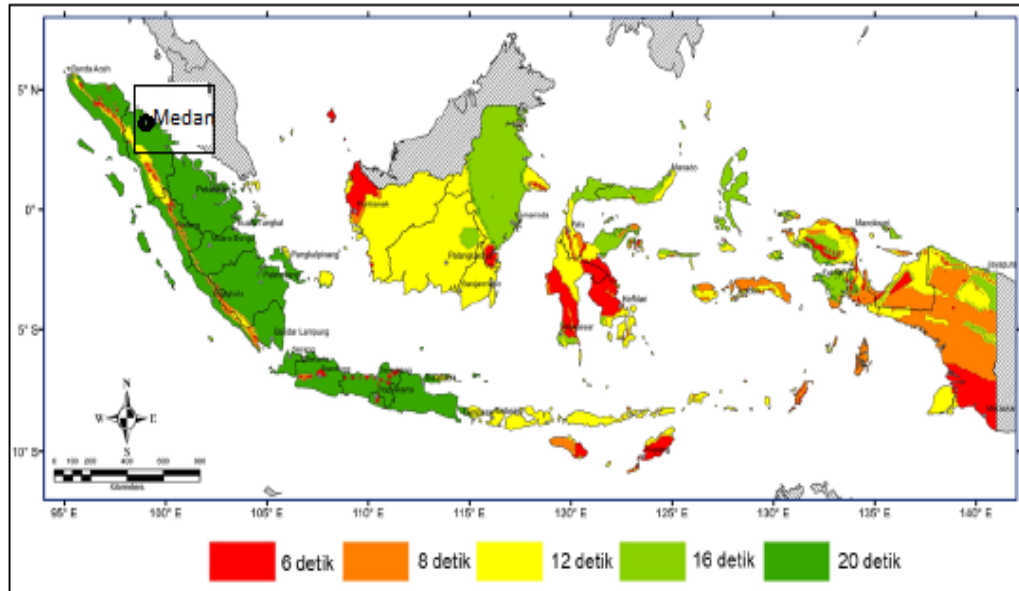
Untuk penentuan nilai T , T_0 , T_s , dan T_L adalah sebagai berikut:

T = periode fundamental struktur

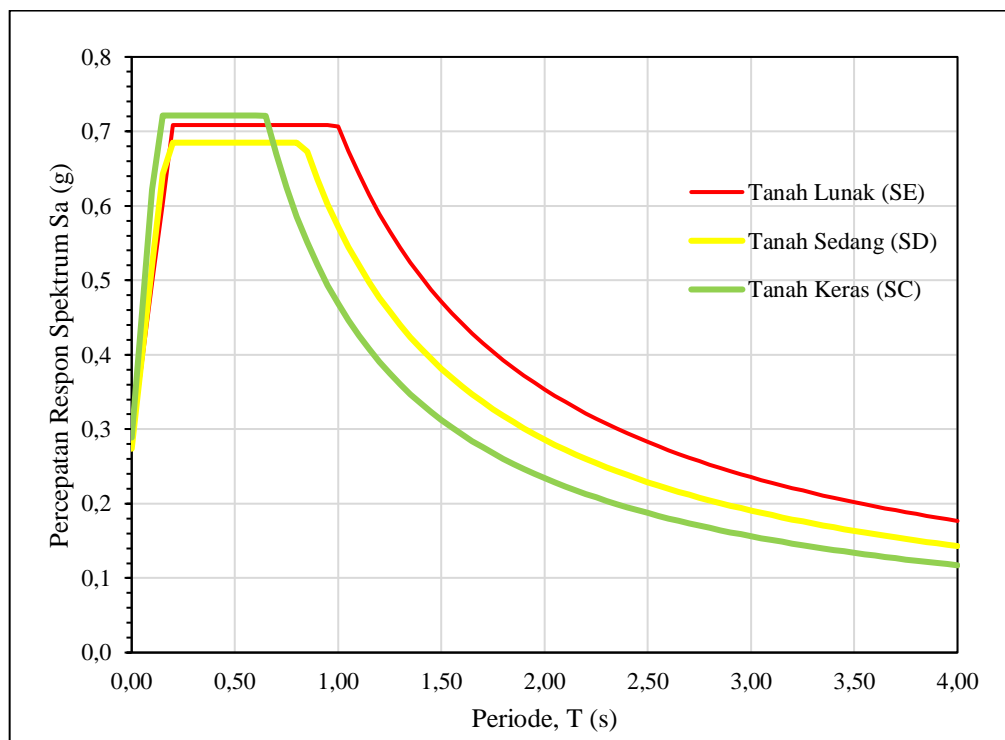
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,706885}{0,708515} = 0,19954 \text{ detik}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,706885}{0,708515} = 0,99769 \text{ detik}$$

$T_L = 20$ detik (berdasarkan Gambar 20, SNI 1726-2019, hal. 238)



Gambar L4.3: Peta transisi periode panjang, T_L untuk daerah Medan.



Gambar L.4.4: Spektrum respon desain untuk daerah Medan.

10. Pemilihan Prosedur Analisis

Berikut ini adalah cara cek pemilihan atau penentuan metode analisis gempa yang di pakai sesuai dengan karakteristik struktur dan kategori desain seismik yang di gunakan pada struktur yang direncanakan, dimana struktur yang direncanakan adalah kategori desain seismik (KDS) D dengan tinggi struktur 35,5 meter dan menggunakan analisis linier metode respons spektrum.

Tabel L4.6: Pemilihan prosedur analisis (Tabel 16, SNI 1726-2019, hal. 68).

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horisontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

Dapat dilihat dari tabel diatas, struktur yang direncanakan diizinkan untuk menggunakan analisis gempa metode respon spektrum.

10. Kesimpulan

Seluruh penjabaran perhitungan diatas (Lampiran 4) merupakan cara menghitung data-data gempa pada tanah lunak yang diperlukan untuk perhitungan selanjutnya. Untuk perhitungan beban gempa pada kondisi tanah sedang (SD) dan tanah keras (SC) sama persis seperti perhitungan diatas, namun untuk mempersingkat dan membandingkan secara langsung nilai-nilai dari ketiga jenis tanah tersebut maka disajikan dalam bentuk Tabel L.4.7.

Tabel L4.7: Data gempa respon spektrum pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Data Gempa	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
Ie	1		1		1	
S _s	0,902 g		0,902 g		0,902 g	
S ₁	0,469 g		0,469 g		0,469 g	
Fa	1,179 g		1,139 g		1,200 g	
Fv	2,263 g		1,831 g		1,500 g	
S _{MS}	1,063 g		1,027 g		1,082 g	
S _{M1}	1,060 g		0,858 g		0,703 g	
S _{DS}	0,709 g		0,685 g		0,721 g	
S _{D1}	0,707 g		0,572 g		0,469 g	
KDS	D		D		D	
R	8	8	8	8	8	8
ω_0	3	3	3	3	3	3
Cd	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
ρ	1,3		1,3		1,3	
T ₀	0,200 s		0,167 s		0,130 s	
T _S	0,998 s		0,835 s		0,650 s	
T _{Lmax}	20 s		20 s		20 s	

Lampiran 5

Penentuan Periode Struktur Tanah Lunak, Tanah Sedang, & Tanah Keras

Pada *Output software* analisis struktur ketiga jenis tanah ini memiliki periode yang sama, yaitu :

- T mode 1 = 1,285 s
- T mode 2 = 1,260 s

Berdasarkan Pasal 7.8.2, SNI 1726-2019, hal. 71, disebutkan bahwa periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi batasan atas ($T = C_u \times T_a$) dan periode fundamental pendekatan, T_a ($T_a = C_t \times h_n^x$).

Penentuan nilai T_a berdasarkan 2 pendekatan, yaitu:

- Pendekatan 1 (Pasal 7.8.2.1, SNI 1726-2019, hal. 72)

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

Nilai C_t dan x diambil berdasarkan tabel L5.1.

Tabel L5.1: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2019, Tabel 18, hal. 72).

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak diingkupi 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

Maka,

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

$$T_a = 0,0466 \times 35,5^{0,9} = 1,158 \text{ detik}$$

- Pendekatan 2 (Pasal 7.8.2.1, SNI 1726-2019, hal. 72)

$$T_a = 0,1 \times N$$

$$T_a = 0,1 \times 10 = 1 \text{ detik}$$

Ket:

h_n = ketinggian struktur (m)

N = jumlah tingkat

Nilai T_a yang diambil adalah pada pendekatan 1 = 1,158 detik. Nilai C_u diperoleh berdasarkan Tabel L5.2.

Tabel L5.2: Koefisien batas atas untuk periode yang dihitung (SNI 1726 - 2019, Tabel 17 hal. 72).

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

$$T = C_u \times T_a$$

$$T = 1,4 \times 1,158 = 1,621 \text{ detik}$$

Periode arah X (Struktur 10 lantai)

$$T_{software} = 1,285 \text{ detik (dipakai)}$$

$$T_{a \text{ minimum}} = 1,158 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = 1,621 \text{ detik}$$

Periode arah Y (Struktur 10 lantai)

$$T_{software} = 1,260 \text{ detik (dipakai)}$$

$$T_{a \text{ minimum}} = 1,158 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = 1,621 \text{ detik}$$

Lampiran 6

Perhitungan Gaya Lateral Statik Ekivalen

Data:

$$S_{DS} (SE) = 0,709 \text{ g}$$

$$S_{D1} (SE) = 0,707 \text{ g}$$

$$S_{DS} (SD) = 0,685 \text{ g}$$

$$S_{D1} (SD) = 0,572 \text{ g}$$

$$S_{DS} (SC) = 0,721 \text{ g}$$

$$S_{D1} (SC) = 0,469 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,469$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1,0$$

$$T_x = 1,285$$

$$T_y = 1,260$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai gaya geser dasar seismik (V) untuk tanah lunak. Nilai V diatur dalam SNI 1726-2019, Pasal 7.8.1 Rumus yang digunakan adalah:

$$V = C_s \times W$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar hasil analisa statik ekivalen

C_s = Koefisien respon seismic

W = Berat seismic efektif struktur

Nilai koefisien respon seismik (C_s) harus ditentukan sesuai Pasal 7.8.1.1, SNI 1726-2019 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a. } C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,709}{\left(\frac{8}{1,0}\right)} \\ &= 0,089 \end{aligned}$$

b. $C_{s \text{ maks}}$, untuk $T \leq T_L$

$$\begin{aligned} 1) C_{s \text{ maks } x} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,707}{1,283 \left(\frac{8}{1,0}\right)} \\ &= 0,069 \end{aligned}$$

$$2) C_{s \text{ maks } y} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,707}{1,257 \left(\frac{8}{1,0} \right)}$$

$$= 0,070$$

$$c. C_{s \text{ min}} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$= 0,044 \times 0,709 \times 1,0$$

$$= 0,031$$

Maka

$$C_{s \text{ min}} \leq C_{s \text{ pakai}} \leq C_{s \text{ maks}}$$

Tabel L6.1: Nilai koefisien seismic (Cs).

Arah	Cs hitungan	Cs minimum	Cs maksimum	Cs pakai
X	0,089	0,031	0,069	0,069
Y	0,089	0,031	0,070	0,070

Nilai W diambil dari berat total struktur hasil perhitungan program analisa struktur sebagai berikut:

Tabel L6.2: Berat struktur (W).

Story	Diaphragm	Mass X (kg)	Mass Y (kg)
Lantai 1	D1	605353,620	605308,240
Lantai 2	D2	588966,910	588921,530
Lantai 3	D3	588966,910	588921,530
Lantai 4	D4	588966,910	588921,530
Lantai 5	D5	582356,530	589010,150
Lantai 6	D6	508465,330	520781,150
Lantai 7	D7	508465,330	520781,150
Lantai 8	D8	508465,330	520781,150
Lantai 9	D9	504750,200	517066,020
Lantai 10	D10	415822,570	428202,000
Total		5400579,640	5400579,640

$$- V_x = C_s \times W_t$$

$$= 0,069 \times 5400579,640$$

$$= 376631,00 \text{ kg}$$

$$= 3641,865 \text{ kN}$$

$$- V_y = C_s \times W_t$$

$$\begin{aligned}
&= 0,070 \times 5400579,640 \\
&= 384421,30 \text{ kg} \\
&= 3714,125 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Adapun nilai V_t tanah lunak *output* nilai dari *software* analisis struktur tertera pada Tabel L6.3.

Tabel L6.3: Nilai V_t pada tanah lunak.

Arah	Vt X	Vt Y
	kN	kN
Gempa X	1542,9525	1736,8199
Gempa Y	1542,9525	1736,8199

Syarat: $V_t \geq V$

$$EQ_x : 1542,9525 < 1874,26 \text{ (Tidak memenuhi syarat)}$$

$$EQ_y : 1736,8199 < 1874,26 \text{ (Tidak memenuhi syarat)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih kecil dari 100% gaya geser statik ekuivalen untuk arah x dan y. sehingga perlu dilakukan penyesuaian skala terhadap gaya respon spektrum tersebut.

$$\text{Arah x} : \frac{V}{V_t} = \frac{1874,261}{1542,9525} = 1,215$$

$$\text{Arah y} : \frac{V}{V_t} = \frac{1874,261}{1736,8199} = 1,079$$

Dengan adanya penyesuaian terhadap gempa respon spektrum pada software analisis struktur melalui skala gempa, maka nilai yang di input pada beban $RS-x$ dan $RS-y$ perlu dirubah, antara lain:

$$\begin{aligned}
\text{Beban } RS-x &= \frac{g \times I_e}{R} \times \left(\frac{V}{V_{t-x}} \right) \\
&= \frac{9,8 \times 1}{8} \times (1,215) = 1,491 \text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban } RS-y &= \frac{g \times I_e}{R} \times \left(\frac{V}{V_{t-y}} \right) \\
&= \frac{9,8 \times 1}{8} \times (1,079) = 1,324 \text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

Perhitungan diatas merupakan cara menghitung nilai koefisien respon seismik (C_s), gaya lateral statik ekuivalen (V), output gaya geser dasar respon spektrum (V_t), dan penyesuaian skala gempa pada tanah lunak. Adapun

perhitungan untuk tanah sedang dan tanah keras sama persis seperti perhitungan diatas dan dapat kita simpulkan nilai Cs, V, Vt, dan penyesuaian skala gempa dalam ketiga kondisi tanah tersebut dalam bentuk Tabel L6.4 dan Tabel L6.5.

Tabel L6.4: Nilai Cs pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Parameter	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
	X	Y	X	Y	X	Y
Cs	0,089	0,089	0,086	0,086	0,090	0,090
Cs max	0,069	0,070	0,056	0,057	0,046	0,046
Cs min	0,031	0,031	0,030	0,030	0,032	0,032
Syarat	$Cs \text{ min} \leq Cs \text{ pakai} \leq Cs \text{ max}$					
Cs pakai	0,069	0,070	0,056	0,057	0,046	0,046

Tabel L6.5: Nilai V, Vt, dan penyesuaian skala gempa pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Nilai	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
	X	Y	X	Y	X	Y
V (kN)	3641,87	3714,12	2947,53	3006,02	2414,14	2462,04
Vt (kN)	2884,89	3048,29	2375,36	2511,44	2014,95	2133,19
Skala gempa (mm/s ²)	1548,01	1494,10	1521,63	1467,73	1469,19	1415,29
NB : Nilai penyesuaian skala gempa untuk diinput pada beban RS x & RS y pada software						

Lampiran 7

Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.3.4.2 ρ diizinkan diambil sebesar 1,0. Jika salah satu kondisi yang disyaratkan pada pasal tersebut terpenuhi, yaitu salah satunya masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar dalam arah yang ditinjau. Apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka ρ harus diganti dengan 1,3. Koreksi distribusi gaya geser lantai (*story shear*) dengan 35% gaya geser dasar total (*base shear*) struktur pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras tertera pada Tabel L7.1 – Tabel L7.3.

Tabel L7.1: Pengecekan 35% *base shear* pada struktur di atas tanah lunak.

Lt.	V _x (kN)	V _y (kN)	35% x V _x Base Shear	35% x V _y Base Shear	Cek Arah X	Cek Arah Y
10	623,94	626,13	1275,47	1300,73	not OK	not OK
9	1232,61	1255,25	1275,47	1300,73	not OK	not OK
8	1755,05	1792,97	1275,47	1300,73	OK	OK
7	2183,51	2230,24	1275,47	1300,73	OK	OK
6	2527,44	2578,24	1275,47	1300,73	OK	OK
5	2855,77	2908,95	1275,47	1300,73	OK	OK
4	3156,51	3214,50	1275,47	1300,73	OK	OK
3	3398,45	3462,26	1275,47	1300,73	OK	OK
2	3565,20	3634,08	1275,47	1300,73	OK	OK
1	3643,75	3715,71	1275,47	1300,73	OK	OK

Tabel L7.2: Pengecekan 35% *base shear* pada struktur di atas tanah sedang.

Lt.	V _x (kN)	V _y (kN)	35% x V _x Base Shear	35% x V _y Base Shear	Cek Arah X	Cek Arah Y
10	531,68	531,71	1031,89	1052,30	not OK	not OK
9	1023,24	1041,17	1031,89	1052,30	not OK	not OK
8	1433,05	1463,22	1031,89	1052,30	OK	OK
7	1760,51	1797,22	1031,89	1052,30	OK	OK
6	2020,10	2059,25	1031,89	1052,30	OK	OK
5	2275,92	2316,50	1031,89	1052,30	OK	OK
4	2521,24	2566,19	1031,89	1052,30	OK	OK
3	2726,26	2776,80	1031,89	1052,30	OK	OK
2	2874,17	2929,51	1031,89	1052,30	OK	OK
1	2947,83	3005,94	1031,89	1052,30	OK	OK

Tabel L7.3: Pengecekan 35% *base shear* pada struktur di atas tanah keras.

Lt.	V _x (kN)	V _y (kN)	35% x V _x Base Shear	35% x V _y Base Shear	Cek Arah X	Cek Arah Y
10	475,21	472,95	845,41	862,15	not OK	not OK
9	879,33	893,19	845,41	862,15	OK	OK
8	1195,84	1219,79	845,41	862,15	OK	OK
7	1433,03	1461,43	845,41	862,15	OK	OK
6	1615,87	1644,81	845,41	862,15	OK	OK
5	1808,21	1837,70	845,41	862,15	OK	OK
4	2012,42	2046,28	845,41	862,15	OK	OK
3	2196,82	2236,58	845,41	862,15	OK	OK
2	2338,82	2383,69	845,41	862,15	OK	OK
1	2415,01	2462,61	845,41	862,15	OK	OK

Dari Tabel L7.1 – L7.3 diketahui gaya geser pada lantai 9 & 10 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35% gaya geser dasar, maka nilai redudansi (ρ) pada struktur menggunakan 1,3.

Lampiran 8

Perhitungan *Story Drift*

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 berikut ini merupakan rumus perhitungan simpangan antar tingkat:

$$\delta_x = \left(\frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \right)$$

Dimana :

δ_x = Simpangan pusat massa di tingkat -x

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral (SNI 1726:2019 Tabel 12)

δ_{xe} = Simpangan di tingkat-x (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6)

I_e = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

Berikut ini adalah tabel data *output software* analisis struktur dan perhitungan simpangan antar tingkat (*Story Drift*) pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Tabel L8.1: Tabel perhitungan simpangan antar tingkat pada tanah lunak.

Lt.	hs (m)	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total $\delta = (\delta_e \cdot C_d) / I_e$		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta_{ijin} = 0.020 \cdot hs / \rho$ (mm)	Cek	
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)		X (mm)	Y (mm)
10	3,5	49,7	48,3	273,5	265,7	16,8	15,7	54	OK	OK
9	3,5	46,7	45,5	256,8	250,0	24,3	23,6	54	OK	OK
8	3,5	42,3	41,2	232,4	226,4	31,8	31,5	54	OK	OK
7	3,5	36,5	35,4	200,6	194,9	36,9	36,6	54	OK	OK
6	3,5	29,8	28,8	163,6	158,3	34,8	34,3	54	OK	OK
5	3,5	23,4	22,5	128,9	124,0	27,9	26,9	54	OK	OK
4	3,5	18,4	17,7	101,0	97,1	28,9	27,6	54	OK	OK
3	3,5	13,1	12,7	72,1	69,6	29,1	27,8	54	OK	OK
2	3,5	7,8	7,6	43,0	41,8	26,4	25,4	54	OK	OK
1	4	3,0	3,0	16,6	16,4	16,6	16,4	62	OK	OK

Tabel L8.2: Tabel perhitungan simpangan antar tingkat pada tanah sedang.

Lt.	hs	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total $\delta = (\delta_e \cdot Cd)/I_e$		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta_{ijin}=0.020$ hs/ρ	Cek	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	(mm)	X (mm)	Y (mm)
10	3,5	39,6	38,4	217,8	211,4	13,5	12,6	54	OK	OK
9	3,5	37,2	36,1	204,3	198,8	19,5	18,9	54	OK	OK
8	3,5	33,6	32,7	184,9	179,9	25,3	25,0	54	OK	OK
7	3,5	29,0	28,2	159,6	154,9	29,2	28,9	54	OK	OK
6	3,5	23,7	22,9	130,4	126,0	27,4	27,0	54	OK	OK
5	3,5	18,7	18,0	102,9	99,0	22,1	21,3	54	OK	OK
4	3,5	14,7	14,1	80,8	77,7	23,0	21,9	54	OK	OK
3	3,5	10,5	10,1	57,8	55,8	23,3	22,2	54	OK	OK
2	3,5	6,3	6,1	34,6	33,6	21,2	20,4	54	OK	OK
1	4	2,4	2,4	13,4	13,2	13,4	13,2	62	OK	OK

Tabel L8.3: Tabel perhitungan simpangan antar tingkat pada tanah keras.

Lt.	hs	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total $\delta = (\delta_e \cdot Cd)/I_e$		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta_{ijin}=0.020$ hs/ρ	Cek	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	(mm)	X (mm)	Y (mm)
10	3,5	31,4	30,4	172,9	167,4	10,9	10,2	54	OK	OK
9	3,5	29,4	28,6	161,9	157,3	15,6	15,1	54	OK	OK
8	3,5	26,6	25,9	146,3	142,2	20,0	19,7	54	OK	OK
7	3,5	23,0	22,3	126,3	122,4	22,8	22,6	54	OK	OK
6	3,5	18,8	18,2	103,5	99,9	21,3	21,0	54	OK	OK
5	3,5	14,9	14,3	82,1	78,9	17,3	16,6	54	OK	OK
4	3,5	11,8	11,3	64,8	62,3	18,2	17,3	54	OK	OK
3	3,5	8,5	8,2	46,6	45,0	18,6	17,7	54	OK	OK
2	3,5	5,1	4,9	28,0	27,2	17,1	16,5	54	OK	OK
1	4	2,0	2,0	10,9	10,7	10,9	10,7	62	OK	OK

Dari ketiga tabel di atas dapat dilihat bahwa struktur di ketiga kondisi tanah adalah aman terhadap simpangan antar tingkat, karena nilai *story drift* struktur gedung pada seluruh lantai lebih kecil dari batas simpangan ijin (Δ_{ijin}).

Lampiran 9

Perhitungan Pengaruh P-Delta

Berdasarkan dengan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 berikut ini merupakan rumus perhitungan koefisien stabilitas.

$$\theta_x = \frac{P_x \Delta_x I_e}{V_x h_{sx} C_{dx}}$$

Dimana :

θ = Koefisien stabilitas

P_x = Beban desain vertikal total (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = Simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 7.8.6, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

V_x = Gaya geser seismik (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi (SNI 1726:2019 Tabel 12).

Berikut ini adalah tabel perhitungan pengaruh P-Delta/ koefisien stabilitas struktur pada tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras.

Tabel L9.1: Tabel perhitungan koefisien stabilitas struktur pada tanah lunak.

Lt.	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Batas Pengaruh P-Delta	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
10	16,8	15,7	4039,1	623,9	626,1	3500	0,006	0,005	0,0909	0,1	OK
9	24,3	23,6	9608,8	1232,6	1255,3	3500	0,010	0,009	0,0909	0,1	OK
8	31,8	31,5	15477,9	1755,1	1793,0	3500	0,015	0,014	0,0909	0,1	OK
7	36,9	36,6	21347,0	2183,5	2230,2	3500	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
6	34,8	34,3	27216,1	2527,4	2578,2	3500	0,019	0,019	0,0909	0,1	OK
5	27,9	26,9	33543,7	2855,8	2909,0	3500	0,017	0,016	0,0909	0,1	OK
4	28,9	27,6	40503,9	3156,5	3214,5	3500	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
3	29,1	27,8	47464,1	3398,5	3462,3	3500	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
2	26,4	25,4	54424,3	3565,2	3634,1	3500	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
1	16,6	16,4	61446,3	3643,8	3715,7	4000	0,013	0,012	0,0909	0,1	OK

Tabel L9.2: Tabel perhitungan koefisien stabilitas struktur pada tanah sedang.

Lt.	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Batas Pengaruh P-Delta	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θX	θY			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
10	13,5	12,6	4039,1	531,7	531,7	3500	0,005	0,005	0,0909	0,1	OK
9	19,5	18,9	9608,8	1023,2	1041,2	3500	0,009	0,009	0,0909	0,1	OK
8	25,3	25,0	15477,9	1433,0	1463,2	3500	0,014	0,014	0,0909	0,1	OK
7	29,2	28,9	21347,0	1760,5	1797,2	3500	0,018	0,018	0,0909	0,1	OK
6	27,4	27,0	27216,1	2020,1	2059,3	3500	0,019	0,019	0,0909	0,1	OK
5	22,1	21,3	33543,7	2275,9	2316,5	3500	0,017	0,016	0,0909	0,1	OK
4	23,0	21,9	40503,9	2521,2	2566,2	3500	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
3	23,3	22,2	47464,1	2726,3	2776,8	3500	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
2	21,2	20,4	54424,3	2874,2	2929,5	3500	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
1	13,4	13,2	61446,3	2947,8	3005,9	4000	0,013	0,012	0,0909	0,1	OK

Tabel L9.3: Tabel perhitungan koefisien stabilitas struktur pada tanah keras.

Lt.	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Batas Pengaruh P-Delta	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θX	θY			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
10	10,9	10,2	4039,1	475,2	472,9	3500	0,005	0,005	0,0909	0,1	OK
9	15,6	15,1	9608,8	879,3	893,2	3500	0,009	0,008	0,0909	0,1	OK
8	20,0	19,7	15477,9	1195,8	1219,8	3500	0,013	0,013	0,0909	0,1	OK
7	22,8	22,6	21347,0	1433,0	1461,4	3500	0,018	0,017	0,0909	0,1	OK
6	21,3	21,0	27216,1	1615,9	1644,8	3500	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
5	17,3	16,6	33543,7	1808,2	1837,7	3500	0,017	0,016	0,0909	0,1	OK
4	18,2	17,3	40503,9	2012,4	2046,3	3500	0,019	0,018	0,0909	0,1	OK
3	18,6	17,7	47464,1	2196,8	2236,6	3500	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
2	17,1	16,5	54424,3	2338,8	2383,7	3500	0,021	0,020	0,0909	0,1	OK
1	10,9	10,7	61446,3	2415,0	2462,6	4000	0,013	0,012	0,0909	0,1	OK

Dari perhitungan ketiga kondisi tanah di atas menunjukkan nilai stabilitas rasio (θ) pada semua lantai kurang dari 0,1 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

Lampiran 10

A. Contoh Perhitungan Desain Balok Induk (SRPMK) | Tanah Lunak (SE)

1 Input Data

1,1 Geometri Balok

Lebar Balok	b	=	500	mm
Tinggi Balok	h	=	750	mm
Panjang Balok	L	=	6000	mm
Selimit Bersih	c_c	=	40	mm
Panjang Kolom	c_1	=	900	mm
Lebar Kolom	c_2	=	900	mm

1,2 Material

Kuat Tekan Beton	f_c'	=	30	MPa	(K-300)
Kuat Leleh Baja Tulangan Longitudinal	f_y	=	420	MPa	(BjTS 420)
Kuat Leleh Baja Tulangan Transversal	f_{yv}	=	420	MPa	(BjTS 420)

1,3 Diameter Tulangan

Diameter Tulangan Longitudinal	d_b	=	19	mm
Diameter Tulangan Pinggang	d_{bt}	=	19	mm
Diameter Tulangan Sengkang	d_s	=	13	mm

1,4 Jumlah Tulangan Longitudinal

	<u>Tumpuan</u>	<u>Lapangan</u>
Jumlah Tulangan Atas Baris 1	n_{ts1} = 6	n_{tm1} = 7
Jumlah Tulangan Atas Baris 2	n_{ts2} = 2	n_{tm2} = 0
Jumlah Tulangan Bawah Baris 1	n_{bs1} = 7	n_{bm1} = 6
Jumlah Tulangan Bawah Baris 2	n_{bs2} = 0	n_{bm2} = 2
Spasi Tulangan Lapis 1 ke Lapis 2	s_{12} = 50	mm
Jumlah Pasang Tulangan Pinggang/Tengah	n_t = 2	

1,5 Tulangan Transversal/Sengkang

Jumlah Kaki Tulangan Sengkang Tumpuan	n_{vs} = 3
Jumlah Kaki Tulangan Sengkang Lapangan	n_{vm} = 3
Spasi Sengkang Tumpuan	s_s = 100 mm
Spasi Sengkang Lapangan	s_m = 200 mm

1,6 Gaya Dalam

Momen Negatif Tumpuan	$M_{u,tum (-)}$	=	-531,38	kNm
Momen Positif Tumpuan	$M_{u,tum (+)}$	=	454,33	kNm
Momen Negatif Lapangan	$M_{u,lap (-)}$	=	-456,60	kNm
Momen Positif Lapangan	$M_{u,lap (+)}$	=	527,70	kNm
Gaya Geser Tumpuan	$V_{u,tumpuan}$	=	454,18	kN
Gaya Geser Lapangan	$V_{u,lapangan}$	=	406,15	kN

Gaya Geser Gravitasi Tumpuan
Torsi
Gaya Aksial

$$\begin{aligned} V_{g', tumpuan} &= 79,41 \text{ kN} \\ T_u &= 55,02 \text{ kNm} \\ P_u &= 0,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

2 Parameter Material dan Geometri

Faktor Material Beton
(SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} \leq 0,85 \\ &= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \frac{30,0 - 28}{7} \leq 0,85 \\ &= 0,836 \end{aligned}$$

Regangan Leleh Baja Tulangan

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$$

Tinggi Efektif Balok

$$\begin{aligned} d &= h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2} \\ &= 750 - 40 - 13 - \frac{19}{2} \\ &= 687,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lokasi Tulangan Lapis 2

$$\begin{aligned} d_2 &= d - s_{12} \\ &= 687,5 - 50 \\ &= 637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang Bersih Balok

$$\begin{aligned} L_n &= L - c_1 \\ &= 3000 - 900 \\ &= 5100 \text{ mm} \end{aligned}$$

3 Pengecekan Syarat Geometri

Bentang Bersih Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

$$\begin{aligned} L_{n,min} &= 4 \times d \\ &= 4 \times 687,5 \\ &= 2750 \text{ mm} < 5100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Syarat Lebar Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

$$\begin{aligned} b_{min,1} &= 0,3 \times h \\ &= 0,3 \times 750 \\ &= 225 \text{ mm} \\ b_{min,2} &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{min} &= \min (b_{min,1} ; b_{min,2}) \\ &= \min (225 ; 250) \\ &= 225 \text{ mm} < 500 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Syarat Lebar Maksimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.2)

$$\begin{aligned} b_{max,1} &= c_2 + 2 \times c_1 \\ &= 900 + 2 \times 900 \\ &= 2700 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{max,2} &= c_2 + 2 \times 0,75 \times c_1 \\
 &= 900 + 2 \times 0,75 \times 900 \\
 &= 2250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{max} &= \min (b_{max,1} ; b_{max,2}) \\
 &= \min (2700 ; 2250) \\
 &= 2250 \text{ mm} > 500 \text{ mm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

4 Desain Lentur

4,1 Momen Negatif Tumpuan (Tulangan Tumpuan Atas)

Jumlah Tulangan Lapis 1	$n_{ts1} = 6 \rightarrow A_{s,1} = 1701,17 \text{ mm}^2$
Jumlah Tulangan Lapis 2	$n_{ts2} = 2 \rightarrow A_{s,2} = 567,057 \text{ mm}^2$
Jarak Bersih Tulangan Lapis 1	$s_{l,1} = 56 \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \quad \text{OK}$
Jarak Bersih Tulangan Lapis 2	$s_{l,2} = 356 \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \quad \text{OK}$
Luas Tulangan Total	$A_s = A_{s,1} + A_{s,2} = 1701,17 + 567,057 = 2268,2 \text{ mm}^2$

Rasio Luas Tulangan	$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{2268,2}{500 \times 687,5} = 0,66\%$
---------------------	--

Luas Tulangan Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} ; \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \right\} \\
 &= \max \left\{ \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 500 \times 687,5 ; \frac{1,4}{420} \times 500 \times 687,5 \right\} \\
 &= \max \left\{ \begin{array}{l} 1120,7 \text{ mm}^2 \\ 1145,8 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \\
 &= 1145,8 \text{ mm}^2 < 2268,2 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)

ρ_{max}	$= 2,50\% > 0,66\% \quad \text{OK}$
--------------	-------------------------------------

Tinggi Blok Beton
(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

a	$= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{2268,2 \times 420}{0,85 \times 30 \times 500} = 74,72 \text{ mm}$
-----	---

Tinggi Daerah Tekan Beton
(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

c	$= \frac{a}{\beta_1} = \frac{74,72}{0,83571} = 89,41 \text{ mm}$
-----	--

Regangan Tulangan Terluar

ϵ_{st}	$= \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{687,5 - 89,41}{89,41} \times 0,003 = 0,0201$
-----------------	--

Faktor Reduksi
(SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

ϕ	$= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{\epsilon_{st} - \epsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$
	$= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{0,020 - 0,0021}{0,003} \times 0,25 = 0,90$

Kapasitas Momen

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= \Phi \times \left\{ A_{s,1} \times f_y \times (d - a / 2) \right. \\ &\quad \left. + A_{s,2} \times f_y \times (d_2 - a / 2) \right\} \\ &= 0,90 \times \left\{ 1701,2 \times 420 \times \left(687,5 - \frac{74,718}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. + 567,1 \times 420 \times \left(637,5 - \frac{74,718}{2} \right) \right\} \\ &= 0,90 \times \left\{ 464,521 + 142,932 \right\} \\ &= 546,708 \text{ kNm} > 531,375 \text{ kNm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Momen Nominal Tumpuan Negatif

$$M_n = 607,453 \text{ kNm}$$

4,2 Momen Positif Tumpuan (Tulangan Tumpuan Bawah)

Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{bs1} = 7 \rightarrow A_{s,1} = 1984,7 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{bs2} = 0 \rightarrow A_{s,2} = 0 \text{ mm}^2$$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$$s_{l,1} = 43,5 \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$$s_{l,2} = - \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Luas Tulangan Total

$$\begin{aligned}A_s &= A_{s,1} + A_{s,2} = 1984,7 + 0 \\ &= 1984,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1984,7}{500 \times 687,5} = 0,58\%$$

Luas Tulangan Minimum

(SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned}A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} \right. \\ &\quad \left. \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \right\} \\ &= \max \left\{ \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 500 \times 687,5 \right. \\ &\quad \left. \frac{1,4}{420} \times 500 \times 687,5 \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 1120,7 \text{ mm}^2 \\ 1145,8 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \\ &= 1145,8 \text{ mm}^2 < 1984,7 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

$$\rho_{max} = 2,50\% > 0,58\% \quad \text{OK}$$

Tinggi Blok Beton

(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1984,7 \times 420}{0,85 \times 30 \times 500} \\ &= 65,38 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinggi Daerah Tekan Beton

(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{65,38}{0,83571} = 78,23 \text{ mm}$$

Regangan Tulangan Terluar

$$\begin{aligned}\epsilon_{st} &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{687,5 - 78,23}{78,23} \times 0,003 \\ &= 0,0234\end{aligned}$$

Faktor Reduksi

(SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{\epsilon_{st} - \epsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{0,023 - 0,0021}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,90\end{aligned}$$

Kapasitas Momen

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= \Phi \times \left\{ A_{s,1} \times f_y \times (d - a / 2) \right. \\ &\quad \left. + A_{s,2} \times f_y \times (d_2 - a / 2) \right\} \\ &= 0,90 \times \left\{ 1984,7 \times 420 \times \left(\frac{687,5 - 65,378}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. + 0,0 \times 420 \times \left(\frac{637,5 - 65,378}{2} \right) \right\} \\ &= 0,90 \times \{ 545,834 + 0,000 \} \\ &= 491,250 \text{ kNm} > 454,333 \text{ kNm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Momen Nominal Tumpuan Positif Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}M_{n,min} &= 50\% \times M_{n,tum} (-) \\ &= 50\% \times 607,453 \\ &= 303,726 \text{ kNm} < 545,834 \text{ kNm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

4,3 Momen Negatif Lapangan (Tulangan Lapangan Atas)

Jumlah Tulangan Lapis 1

$$n_{tm1} = 7 \rightarrow A_{s,1} = 1984,7 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lapis 2

$$n_{tm2} = 0 \rightarrow A_{s,2} = 0 \text{ mm}^2$$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1

$$s_{l,1} = 43,5 \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2

$$s_{l,2} = - \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Luas Tulangan Total

$$\begin{aligned}A_s &= A_{s,1} + A_{s,2} = 1984,7 + 0 \\ &= 1984,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rasio Luas Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1984,7}{500 \times 687,5} = 0,58\%$$

Luas Tulangan Minimum

(SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned}A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} \right. \\ &\quad \left. \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \right\} \\ &= \max \left\{ \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 500 \times 687,5 \right. \\ &\quad \left. \frac{1,4}{420} \times 500 \times 687,5 \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 1120,7 \text{ mm}^2 \\ 1145,8 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \\ &= 1145,8 \text{ mm}^2 < 1984,7 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

$$\rho_{max} = 2,50\% > 0,58\% \quad \text{OK}$$

Tinggi Blok Beton

(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1984,7 \times 420}{0,85 \times 30 \times 500} \\ &= 65,38 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinggi Daerah Tekan Beton

(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{65,38}{0,83571} = 78,23 \text{ mm}$$

Regangan Tulangan Terluar

$$\begin{aligned}\epsilon_{st} &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{687,5 - 78,23}{78,23} \times 0,003 \\ &= 0,0234\end{aligned}$$

Faktor Reduksi

(SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\Phi = 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{\epsilon_{st} - \epsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{0,023 - 0,0021}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,90$$

Kapasitas Momen

$$\Phi M_n = \Phi \times \left\{ A_{s,1} \times f_y \times \left(d - a / 2 \right) + A_{s,2} \times f_y \times \left(d_2 - a / 2 \right) \right\}$$

$$= 0,90 \times \left\{ 1984,7 \times 420 \times \left(\frac{687,5 - 65,378}{2} \right) + 0,0 \times 420 \times \left(\frac{637,5 - 65,378}{2} \right) \right\}$$

$$= 0,90 \times \left\{ 545,834 + 0,000 \right\}$$

$$= 491,250 \text{ kNm} > 456,599 \text{ kNm} \text{ OK}$$

Momen Nominal Lapangan Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2)

$$M_{n,min} = 25\% \times M_{n,tum} (-)$$

$$= 25\% \times 607,453$$

$$= 151,863 \text{ kNm} < 545,834 \text{ kNm} \text{ OK}$$

4,4 Momen Positif Lapangan (Tulangan Lapangan Bawah)

Jumlah Tulangan Lapis 1 $n_{tm1} = 6 \rightarrow A_{s,1} = 1701,17 \text{ mm}^2$

Jumlah Tulangan Lapis 2 $n_{tm2} = 2 \rightarrow A_{s,2} = 567,057 \text{ mm}^2$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 1 $s_{l,1} = 56 \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \text{ OK}$

Jarak Bersih Tulangan Lapis 2 $s_{l,2} = 356 \text{ mm} > 26,67 \text{ mm} \text{ OK}$

Luas Tulangan Total $A_s = A_{s,1} + A_{s,2} = 1701,17 + 567,057 = 2268,2 \text{ mm}^2$

Rasio Luas Tulangan $\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{2268,2}{500 \times 687,5} = 0,66\%$

Luas Tulangan Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2)

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y}, \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \right\}$$

$$= \max \left\{ \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 500 \times 687,5, \frac{1,4}{420} \times 500 \times 687,5 \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1120,7 \text{ mm}^2 \\ 1145,8 \text{ mm}^2 \end{array} \right\}$$

$$= 1145,8 \text{ mm}^2 < 2268,2 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Rasio Luas Tulangan Maksimum

Tinggi Blok Beton $a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{2268,2 \times 420}{0,85 \times 30 \times 500} = 74,72 \text{ mm}$
(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

Tinggi Daerah Tekan Beton $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{74,72}{0,83571} = 89,41 \text{ mm}$
(SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1)

Regangan Tulangan Terluar $\epsilon_{st} = \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{687,5 - 89,41}{89,41} \times 0,003 = 0,0201$

Faktor Reduksi
(SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{\epsilon_{st} - \epsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,65 \leq 0,65 + 0,65 \frac{0,020 - 0,0021}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,90\end{aligned}$$

Kapasitas Momen

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times \left\{ A_{s,1} \times f_y \times \left(d - a / 2 \right) \right. \\ &\quad \left. + A_{s,2} \times f_y \times \left(d_2 - a / 2 \right) \right\} \\ &= 0,90 \times \left\{ 1701,2 \times 420 \times \left(\frac{687,5 - 74,718}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. + 567,1 \times 420 \times \left(\frac{637,5 - 74,718}{2} \right) \right\} \\ &= 0,90 \times \left\{ 464,521 + 142,932 \right\} \\ &= 546,708 \text{ kNm} > 527,703 \text{ kNm} \text{ OK}\end{aligned}$$

Momen Nominal Lapangan Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}M_{n,min} &= 25\% \times M_{n,tum} (-) \\ &= 25\% \times 607,453 \\ &= 151,863 \text{ kNm} < 607,453 \text{ kNm} \text{ OK}\end{aligned}$$

5 Desain Geser

5,1 Geser Tumpuan

Tinggi Blok Beton Probable Negatif

$$\begin{aligned}a_{pr}^- &= 1,25 \times a_{tumpuan\ negatif} = 1,25 \times 74,72 \\ &= 93,40 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinggi Blok Beton Probable Positif

$$\begin{aligned}a_{pr}^+ &= 1,25 \times a_{tumpuan\ positif} = 1,25 \times 65,38 \\ &= 81,72 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tegangan Baja Probable

$$\begin{aligned}f_{pr} &= 1,25 \times f_y = 1,25 \times 420 \\ &= 525 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Momen Negatif Tumpuan Probable

$$\begin{aligned}M_{pr}^- &= A_{s,1} \times f_{pr} \times \left(d - a_{pr} / 2 \right) \\ &\quad + A_{s,2} \times f_{pr} \times \left(d_2 - a_{pr} / 2 \right) \\ &= \left\{ 1701,2 \times 525 \times \left(\frac{687,5 - 93,4}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. + 567,1 \times 525 \times \left(\frac{637,5 - 93,4}{2} \right) \right\} \\ &= 572,31 + 175,88 \\ &= 748,19 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Momen Positif Tumpuan Probable

$$\begin{aligned}M_{pr}^+ &= A_{s,1} \times f_{pr} \times \left(d - a_{pr} / 2 \right) \\ &\quad + A_{s,2} \times f_{pr} \times \left(d_2 - a_{pr} / 2 \right) \\ &= \left\{ 1984,7 \times 525 \times \left(\frac{687,5 - 81,72}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. + 0,0 \times 525 \times \left(\frac{637,5 - 81,72}{2} \right) \right\} \\ &= 673,78 + 0,00 \\ &= 673,78 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Gaya Geser Probable

$$\begin{aligned}V_{pr} &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L_n} = \frac{673,78 + 748,19}{5,1} \\ &= 278,818 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya Geser Desain
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.1)
Gaya Geser Pakai

$$V_e = V_g + V_{pr} = 79,4126 + 278,818 = 358,23 \text{ kN}$$

$$V_u = \max(V_{u,tumpuan}; V_e) = \max(454,18; 358,23) = 454,18 \text{ kN}$$

Vc = 0 jika...
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2)

$$\rightarrow V_{pr} \geq \frac{V_e}{2} \text{ dan } P_u < \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$1 \rightarrow 278,818 > 179,115$$

$$2 \rightarrow 0 < 562,5 \quad \mathbf{Vc = 0}$$

Jumlah Kaki
Luas Tulangan Sengkang

$$n_{vs} = 3$$

$$A_v = n \times \pi/4 \times d_s^2 = 3 \times \pi/4 \times 13^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

Spasi Sengkang
Spasi Maksimum
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

$$s_s = 100 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} d / 4 \\ 6 \times d_b \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 687,5 / 4 \\ 6 \times 19 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 171,875 \\ 114 \\ 150 \end{array} \right\}$$

$$= 114 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

Tahanan Geser Beton
(SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \text{ atau } 0$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 500 \times 687,5 \text{ atau } 0$$

$$= 0 \text{ N}$$

Tahanan Geser Baja
(SNI 2847:2019 pasal 22.10.5.3)

$$V_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} \\ 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{398 \times 420 \times 687,5}{100} \\ 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 687,5 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 1149793 \\ 1242646 \end{array} \right\}$$

$$= 1149793 \text{ N}$$

Faktor Reduksi
(SNI 2847:2019 pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

Kapasitas Geser

$$\phi V_n = \phi \times (V_c + V_s)$$

$$= 0,75 \times (0 + 1149,79)$$

$$= 862,345 \text{ kN} > 454,18 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

5,2 Geser Lapangan

Jumlah Kaki

$$n_{vm} = 3$$

Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = n \times \pi/4 \times d_s^2 = 3 \times \pi/4 \times 13^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

Spasi Sengkang

$$s_m = 200 \text{ mm}$$

Spasi Maksimum

$$s_{max} = \frac{d}{2} = \frac{687,5}{2} = 343,8 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \text{ OK}$$

(SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6)

Tahanan Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 500 \times 687,5 = 320075 \text{ N}$$

(SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1)

Tahanan Geser Baja

$$V_s = \min \left\{ \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{s}, 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \right\} = \min \left\{ \frac{398 \times 420 \times 687,5}{200}, 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 687,5 \right\} = \min \left\{ 574897, 1242646 \right\} = 574897 \text{ N}$$

(SNI 2847:2019 pasal 22.10.5.3)

Faktor Reduksi

$$\phi = 0,75$$

(SNI 2847:2019 pasal 12.5.3.2)

Kapasitas Geser

$$\phi V_n = \phi \times (V_c + V_s) = 0,75 \times (320,075 + 574,897) = 671,229 \text{ kN} > 406,148 \text{ kN} \text{ OK}$$

6 Desain Torsi

6,1 Parameter Penampang untuk Perhitungan Torsi

Luas Penampang Penuh

$$A_{cp} = b \times h = 500 \times 750 = 375000 \text{ mm}^2$$

Keliling Penampang Penuh

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (500 + 750) = 2500 \text{ mm}$$

Lebar Penampang Inti

$$x_o = b - 2 \times c_c - d_s = 500 - 2 \times 40 - 13 = 407 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

Tinggi Penampang Inti

$$y_o = h - 2 \times c_c - d_s = 750 - 2 \times 40 - 13 = 657 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

Luas Penampang Inti

$$A_{oh} = x_o \times y_o = 407 \times 657 = 267399 \text{ mm}^2$$

(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

Luas Efektif Penampang Inti
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)
Keliling Penampang Inti
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1.1)

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 267399 = 227289 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (x_o + y_o) = 2 \times (407 + 657) = 2128 \text{ mm}$$

6,2 Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

Tahanan Retak Torsi
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.5.1)

$$T_{cr} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{375000^2}{2500}$$

$$= 101,671 \text{ kNm}$$

Faktor Reduksi
(SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

Ambang Batas Kebutuhan Tulangan Torsi
(SNI 2847:2019 tabel 22.7.4.1)

$$= \phi \times \frac{T_{cr}}{4}$$

$$= 0,75 \times \frac{101,671}{4}$$

$$= 19,063 \text{ kNm} < 55,0178 \text{ kNm}$$

--> **Perlu Tulangan Torsi**

Perhitungan di bawah ini harus diperhatikan

6,3 Pengecekan Kecukupan Dimensi

Momen Torsi Pakai
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.3.2)

$$T_u = \min \left\{ \begin{array}{l} \phi \times T_{cr} \\ T_u \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \times 101,671 \\ 55,018 \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 76,253 \\ 55,018 \end{array} \right\}$$

$$= 55,018 \text{ kNm}$$

Tegangan Akibat Geser + Torsi
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.7.1)

$$\sigma_u = \sqrt{\left\{ \left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2 \right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{ \left(\frac{454,180}{500 \times 687,5} \right)^2 + \left(\frac{55,018 \times 2128}{1,7 \times 267399^2} \right)^2 \right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{ 1,321^2 + 0,963^2 \right\}}$$

$$= 1,635 \text{ MPa}$$

Tahanan Tegangan Geser+Torsi Beton
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.7.1)

$$\sigma_n = \phi \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right)$$

$$= 0,75 \left(\frac{320075}{500 \times 687,5} + 0,66 \times \sqrt{30} \right)$$

$$= 3,410 \text{ MPa} > 1,635 \text{ MPa OK}$$

6,4 Tulangan Transversal Torsi

Spasi Maksimum

(SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.3.3)

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= \min \left\{ \begin{array}{l} P_h \\ 8 \\ \frac{d_b}{0,042} \\ 300 \end{array} \right\} \\
 &= \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2128}{8} \\ 19 \\ \frac{300}{0,042} \\ 300 \end{array} \right\} \\
 &= \min \left\{ \begin{array}{l} 266 \\ 452,381 \\ 300 \end{array} \right\} \\
 &= 266 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \text{ OK} && \text{(tumpuan)} \\
 & > 200 \text{ mm} \text{ OK} && \text{(lapangan)}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Tulangan Transversal Torsi

(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 A_{t/s} &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yv}} \\
 &= \frac{55,018 \times 10^6}{2 \times 0,75 \times 227289 \times 420} \\
 &= 0,384 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan

$$\begin{aligned}
 A_{v/s} &= \left(\frac{V_u - V_c}{\phi} \right) \\
 &\quad \frac{f_{yv} \times d}{420 \times 687,5} \\
 &= \left(\frac{454,18 - 0}{0,75} \right) \\
 &= 2,097 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Tulangan Geser Lapangan

$$\begin{aligned}
 A_{v/s} &= \left(\frac{V_u - V_c}{\phi} \right) \\
 &\quad \frac{f_{yv} \times d}{420 \times 687,5} \\
 &= \left(\frac{406,148 - 320}{0,75} \right) \\
 &= 0,767 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Tulangan Geser+Torsi Tumpuan

(SNI 2847:2019 pasal 9.5.4.3)

$$\begin{aligned}
 A_{v+t/s} &= 2 \times A_{t/s} + A_{v/s} \\
 &= 2 \times 0,384 + 2,097 \\
 &= 2,866 \text{ mm}^2/\text{mm} < 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Tulangan Geser+Torsi Lapangan
(SNI 2847:2019 pasal 9.5.4.3)

$$A_{v+t}/s = 2 \times A_t/s + A_v/s$$

$$= 2 \times 0,384 + 0,767$$

$$= 1,535 \text{ mm}^2/\text{mm} < 1,991 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ C}$$

Tulangan Transversal Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.2)

$$A/s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{b}{f_{yw}} \\ 0,350 \times \frac{b}{f_{yw}} \end{array} \right\}$$

$$A/s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{500}{420} \\ 0,350 \times \frac{500}{420} \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,404 \\ 0,417 \end{array} \right\}$$

$$= 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm} < 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ OK}$$

$$< 1,991 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ OK}$$

6,5 Tulangan Longitudinal Torsi

Kebutuhan Tulangan Longitudinal Torsi
(SNI 2847:2019 pasal 22.7.6.1)

$$A_l = A_t/s \times P_h$$

$$= 0,384 \times 2128$$

$$= 817,628 \text{ mm}^2$$

Tulangan Longitudinal Torsi Minimum
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.3)

$$A_l = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,42 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - A_t/s \times P_h \\ 0,42 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \frac{0,175}{f_y} \times b \times P_h \end{array} \right\}$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} 0,42 \times \sqrt{30} \times \frac{375000}{420} - 0,384 \times 2128 \\ 0,42 \times \sqrt{30} \times \frac{375000}{420} - \frac{0,175 \times 500 \times 2128}{420} \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 1236,33 \\ 1610,63 \end{array} \right\}$$

$$= 1236,33 \text{ mm}^2$$

Ketersediaan Tulangan Longitudinal untuk Torsi

$$A_{s,tor} = \frac{\Phi M_n - M_u}{\Phi M_n} \times A_s$$

Tumpuan Negatif --> $\frac{546,708 - 531,375}{546,708} \times 2268,2 = 63,613$

Tumpuan Positif --> $\frac{491,250 - 454,3325}{491,250} \times 1984,7 = 149,151$

$$\begin{aligned} \text{Lapangan Negatif} & \rightarrow \frac{491,250 - 456,5988}{491,250} \times 1984,7 = 139,995 \\ \text{Lapangan Positif} & \rightarrow \frac{546,708 - 527,7033}{546,708} \times 2268,2 = 78,846 \\ \text{Tulangan Tengah} & = 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Longitudinal Torsi Tumpuan} & = 1346,88 \text{ mm}^2 > 1236,33 \text{ mm}^2 \text{ OK} \\ \text{Longitudinal Torsi Lapangan} & = 1352,96 \text{ mm}^2 > 1236,33 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Spasi Vertikal Tulangan Longitudinal s_{vt} = $\frac{h - 2 \times c_c - 2 \times d_s - d_b}{2 + n_t - 1}$ (1 lapis)
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.5.1)

$$\frac{h - 2 \times c_c - 2 \times d_s - d_b - s_{12}}{2 + n_t - 1} \text{ (2 lapis atas/bawah)}$$

$$\frac{h - 2 \times c_c - 2 \times d_s - d_b - 2 s_{12}}{2 + n_t - 1} \text{ (2 lapis atas dan bawah)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tumpuan} & \rightarrow 191,667 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ OK} \\ \text{Lapangan} & \rightarrow 191,667 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ OK} \end{aligned}$$

Spasi Horizontal Tulangan Longitudinal s_{hl} = $\frac{b - 2 \times c_c - 2 \times d_s - d_b}{n - 1}$
(SNI 2847:2019 pasal 9.6.5.1)

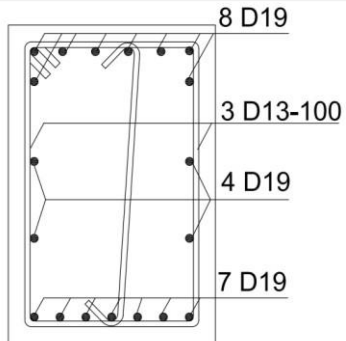
$$\begin{aligned} \text{Tumpuan Atas} & \rightarrow 75,000 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ OK} \\ \text{Tumpuan Bawah} & \rightarrow 62,500 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ OK} \\ \text{Lapangan Atas} & \rightarrow 62,500 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ OK} \\ \text{Lapangan Bawah} & \rightarrow 75,000 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ OK} \end{aligned}$$

7 Kesimpulan

7,1 Sketsa Balok

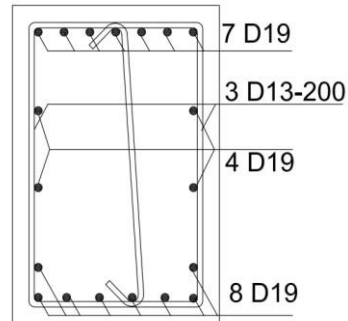
Tumpuan

500 x 750



Lapangan

500 x 750



7,2 Rekapitulasi Hasil Desain

No	Parameter	Cek
1	Syarat Gaya dan Geometri	OK
2	Tulangan Longitudinal Tumpuan Atas	OK
3	Tulangan Longitudinal Tumpuan Bawah	OK
4	Tulangan Longitudinal Lapangan Atas	OK
5	Tulangan Longitudinal Lapangan Bawah	OK
6	Tulangan Sengkang Tumpuan	OK
7	Tulangan Sengkang Lapangan	OK
8	Perlu Tulangan Torsi?	Perlu Tulangan Torsi
9	Kecukupan Dimensi	OK
10	Tulangan Sengkang Torsi Tumpuan	OK
11	Tulangan Sengkang Torsi Lapangan	OK
12	Tulangan Longitudinal Torsi Tumpuan	OK
13	Tulangan Longitudinal Torsi Lapangan	OK

Lampiran 11

A. Contoh Perhitungan Desain Kolom (SRPMK) | Tanah Lunak (SE)

1 Input Data

1,1 Geometri Kolom

Sisi Pendek Kolom	b	=	900	mm	d_1	=	833	mm
Sisi Panjang Kolom	h	=	900	mm	d_2	=	833	mm
Tinggi Kolom	L	=	3500	mm				
Selimit Bersih	c_c	=	40	mm				
Tinggi Balok	h_b	=	750	mm				
Tinggi Bersih Kolom	L_n	=	2750	mm				

1,2 Material

Kuat Tekan Beton	f_c'	=	30	MPa (K-350)	β_1	=	0,836
Kuat Leleh Baja Tulangan Longitudinal	f_y	=	420	MPa (BjTS 420)			
Kuat Leleh Baja Tulangan Transversal	f_{yv}	=	420	MPa (BjTS 420)			

1,3 Diameter Tulangan

Diameter Tulangan Longitudinal	d_b	=	22	mm	A_b	=	380,13	mm ²
Diameter Tulangan Sengkang	d_s	=	16	mm	A_v	=	201,06	mm ²

1,4 Tulangan Longitudinal/Utama

Jumlah Tulangan X	n_x	=	11					
Jumlah Tulangan Y	n_y	=	11					
Jumlah Total Tulangan Longitudinal	n	=	40		A_s	=	15205,31	mm ²

1,5 Tulangan Transversal/Sengkang

Jumlah Kaki Sengkang Tumpuan Arah X	$n_{vs,x}$	=	5		$A_{vs,x}$	=	1005,31	mm ²
Jumlah Kaki Sengkang Tumpuan Arah Y	$n_{vs,y}$	=	5		$A_{vs,y}$	=	1005,31	mm ³
Jumlah Kaki Sengkang Lapangan Arah X	$n_{vm,x}$	=	5		$A_{vm,x}$	=	1005,31	mm ⁴
Jumlah Kaki Sengkang Lapangan Arah Y	$n_{vm,y}$	=	5		$A_{vm,y}$	=	1005,31	mm ⁵
Spasi Sengkang Tumpuan	s_s	=	100	mm				
Spasi Sengkang Lapangan	s_m	=	100	mm				

1,6 Gaya Dalam

Aksial-Lentur

Kondisi	P	MX	MY	Mu
	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
P Max	-1267,00	208,06	204,47	291,714
P Min	5056,56	-808,90	-1274,58	1509,595
MX Max	-38,71	923,67	1042,08	1392,508
MX Min	3857,21	-838,29	-1208,05	1470,414
MY Max	-1238,06	894,28	1108,61	1424,337
MY Min	5056,56	-808,90	-1274,58	1509,595

Geser

Gaya Geser Sumbu X

$$V_{ux} = 482,76 \text{ kN}$$

Gaya Geser Sumbu Y

$$V_{uy} = 303,66 \text{ kN}$$

2 Pengecekan Syarat Geometri

Syarat Sisi Pendek

$$\rightarrow b \geq 300$$

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$\rightarrow 900 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ OK}$$

Syarat Rasio Sisi Pendek per Panjang

$$\rightarrow \frac{b}{h} \geq 0,4$$

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1)

$$\rightarrow \frac{900}{900} \geq 0,4$$

$$\rightarrow 1 > 0,4 \text{ OK}$$

3 Desain Aksial-Lentur

3,1 Pengecekan Syarat Rasio Tulangan

Luas Tulangan Longitudinal

$$\begin{aligned} A_s &= n \times A_b \\ &= 40 \times 380,133 \\ &= 15205,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 900 \times 900 \\ &= 810000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{15205,3}{810000} = 1,88\%$$

(SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1)

$$1\% < 1,88\% < 6\% \text{ OK}$$

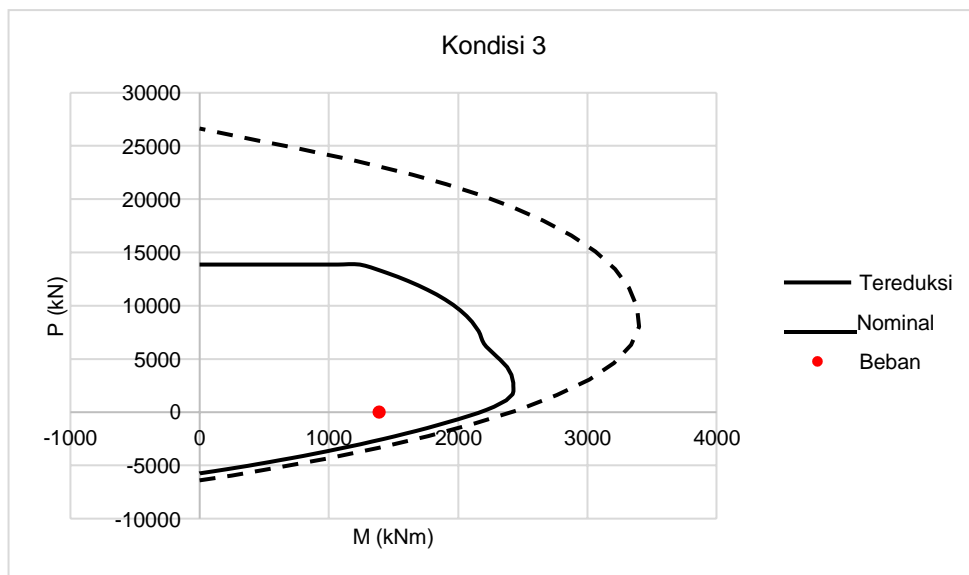
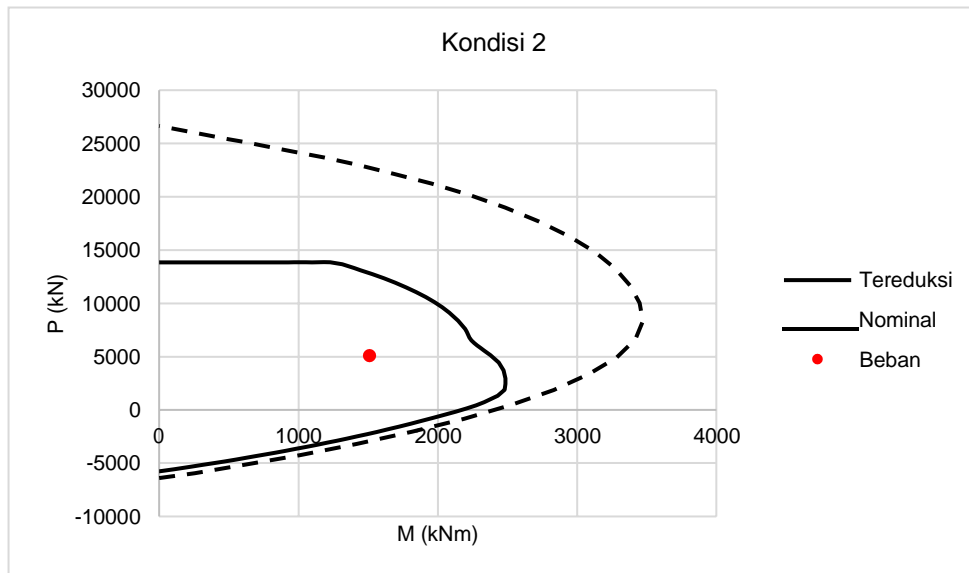
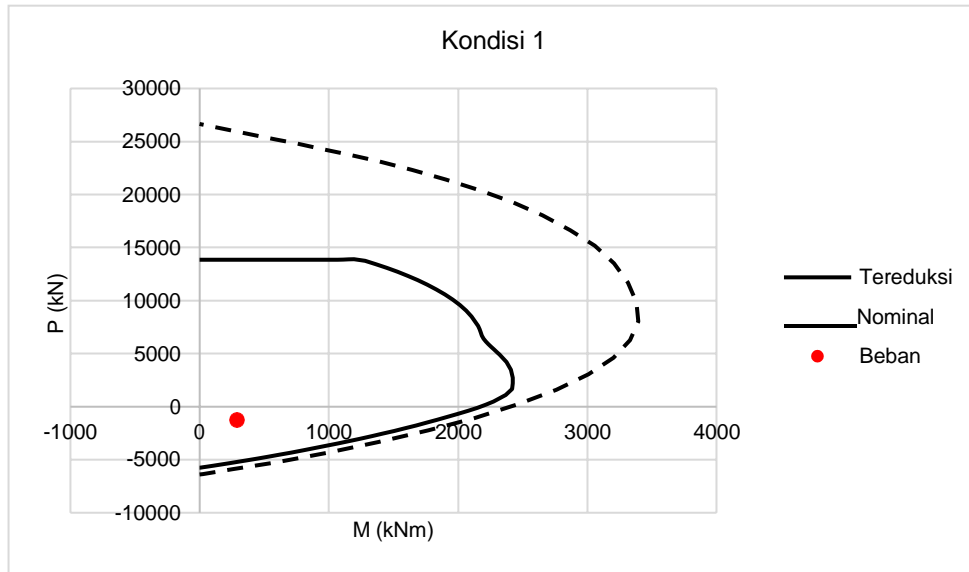
1,72

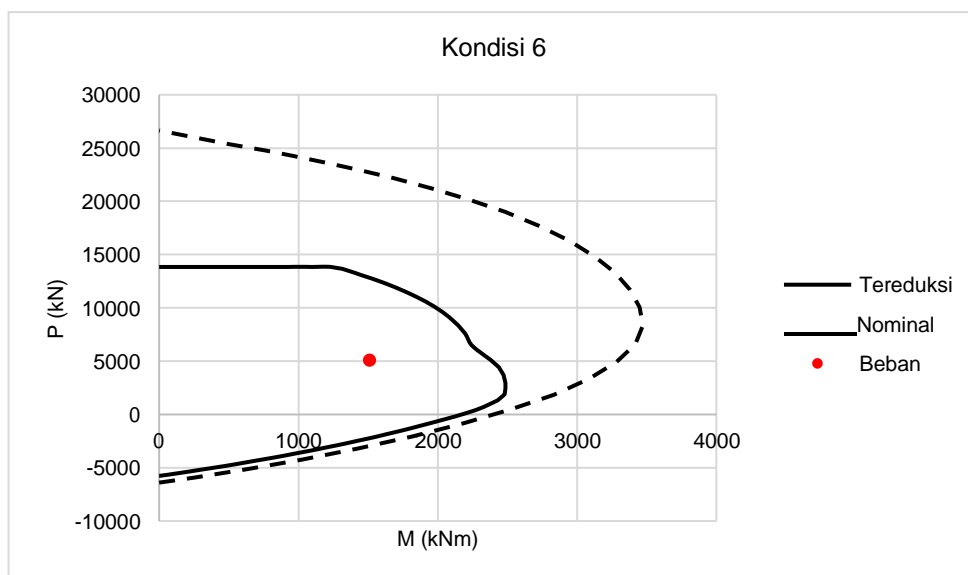
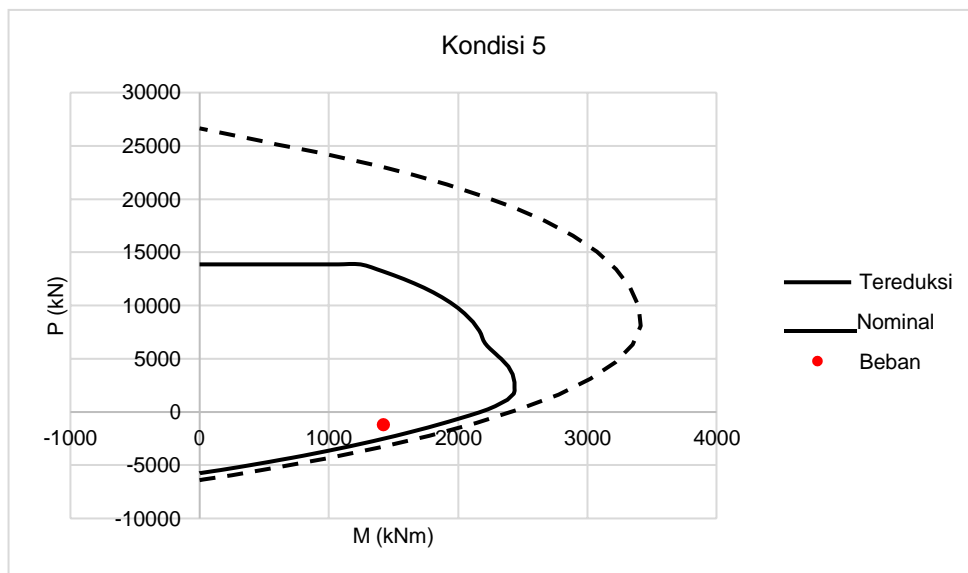
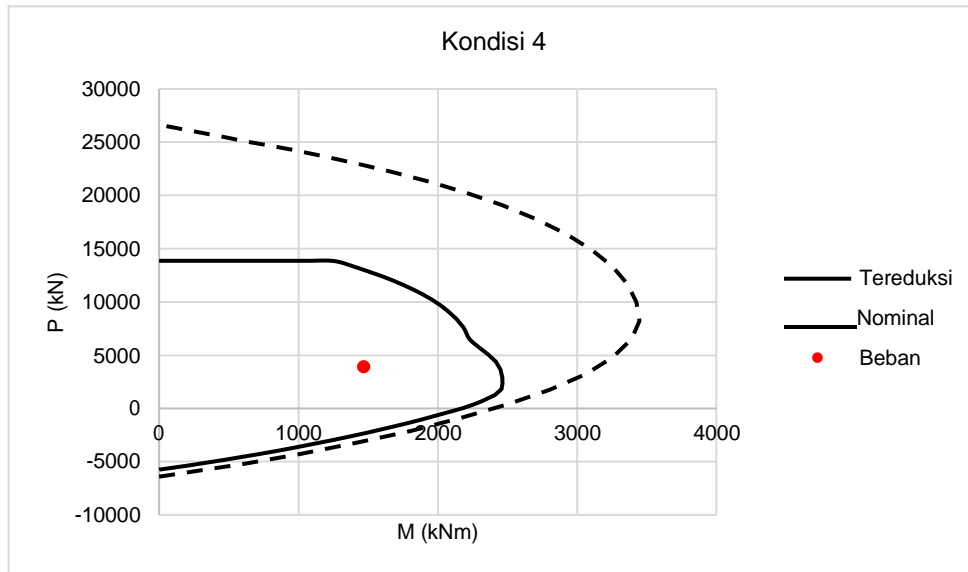
3,2 Pengecekan Kapasitas Aksial-Lentur

Tabel Rekapitulasi

Kondisi	P	MX	MY	$\phi M_n / M_u$	c	d _t	ϵ_{st}	ϕ	Cek
	(kN)	(kNm)	(kNm)		(mm)	(mm)			
P Max	-1266,9982	208,0577	204,4726	6,383	346,6	1178,0	0,0072	0,900	OK
P Min	5056,56	-808,8955	-1274,5845	1,636	548,2	1149,7	0,0033	0,750	OK
MX Max	-38,7088	923,6653	1042,0753	1,549	394,4	1175,9	0,0060	0,900	OK
MX Min	3857,212	-838,2856	-1208,0537	1,674	518,7	1159,3	0,0037	0,785	OK
MY Max	-1238,0566	894,2753	1108,6061	1,309	343,4	1171,4	0,0073	0,900	OK
MY Min	5056,56	-808,8955	-1274,5845	1,636	548,2	1149,7	0,0033	0,750	OK

Diagram Interaksi





3,3 Pengecekan Syarat Kolom Kuat-Balok Lemah/*Strong Column Weak Beam (SCWB)*

Momen Nominal Kolom Sumbu X	$M_{nk,X} = 1475,6$ kNm
Momen Nominal Kolom Sumbu Y	$M_{nk,Y} = 1450,2$ kNm
Momen Nominal Tumpuan (-) Balok Arah Y	$M_{nb,Y}^- = 610,3$ kNm
Momen Nominal Tumpuan (+) Balok Arah Y	$M_{nb,Y}^+ = 548,3$ kNm
Momen Nominal Tumpuan (-) Balok Arah X	$M_{nb,X}^- = 610,3$ kNm
Momen Nominal Tumpuan (+) Balok Arah X	$M_{nb,X}^+ = 548,3$ kNm
Pengecekan SCWB Momen X Kolom (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2)	$\begin{aligned} \rightarrow 2 M_{nk,X} &> 1,2 \times M_{nb,Y}^- + M_{nb,Y}^+ \\ 2951,2 &> 1,2 \times 610,3 + 548,3 \\ 2951,2 &> 1390,37 \text{ OK} \end{aligned}$
Pengecekan SCWB Momen Y Kolom (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2)	$\begin{aligned} \rightarrow 2 M_{nk,Y} &> 1,2 \times M_{nb,X}^- + M_{nb,X}^+ \\ 2900,4 &> 1,2 \times 610,3 + 548,3 \\ 2900,4 &> 1390,37 \text{ OK} \end{aligned}$

4 Desain Geser

4,1 Desain Geser Tumpuan

Momen Probable Kolom Sumbu X	$M_{pr,X} = 3914,0$ kNm
Momen Probable Kolom Sumbu Y	$M_{pr,Y} = 3914,0$ kNm
Gaya Geser Probable Sumbu X (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1)	$\begin{aligned} V_{pr,X} &= \frac{2 \times M_{pr,Y}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 3914,0}{2750} \\ &= 2846533 \text{ N} \end{aligned}$
Gaya Geser Probable Sumbu Y (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1)	$\begin{aligned} V_{pr,Y} &= \frac{2 \times M_{pr,X}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 3914,0}{2750} \\ &= 2846533 \text{ N} \end{aligned}$
Gaya Geser Pakai Sumbu X	$\begin{aligned} V_{u,X} &= \text{MAX} \left\{ V_{ux} ; V_{pr,X} \right\} \\ &= \text{MAX} \left\{ 482764 ; 2846533 \right\} \\ &= 2846533 \text{ N} \end{aligned}$
Gaya Geser Pakai Sumbu Y	$\begin{aligned} V_{u,Y} &= \text{MAX} \left\{ V_{uy} ; V_{pr,Y} \right\} \\ &= \text{MAX} \left\{ 303658 ; 2846533 \right\} \\ &= 2846533 \text{ N} \end{aligned}$
Kapasitas Geser Beton Sumbu X (SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1)	$\begin{aligned} V_{c,X} &= 0,17 \times \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \times \sqrt{f_c'} \times h \times d_2 \\ &= 0,17 \times \left[1 + \frac{5056560}{14 \times 810000} \right] \times \sqrt{30} \times 900 \\ &= 1009338 \text{ N} \end{aligned}$
Kapasitas Geser Beton Sumbu Y (SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1)	$\begin{aligned} V_{c,Y} &= 0,17 \times \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \times f_c' \times b \times d_1 \\ &= 0,17 \times \left[1 + \frac{5056560}{14 \times 810000} \right] \times \sqrt{30} \times 900 \\ &= 1009338 \text{ N} \end{aligned}$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$V_{s,X} = \frac{A_{vs,X} \times f_{yv} \times d_2}{s_s}$$

$$= \frac{1005,31 \times 420 \times 833}{100}$$

$$= 3517176 \text{ N}$$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$V_{s,X} = \frac{A_{vs,Y} \times f_{yv} \times d_1}{s_s}$$

$$= \frac{1005,31 \times 420 \times 833}{100}$$

$$= 3517176 \text{ N}$$

Faktor Reduksi

(SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$V_{n,X} = \phi \times (V_{c,X} + V_{s,X})$$

$$= 0,75 \times (1009338 + 3517176)$$

$$= 3394886 \text{ N} > 2846533 \text{ N OK}$$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$V_{n,Y} = \phi \times (V_{c,Y} + V_{s,Y})$$

$$= 0,75 \times (1009338 + 3517176)$$

$$= 3394886 \text{ N} > 2846533 \text{ N OK}$$

4,2 Desain Geser Lapangan

Kapasitas Geser Beton Sumbu X

$$V_{c,X} = 1009338 \text{ N}$$

Kapasitas Geser Beton Sumbu Y

$$V_{c,Y} = 1009338 \text{ N}$$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$V_{s,X} = \frac{A_{vm,X} \times f_{yv} \times d_2}{s_m}$$

$$= \frac{1005,31 \times 420 \times 833}{100}$$

$$= 3517176 \text{ N}$$

Kapasitas Geser Baja Tulangan Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3)

$$V_{s,X} = \frac{A_{vm,Y} \times f_{yv} \times d_1}{s_m}$$

$$= \frac{1005,31 \times 420 \times 833}{100}$$

$$= 3517176 \text{ N}$$

Faktor Reduksi

$$\phi = 0,75$$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu X
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$V_{n,X} = \phi \times (V_{c,X} + V_{s,X})$$

$$= 0,75 \times (1009338 + 3517176)$$

$$= 3394886 \text{ N} > 482764 \text{ N OK}$$

Kapasitas Nominal Kolom Sumbu Y
(SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1)

$$V_{n,Y} = \phi \times (V_{c,Y} + V_{s,Y})$$

$$= 0,75 \times (1009338 + 3517176)$$

$$= 3394886 \text{ N} > 303658 \text{ N OK}$$

5 Pengecekan Confinement, Jarak Antar Kaki Sengkang, dan Spasi Sengkang

5,1 Tulangan Sengkang Tumpuan Minimum

Luas per Spasi Sengkang X Terpasang $\frac{A_{sh,x}}{s} = \frac{A_{vs,x}}{s_s} = \frac{1005,31}{100} = 10,053 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Luas per Spasi Sengkang Y Terpasang $\frac{A_{sh,y}}{s} = \frac{A_{vs,y}}{s_s} = \frac{1005,31}{100} = 10,053 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Lebar Inti Beton $b_c = b - 2c_c - 2d_s - d_b = 766 \text{ mm}$
(SNI 2847:2019 R18.7.5.2)

Panjang Inti Beton $h_c = h - 2c_c - 2d_s - d_b = 766 \text{ mm}$
(SNI 2847:2019 R18.7.5.2)

Luas Inti Beton $A_{ch} = b_c \times h_c = 586756 \text{ mm}^2$
(SNI 2847:2019 R18.7.5.2)

Luas per Spasi Sengkang X Perlu
(SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4)

$$\frac{A_{sh,x}}{s} > \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \\ 0,3 \times h_c \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_y} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times 766 \times \frac{30}{420} \\ 0,3 \times 766 \times \left(\frac{810000}{586756} - 1 \right) \times \frac{30}{420} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 4,924 \\ 6,245 \end{array} \right\}$$

10,053 > 6,245 mm²/mm **OK**

Luas per Spasi Sengkang Y Perlu
(SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4)

$$\frac{A_{sh,y}}{s} > \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \\ 0,3 \times b_c \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_y} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times 766 \times \frac{30}{420} \\ 0,3 \times 766 \times \left(\frac{810000}{586756} - 1 \right) \times \frac{30}{420} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 4,924 \\ 6,245 \end{array} \right\}$$

10,053 > 6,245 mm²/mm **OK**

5,2 Tulangan Senggang Lapangan Minimum

Luas per Spasi Senggang X Terpasang $\frac{A_{v,x}}{s} = \frac{A_{vm,x}}{s_m} = \frac{1005,31}{100} = 10,053 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Luas per Spasi Senggang Y Terpasang $\frac{A_{v,y}}{s} = \frac{A_{vm,y}}{s_m} = \frac{1005,31}{100} = 10,053 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Luas per Spasi Senggang X Perlu
(SNI 2847:2019 pasal 10.6.2.2)

$$\frac{A_{v,x}}{s} > \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{h}{f_y} \\ 0,35 \times \frac{h}{f_y} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{900}{420} \\ 0,3 \times \frac{900}{420} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 0,728 \\ 0,643 \end{array} \right\}$$

10,053 > 0,728 mm²/mm **OK**

Luas per Spasi Senggang Y Perlu
(SNI 2847:2019 pasal 10.6.2.2)

$$\frac{A_{v,y}}{s} > \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{b}{f_y} \\ 0,35 \times \frac{b}{f_y} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{900}{420} \\ 0,3 \times \frac{900}{420} \end{array} \right\}$$

$$10,053 > \left\{ \begin{array}{l} 0,728 \\ 0,643 \end{array} \right\}$$

10,053 > 0,728 mm²/mm **OK**

5,3 Spasi dan Jarak Antar Kaki Senggang Maksimum

Spasi Senggang Tumpuan Maximum
(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3)

$$s_{s,max} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{4} \\ 6 d_b \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - x_{i,max}}{3} \leq 150 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \frac{900}{4} \\ 6 \times 22 \\ 100 \leq 100 + \frac{350 - 229,8}{3} \leq 150 \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 225 \\ 132 \\ 140,1 \end{array} \right\}$$

= 132 mm > 100 mm **OK**

Spasi Senggang Lapangan Maximum
(SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3)

$$\begin{aligned}
 S_{s,max} &= \left\{ \begin{array}{l} 6 d_b \\ 150 \end{array} \right\} \\
 &= \left\{ \begin{array}{l} 6 \times 22 \\ 150 \end{array} \right\} \\
 &= \left\{ \begin{array}{l} 132 \\ 150 \end{array} \right\} \\
 &= 132 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Jarak Antar Kaki Senggang Max

$$X_{i,max} \leq 350 \text{ mm}$$

Jarak Antar Kaki Tumpuan X Max

$$X_{sx} = 229,8 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Jarak Antar Kaki Tumpuan Y Max

$$X_{sy} = 229,8 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Jarak Antar Kaki Lapangan X Max

$$X_{mx} = 229,8 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Jarak Antar Kaki Lapangan X Max

$$X_{my} = 229,8 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

(SNI 2847:2019 gambar R18.7.5.3)

5,4 Spasi Tulangan Longitudinal Minimum & Maksimum

Spasi Tulangan Longitudinal Minimum

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.3)

$$\begin{aligned}
 S_{s,min} &= \left\{ \begin{array}{l} 40 \\ 1,5d_t \\ 4/3\text{agregat} \end{array} \right\} \\
 &= \left\{ \begin{array}{l} 40 \\ 1,5 \times 22 \\ 1,3 \times 20 \end{array} \right\} \\
 &= \left\{ \begin{array}{l} 40 \\ 33 \\ 26,6 \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

Spasi Tulangan Longitudinal arah X

$$= 40 \text{ mm} < 49,8 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Spasi Tulangan Longitudinal arah Y

$$= 40 \text{ mm} < 49,8 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Spasi Tulangan Longitudinal Maksimum Tanpa Senggang
Senggang

$$S_{s,max} = 150 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2019 Gambar R25.7.2.3a)

Spasi Tulangan Longitudinal arah X

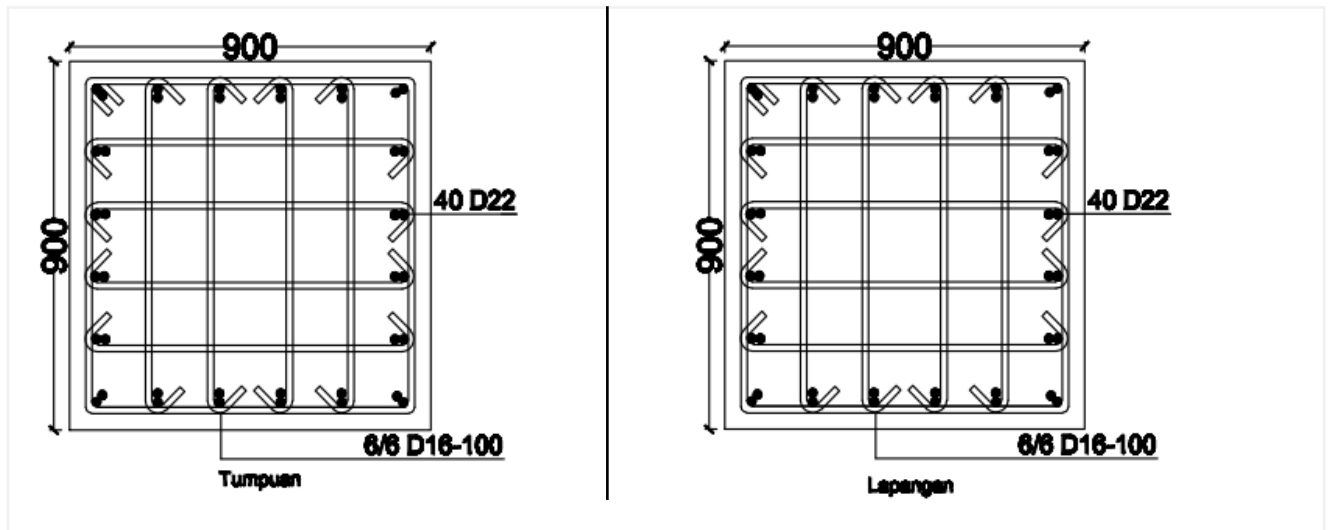
$$= 150 \text{ mm} > 49,8 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Spasi Tulangan Longitudinal arah Y

$$= 150 \text{ mm} > 49,8 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

6 Kesimpulan

6,1 Sketsa Kolom



6,2 Rekapitulasi Hasil Desain

No	Parameter	Cek
1	Syarat Geometri	OK
2	Rasio Tulangan Lentur	OK
3	Kapasitas Aksial-Lentur	OK
4	Syarat Kolom Kuat-Balok Lemah	OK
5	Kapasitas Geser Tumpuan	OK
6	Kapasitas Geser Lapangan	OK
7	Tulangan Sengkang Tumpuan	OK
8	Tulangan Sengkang Lapangan	OK
9	Spasi Sengkang Tumpuan Maximum	OK
10	Spasi Sengkang Lapangan Maksimum	OK
11	Jarak Antar Kaki Sengkang Maksimum	OK
12	Spasi Tulangan Longitudinal Minimum	OK
13	Spasi Tulangan Longitudinal Maksimum	OK



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MUHAMMAD YUSRIL FAISAL
NPM : 1707210004
JUDUL : "ANALISIS SISTEM STRUKTUR DAN DIMENSI STRUKTUR GEDUNG PERKANTORAN PADA BERBAGAI JENIS KONDISI TANAH DI KOTA MEDAN"

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
①	1/7-2021	Aca Untuk Ujian proposal	
②	7/10-2021	- Perbaiki Bab II - Lanjutkan	
③	12/10-2021	* Revisi Analisis * perbaiki slide untuk lebih	
④	27/10-2021	- Lanjut Analisis kepedang ke Coura	

DOSEN PEMBIMBING,

(TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T.,M.T.)



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MUHAMMAD YUSRIL FAISAL
NPM : 1707210004
JUDUL : "ANALISIS SISTEM STRUKTUR DAN DIMENSI STRUKTUR GEDUNG PERKANTORAN PADA BERBAGAI JENIS KONDISI TANAH DI KOTA MEDAN"

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	16/11-2021	Lanjut ke Lantai 10	
6	26/3-2022	* Batas untuk kondisi 10 lantai dan site yang berbeda	
7	30/3-2022	* Lanjut ke analisa Gedung 10 Lt tanah keras * Analisis Manual kolom * Bab IV Taang diampirkan	
8	06/4-2022	* Beda-ran Penthouse * Selesaikan BAB 4 & BAB 5	
9	18/4-2022	Au Seminar Hasil	

DOSEN PEMBIMBING,

(TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T., M.T.)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad Yusril Faisal
Panggilan : Yusril
Tempat, Tanggal Lahir : Klaten, 04 Oktober 1999
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Stadion, Mandau, Duri, Riau
Agama : Islam

Nama Orang Tua

Ayah : Muhammad Rizal
Ibu : Lilik Rahmawati
No. HP : +62852-7117-7665
E-mail : muhammadyusril756@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1707210004
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	MI HUBBUL WATHAN	2011
2	SMP	SMP HUBBUL WATHAN	2014
3	SMA	SMA IT MUTIARA	2017
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2017 sampai selesai		