

TUGAS AKHIR

**DESAIN ELEMEN DAN ANALISA SISTEM STRUKTUR
RUMAH SAKIT TERHADAP KELAS SITUS TANAH LUNAK,
TANAH SEDANG DAN TANAH KERAS DI KOTA MEDAN**

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

Disusun Oleh:

WINDA TARI UTAMI
1707210084



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Winda Tari Utami

NPM : 1707210084

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Desain Struktur Utama dan Analisa Sistem Struktur
Rumah Sakit Terhadap Kelas Situs Tanah Lunak, Tanah
Sedang dan Tanah Keras di Kota Medan

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 20 Mei 2022

Dosen Pembimbing


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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Winda Tari Utami
NPM : 1707210084
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Desain Struktur Utama dan Analisa Sistem Struktur
Rumah Sakit Terhadap Kelas Situs Tanah Lunak, Tanah
Sedang dan Tanah Keras 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 Apriyesh Putera, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I



Dr. Ade Faissal

Dosen Penguji II



Dr. Fahrizal Zulkamsain

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkamsain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Winda Tari Utami
Tempat, Tanggal Lahir : Gondang Rejo, 03 September 1998
NPM : 1707210084
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Desain Struktur Utama dan Analisa Sistem Struktur Rumah Sakit Terhadap Kelas Situs Tanah Lunak, Tanah Sedang dan Tanah Keras 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 orisinal dan otentik.

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


The stamp is circular with a yellow background and a red border. It features the Garuda Pancasila emblem at the top, the text 'UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA' around the perimeter, and 'KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN' at the bottom. A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

ABSTRAK

DESAIN STRUKTUR UTAMA DAN ANALISA SISTEM STRUKTUR RUMAH SAKIT TERHADAP KELAS SITUS TANAH LUNAK, TANAH SEDANG DAN TANAH KERAS DI KOTA MEDAN

Winda Tari Utami
1707210084

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

Keberadaan wilayah Indonesia yang secara tektonis menjadi tempat bertemunya 3 lempeng tektonik dunia, menyebabkan Indonesia rawan terhadap bencana alam gempa bumi. Untuk itu desain gedung tahan gempa sudah seharusnya menjadi fokus para perencanaa struktur di Indonesia. Dalam proses perencanaan gedung tahan gempa, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah pengaruh dari lokasi dan kondisi tanah. Masing-masing kelas situs tanah memiliki karakteristik dan pengaruh pada resiko ketahanan bangunan yang berbeda saat terjadi gempa. Pada akhirnya hal tersebut mempengaruhi bagaimana desain struktur yang akan dibangun. Selain itu penggunaan peraturan terbaru sebagai acuan dalam perancangan struktur bangunan juga perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil desain struktur yang efektif dan aplikatif. Dalam tugas akhir ini terdapat 3 model struktur gedung rumah sakit 5 lantai dengan sistem SRPMK. Model pertama yaitu struktur berlokasi di tanah lunak (SE), model kedua berlokasi di tanah sedang (SD), dan model ketiga struktur berada di tanah keras (SC). Struktur menggunakan material beton bertulang dengan input beban yang sama pada ketiga model. Berdasarkan hasil analisa menggunakan bantuan program analisa struktur, didapat nilai gaya geser pada model 1 ($X= 3766.73$, $Y= 3766.29$), model 2 ($X= 3639.54$, $Y=3639.71$), dan model 3 ($X= 3834.71$, $Y=3834.52$). Ketiga model telah memenuhi syarat pada analisa perilaku. Berdasarkan analisa dapat dilihat bahwa semakin keras tanah tempat struktur dibangun belum tentu semakin kecil pula gaya gempanya, hal ini disebabkan oleh faktor yang mempengaruhi nilai koefisien respon seismik (C_s), khususnya nilai parameter spektral respons percepatan desain pada perioda pendek (S_{ds}) dan periode 1 detik (S_{d1}). Meningkatnya gaya gempa akan berpengaruh terhadap kebutuhan kekuatan elemen yang lebih besar pula.

Kata kunci: SRPMK, Situs Tanah, Gaya Gempa.

ABSTRACT

MAIN STRUCTURE DESIGN AND SYSTEM ANALYSIS OF HOSPITAL STRUCTURE ON SOFT, MEDIUM AND HARD SOIL SITE CLASSES IN MEDAN CITY

Winda Tari Utami
1707210084

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

The existence of Indonesia's territory, which is tectonically the place where the 3 tectonic plates of the world meet, causes Indonesia to be prone to earthquakes. For this reason, the design of earthquake-resistant buildings should be the focus of structural planners in Indonesia. In the process of designing earthquake-resistant buildings, one of the factors that need to be considered is the influence of location and soil conditions. Each class of soil site has different characteristics and influences on the risk of building resilience during an earthquake. In the end it affects how the design of the structure to be built. In addition, the use of the latest regulations as a reference in the design of building structures also needs to be considered to obtain effective and applicable structural design results. In this final project, there are 3 structural models of a 5-storey hospital building with the SRPMK system. The first model is that the structure is located on soft soil (SE), the second model is located on medium soil (SD), and the third model is on hard soil (SC). The structure uses reinforced concrete material with the same load input in all three models. Based on the results of the analysis using the structural analysis program, the shear force values obtained in model 1 ($X= 3766.73$, $Y= 3766.29$), model 2 ($X= 3639.54$, $Y=3639.71$), and model 3 ($X= 3834.71$, $Y=3834.52$). The three models have met the requirements of behavioral analysis. Based on the analysis, it can be seen that the harder the soil where the structure is built is not necessarily the smaller the earthquake force, this is due to factors that affect the value of the seismic response coefficient (C_s), in particular the value of the design acceleration response spectral parameter in the short period (S_d) and period 1 seconds (S_{d1}). The increase in earthquake forces will affect the need for greater element strength as well.

Keywords: SRPMK, Soil Site, Earthquake Force.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah atas segala nikmat, rahmat dan karunia yang tak terhitung. Shalawat dan salam atas pemimpin sekaligus tauladan terbaik sepanjang zaman, Nabi Muhammad saw. Syukur yang tak terhingga atas nikmat Allah yang telah mengizinkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang berjudul “Desain Struktur Utama dan Analisa Sistem Struktur Rumah Sakit Terhadap Kelas Situs Tanah Lunak, Tanah Sedang dan Tanah Keras di Kota Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Selesainya Laporan Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan banyak pihak, dengan segala keterbatasan penulis, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rizki Elfrida, S.T, M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Penguji I sekaligus Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah memberi masukan dan koreksi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Penguji II yang telah memberi masukan serta koreksinya kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Seluruh Bapak/ Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu di bidang Teknik Sipil kepada penulis.
8. Bapak/ Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kedua orang tua penulis, Ayahanda Sudiono Ahmad dan Ibunda Mesiyah, untuk keduanya tugas akhir ini penulis persembahkan. Terimakasih tidak akan pernah cukup untuk segala kebaikan Ibu dan Ayah, oleh karena itu penulis berharap semoga Allah melimpahkan kasih sayangNya dan balasan terbaik kepada Ibu dan Ayah atas segala pengorbanan, kesabaran, nasehat, bimbingan dan doanya yang begitu luas dalam setiap langkah hidup penulis.
10. Kakak dan Abang penulis tercinta, terimakasih atas segala dukungan, nasihat dan doa yang melimpah serta penerimaannya terhadap pribadi penulis.
11. Bang Ahmad Zainuddin dan Kak Fitri Yuliani, yang telah setia menjadi teman bertukar pikiran, teman ngobrol dan pendengar terbaik di setiap langkah hidup penulis.
12. Rekan-rekan seperjuangan di Teknik Sipil angkatan 2017 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas segala bantuan, kerja sama dan dukungannya. Terimakasih telah menjadi bagian selama menempuh masa perkuliahan.
13. Sahabat-sahabatku di Sipil 17 Asya Rizky Ila Utami, Sri Devi Tara Diva Sialagan, Yureina, Dea, Uswatun, Arini, Amirul, Dio, Firza, Kaesang dan rekan kelas B1-Pagi lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. *I can't express how grateful I am for all your help and kindness.* Terimakasih telah selalu ada dan sama-sama berjuang.
14. Rekan seperbimbingan dan seperjuangan Muhammad Yusril Faisal, *Big Thanks for all your help, your patience, kindness. Thank you for struggle and always there.* Semoga ilmu ini bermanfaat untuk kita dan lebih banyak orang.
15. Inspirasiku: Adinda Nadila Suntika, Nurul Khafifah Lubis, Nanda Fitriani dan ukhtinafillah lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
16. Alfalah Print, tempat print paling support dalam masa- masa penyusunan skripsi ini.

17. Channel youtube *8minute learn* yang telah sangat berjasa dengan konten-konten yang sangat bermanfaat di bidang teknik sipil, terkhusus Abangda Alif Muhammad Reza yang telah banyak sabar menanggapi ketidaktahuan penulis, terimakasih atas ilmunya di bidang teknik sipil yang telah memudahkan dalam penulisan skripsi ini.

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

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karenanya penulis memohon maaf dan mengharap adanya saran dan kritik yang membangun.

Akhir kata, penulis berharap penyusunan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya. Kepada Allah swt penulis serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sempurna.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, April 2022

Penulis

Winda Tari Utami

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen	5
2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa	6
2.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah	7
2.2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	7
2.3 Beton Bertulang	7
2.3.1 Mutu Beton	8
2.3.2 Faktor Keamanan	8
2.3.3 Kekuatan Beton Bertulang	9
2.3.4 Balok	10
2.3.5 Kolom	11
2.4 Perilaku Bangunan Tahan Gempa	12
	x

2.5	Konsep SCWB	14
2.6	Batasan Sistem Seismik Struktur dan Batasan Tinggi Struktur Menurut SNI 1726:2019	15
2.7	Tata Cara Perencanaan Gedung Tahan Gempa	16
2.7.1	Gempa Rencana	17
2.7.2	Arah Pembebanan Gempa	17
2.7.3	Prosedur Analisis	17
2.7.4	Struktur Penahan Gaya Seismik	18
2.7.5	Spektrum Respon Desain	18
2.8	Evaluasi Kriteria SRPM Dengan Metode Respon Spektrum	23
2.8.1	Analisis Respon Spektrum Ragam	23
2.8.2	Geser Dasar Seismik	24
2.8.3	Perioda Alami Struktur	26
2.8.4	Penentuan Simpangan Antar Lantai	27
2.8.5	Pengaruh P-Delta	29
2.8.6	Ketidakteraturan Horizontal	30
2.8.7	Ketidakteraturan Vertikal	31
2.9	Pembebanan Untuk Perencanaan Bangunan Gedung	32
2.9.1	Beban Mati	32
2.9.2	Beban Hidup	33
2.9.3	Beban Gempa	35
2.9.4	Kombinasi Pembebanan	36
BAB 3 METODE PENELITIAN		38
3.1	Metodologi Penelitian	38
3.2	Permodelan Struktur	40
3.2.1	Data Perencanaan Struktur	40
3.2.2	Konfigurasi Bangunan	40
3.2.3	Faktor Redudansi	43
3.2.4	Dimensi Rencana Kolom, Balok, dan Plat Lantai	44
3.3	Pembebanan Struktur	45
3.3.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	45
3.3.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	47

3.3.3	Beban Angin	48
3.3.4	Beban Gempa	48
3.4	Kombinasi Pembebanan	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Tinjauan Umum	50
4.2	Analisa Perilaku Struktur Model 5 Lantai di Situs Tanah Lunak, Tanah Sedang dan Tanah Keras	50
4.2.1	Periode Fundamental Struktur	50
4.2.2	Berat Struktur dan Pusat Massa	51
4.2.3	Gaya Geser Dasar Nominal	52
4.2.4	Simpangan Antar Lantai	54
4.2.5	Pengaruh P-Delta	56
4.2.6	Ketidakteraturan Horizontal	57
a.	Ketidakteraturan Torsi dan Torsi Berlebihan	58
4.2.7	Ketidakteraturan Vertikal	59
a.	Ketidakteraturan Tingkat Lunak dan Tingkat Lunak Berlebihan (<i>Soft Story</i>)/ Ketidakteraturan Vertikal 1a dan 1b	60
b.	Ketidakteraturan Massa	63
c.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	64
4.3	Desain Elemen Struktur pada Tanah Lunak, Tanah Sedang dan Tanah Keras	66
4.3.1	Desain Elemen Balok (B24 Lt. 2)	67
4.3.2	Desain Kolom (C2 Lt. 1)	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019	19
Tabel 2.2	Simpangan antar lantai izin (Δa) berdasarkan SNI 1726:2019	29
Tabel 2.3	Faktor elemen beban hidup, K_{LL} berdasarkan SNI 1727:2020	34
Tabel 3.1	Dimensi komponen struktur yang digunakan dalam analisis	44
Tabel 3.2	Berat material konstruksi berdasarkan PPPURG 1987	45
Tabel 3.3	Berat komponen gedung berdasarkan PPURG 1987	46
Tabel 3.4	Besaran beban hidup sesuai fungsinya	47
Tabel 4.1	Massa struktur, pusat massa dan analisis struktur Model 1, Model 2 dan Model 3	51
Tabel 4.2	Nilai V , V_t , dan penyesuaian skala gempa pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras arah x dan y	52
Tabel 4.3	Nilai gaya geser dasar pada struktur di tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras	53
Tabel 4.4	Nilai simpangan antar lantai (<i>story drift</i>) pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras	55
Tabel 4.5	Nilai koefisien stabilitas struktur pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras	56
Tabel 4.6	Hasil analisa ketidakberaturan torsi struktur arah x pada ketiga kondisi tanah	58
Tabel 4.7	Hasil analisa ketidakberaturan torsi struktur arah y pada ketiga kondisi tanah	58
Tabel 4.8	Hasil analisa ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a dan 1b) struktur pada ketiga kondisi tanah arah x	60
Tabel 4.9	Hasil analisa ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (5a dan 5b) struktur pada ketiga kondisi tanah arah y	61
Tabel 4.10	Kontrol ketidakberaturan massa struktur	63
Tabel 4.11	Hasil analisa ketidakberaturan lateral tingkat arah x struktur pada ketiga kondisi tanah	64
Tabel 4.12	Hasil analisa ketidakberaturan lateral tingkat arah y struktur pada ketiga kondisi tanah	65
Tabel 4.13	Output gaya dalam untuk desain balok pada ketiga kondisi tanah	67
Tabel 4.14	Rekapitulasi kebutuhan luas tulangan dan rasio pada balok di ketiga kondisi tanah	67
Tabel 4.15	Rekapitulasi nilai M_u , M_n , V_u , dan V_n balok (B24) pada	

	model 1, 2 & 3	68
Tabel 4.16	Rekapitulasi tulangan balok pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras	69
Tabel 4.17	Output gaya dalam kolom (C2 lantai 1) pada model 1, 2 dan 3	71
Tabel 4.18	Nilai A_s & ρ perlu dan A_s & ρ pakai kolom (C2) pada model , 2 & 3	71
Tabel 4.19	Nilai M_u , M_n , V_u , dan V_n kolom (C2) pada model 1, 2 & 3	72
Tabel 4.20	Rekapitulasi tulangan kolom pada struktur 5 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tulangan penyusun balok yang terdiri dari; tulangan lentur, geser dan torsi	10
Gambar 2.2	Struktur kolom bergoyang dan tak bergoyang	12
Gambar 2.3	Macam-macam respon akibat beban siklik	13
Gambar 2.4	Ilustrasi desain SCWB struktur beton bertulang	14
Gambar 2.5	Pola pembentukan sendi plastis	15
Gambar 2.6	Spektrum respons desain	22
Gambar 2.7	Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2019	28
Gambar 2.8	Tipe ketidakberaturan horizontal pada struktur	30
Gambar 2.9	Tipe ketidakberaturan vertikal pada struktur	31
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	38
Gambar 3.2	Denah struktur gedung	41
Gambar 3.3	Tampak samping struktur gedung	42
Gambar 3.4	Model 3D struktur 5 lantai	42
Gambar 3.5	Elemen balok dan kolom yang ditinjau	43
Gambar 3.6	Grafik respons spektrum desain gempa Kota Medan dengan kondisi tanah lunak (SE), tanah sedang (SD) dan tanah keras (SC)	48
Gambar 4.1	Penerapan eksentrisitas 5% pada model di program analisa struktur	52
Gambar 4.2	Perbandingan nilai gaya geser dasar arah x pada tiga kondisi tanah	53
Gambar 4.3	Perbandingan nilai gaya geser dasar arah y pada tiga Kondisi tanah	54
Gambar 4.4	Perbandingan nilai simpangan antar lantai (<i>story drift</i>) arah x pada ketiga kondisi tanah	55
Gambar 4.5	Perbandingan nilai simpangan antar lantai (<i>story drift</i>) arah y pada ketiga kondisi tanah	55
Gambar 4.6	Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur di ketiga kondisi tanah pada arah x	57
Gambar 4.7	Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur di ketiga kondisi tanah pada arah y	57
Gambar 4.8	Grafik hasil analisa ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b struktur pada ketiga kondisi tanah (arah x)	59

Gambar 4.9	Grafik hasil analisa ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b struktur pada ketiga kondisi tanah (arah y)	59
Gambar 4.10	Hasil analisa ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b arah x struktur di ketiga kondisi tanah	62
Gambar 4.11	Hasil analisa ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b arah y struktur di ketiga kondisi tanah	62
Gambar 4.12	Hasil koreksi ketidakberaturan massa srtuktur gedung 5 lantai pada ketiga kondisi tanah	64
Gambar 4.13	Koreksi Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b pada struktur di ketiga kondisi tanah (arah x)	66
Gambar 4.14	Koreksi Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b pada struktur di ketiga kondisi tanah (arah y)	66
Gambar 4.15	Luas tulangan balok pada struktur di ketiga kondisi tanah	68
Gambar 4.16	Hasil desain balok pada ketiga kondisi tanah	70
Gambar 4.17	Luas tulangan kolom pada struktur di ketiga kondisi tanah	71
Gambar 4.18	Hasil desain kolom pada ketiga kondisi tanah	73

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang (mm^2)
A _s	= Luas tulangan, (mm^2)
A _T	= Luas tributari (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 _{vx}	= 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 tekanan internal
 g = Percepatan gravitasi (mm/det^2)
 h = Tinggi gedung yang ditinjau (m)
 H = Tinggi bukit terhadap elevasi kawasan disisi 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 tekanan 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 = 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 redundansi
 ρ_{max} = Rasio tulangan tarik maksimum (%)
 ρ_{min} = Rasio tulangan tarik minimum (%)
 Ω_0 = Faktor pembesaran defleksi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data *World Risk Report 2018*, Indonesia berada pada urutan ke 36 dari 172 negara paling rawan bencana alam di dunia. Kondisi ini disebabkan oleh keberadaan Indonesia secara tektonis menjadi tempat bertemunya 3 lempeng tektonik dunia, yaitu Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Salah satu bencana yang cukup sering terjadi di Indonesia adalah gempa bumi (Hadi dkk, 2019). Untuk itu, desain gedung tahan gempa sudah seharusnya menjadi fokus dalam perencanaan struktur gedung di Indonesia.

Dalam proses perencanaan gedung tahan gempa, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah pengaruh dari lokasi serta kondisi tanah. Hal ini karena besarnya beban gempa yang dialami struktur bangunan dapat meningkat akibat pengaruh lapisan tanah di bawah permukaan yang menopang pondasi bangunan. Gelombang gempa dengan frekuensi yang tinggi atau periode yang kecil akan merambat secara efisien di batuan yang keras dan tanah keras, sebaliknya akan mengurangi atau menghilangkan gempa yang mempunyai frekuensi rendah. Sedangkan tanah lunak akan menjadi penghantar yang baik untuk gelombang gempa dengan frekuensi yang rendah (Poliyama & Z. Shander, 2016)

Menurut SNI 1726:2019 terdapat 6 klasifikasi situs tanah, yaitu SA hingga SF. Kelas situs tanah SA adalah kelas situs untuk tanah paling keras dan SF adalah kelas situs untuk tanah paling lunak. Masing-masing kelas situs memiliki karakteristik yang berbeda jika terjadi gempa dan sangat berpengaruh terhadap ketahanan bangunan saat terjadi gempa. Pada akhirnya hal tersebut akan berpengaruh terhadap desain struktur yang akan dibangun.

Indonesia memiliki tingkat risiko seismik atau kategori desain seismik (KDS) yang dibedakan menjadi tiga bagian yaitu risiko seismik rendah untuk KDS A,B, risiko seismik menengah untuk KDS C dan risiko seismik tinggi untuk KDS D,E,F. Kategori desain seismik ditentukan oleh kategori resiko struktur yang ditinjau (I-IV) dan nilai parameter gempa dari situs dimana struktur atau bangunan tersebut akan dibangun (S_{DS} dan S_{D1}). Kategori desain seismik ini akan

menentukan tipe struktur apa yang dapat digunakan yang nantinya berpengaruh pada nilai R (Koefisien Modifikasi Respon) dan pendetailan dari desain struktur tersebut. Selain itu, penggunaan peraturan terbaru sebagai acuan dalam perancangan struktur bangunan juga perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil desain struktur yang efektif dan aplikatif. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan studi analisis perencanaan struktur gedung rumah sakit pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan hasil desain perancangan struktur bangunan bertingkat berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras?
2. Bagaimana perilaku struktur bangunan bertingkat terhadap beban yang bekerja pada kelas situs tanah berbeda sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perbandingan dimensi struktur utama pada bangunan bertingkat pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.
2. Untuk mengetahui perbandingan perilaku struktur bangunan bertingkat terhadap beban yang bekerja pada kelas situs tanah berbeda sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari penyimpangan permasalahan yang meluas maka dalam Tugas Akhir ini ditetapkan suatu batasan masalah sebagai berikut:

1. Perencanaan dan analisis struktur utama dibatasi hanya pada elemen struktur atas, yaitu kolom dan balok. Plat lantai dan sambungan di

asumsikan telah aman. Dalam perencanaan bangunan gedung yang difungsikan sebagai rumah sakit ini, digunakan persyaratan perencanaan struktur yaitu SNI 1727:2020, SNI 2847: 2019 dan SNI 1726:2019. Ketinggian bangunan yang direncanakan dengan material beton bertulang adalah 5 lantai. Sedangkan tinjauan struktur terhadap kelas situs tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras berlokasi di Kota Medan.

2. Dalam penelitian ini, sistem struktur bangunan yang direncanakan memakai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Analisis perilaku struktur dilakukan menggunakan program ETABS. Analisis terkait biaya dan waktu tidak dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan penelitian ini antara lain:

1. Dapat memahami tentang perhitungan struktur gedung dengan mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung dan Non Gedung.
2. Dapat mengetahui perbandingan ukuran dimensi struktur 5 lantai pada kondisi tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras di Kota Medan dengan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.
3. Memperoleh referensi dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat struktur beton bertulang menggunakan *software* computer.

1.6 Sistematika Penelitian

Proposal penelitian terjadi dari lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang permasalahan, identifikasi permasalahan, ruang lingkup pembahasan, tujuan penelitian dan manfaat penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan penelitian sebelumnya termasuk teori-teori yang mendukung penelitian, metode analisa yang akan digunakan serta ketentuan desain yang harus dipenuhi.

BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN

Bab ini menjelaskan prosedur yang dilakukan untuk memperoleh jawaban sesuai permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan dari analisis desain.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Filosofi dasar dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah terdapat komponen struktur yang diperbolehkan mengalami kelelahan. Komponen tersebut merupakan komponen yang menyerap energi gempa selama bencana gempa terjadi (Anshori, 2017). Agar memenuhi konsep tersebut maka diperlukan kajian-kajian terhadap teori dasar serta penelitian terdahulu terkait perencanaan struktur gedung tahan gempa, khususnya dalam hal ini yang menggunakan sistem rangka pemikul momen. Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori, persyaratan dan ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti teori gempa, konsep perilaku bangunan tahan gempa, sistem rangka pemikul momen, serta beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dan mendukung proses analisis data yang diperlukan dalam tugas akhir ini.

2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekuatan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Umumnya SRPM cukup efektif dipakai sampai < 25 tingkat.

Menurut (Iswandi dan Fajar, 2014), Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Menurut Pawirodikromo (2012), penggunaan SRPM untuk bangunan bertingkat akan mempunyai kelebihan dan kelemahan. Beberapa kelebihannya diantaranya:

1. Apabila didesain secara baik maka struktur portal dapat menjadi struktur yang daktail di sendi plastis yang stabil, seperti Gambar 2.4 dan dapat memberikan sistem pengekangan/kekakuan yang cukup.
2. Karena fleksibilitasnya tinggi, SRPM akan mempunyai perioda getar T yang relatif besar.
3. Secara arsitektural SRPM memberi keleluasaan untuk menata ruangan yang diinginkan.

Adapun kekurangan dari SRPM adalah:

1. Kerusakan secara total pada *frame* dapat saja terjadi terutama apabila tidak adanya penerapan pola mekanisme yang jelas.
2. Desain tulangan lateral tidak layak baik pada lokasi sendi plastis maupun pada *joint*.
3. Distribusi kekakuan struktur portal yang secara vertikal yang tidak merata akan menyebabkan timbulnya tingkat yang relatif lemah (*soft story*).
4. Struktur portal yang terlalu fleksibel dapat menyebabkan simpangan antar tingkat yang relatif besar terutama pada tingkat-tingkat bawah.

SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan harus memenuhi pasal 18.3 SNI 2847-2019. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah.

2.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 18.4 SNI 2847-2019. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang.

2.2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga harus memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 18.2.3 sampai 18.2.8 dan Pasal 18.6 sampai 18.8. Sistem ini memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di daerah dengan risiko gempa yang tinggi.

2.3 Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah dan batangan- batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Seperti yang telah diketahui bahwa sifat dari material beton yaitu sangat kuat menahan tekan tetapi tidak kuat (lemah) menahan tarik, sehingga beton perlu ditambah tulangan baja yang kuat terhadap gaya tekan maupun tarik. Berdasarkan hal tersebut dapat dipahami bahwa antara beton dan baja tulangan mempunyai fungsi yang berbeda, sesuai dengan sifat bahan yang bersangkutan.

Fungsi utama dari beton yaitu:

1. Menahan gaya tekan.
2. Menutup baja tulangan agar tidak berkarat.

Sedangkan fungsi utama dari baja tulangan yaitu:

1. Menahan gaya tarik.
2. Mencegah retak beton agar tidak melebar.

(Disain Beton Bertulang; Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon Jilid 1).

Struktur bangunan yang menggunakan konstruksi beton memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

1. Beton termasuk tahan aus dan tahan terhadap kebakaran.

2. Beton sangat kokoh dan kuat terhadap beban gempa bumi, getaran, maupun angin.
3. Berbagai bentuk konstruksi dapat dibuat dari bahan beton menurut selera perancang atau pemakai.
4. Biaya pemeliharaan atau perawatan sangat sedikit (tidak ada).

(Balok dan Pelat Beton Bertulang; Ali Asroni, 2010)

Selain itu juga terdapat beberapa kelemahan pada bangunan yang menggunakan konstruksi beton, antara lain:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan, atau tulangan kasa (*meshes*).
2. Konstruksi beton itu berat, sehingga jika dipakai pada bangunan harus disediakan fondasi yang cukup besar/kuat.
3. Untuk memperoleh hasil beton dengan mutu yang baik, perlu biaya pengawasan tersendiri.
4. Konstruksi beton tak dapat dipindah, di samping itu sisa beton tidak ada harganya.

(Balok dan Pelat Beton Bertulang; Ali Asroni, 2010)

2.3.1 Mutu Beton

Mutu beton dibedakan menjadi 3 berdasarkan kuat tekannya, yaitu:

1. $f_c' < 10$ MPa, digunakan untuk beton non struktur (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
2. $10 \text{ MPa} < f_c' < 20$ MPa, digunakan untuk beton struktur (balok, kolom, pelat, pondasi, dll).
3. $f_c' > 20$ MPa, digunakan untuk struktur beton tahan gempa.

Persyaratan kuat tekan yang digunakan untuk struktur dapat dilihat pada Tabel 19.2.1.1 SNI 2847:2019.

2.3.2 Faktor Keamanan

Faktor keamanan tertentu dibutuhkan untuk menjamin bahwa struktur yang direncanakan mampu menahan beban yang bekerja. Faktor keamanan ini terdiri dari 2 jenis, yaitu:

1. Faktor keamanan yang berkaitan dengan beban luar yang bekerja pada struktur, disebut faktor beban. Penjelasan mengenai faktor beban dapat dilihat pada Pasal 5.3, hal. 84, SNI 2847:2019.
2. Faktor keamanan yang berkaitan dengan kekuatan struktur (gaya dalam), disebut faktor reduksi kekuatan (ϕ). Faktor reduksi kekuatan ini difungsikan antara lain, untuk:
 - Memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi (*understrength*) karena perbedaan dimensi dan kekuatan material;
 - Memperkirakan ketidaktepatan pada tahap perancangan;
 - Merefleksikan ketersediaan daktalitas dan tingkat keandalan yang diperlukan komponen struktur relatif terhadap beban;
 - Untuk menyatakan seberapa penting komponen struktur terhadap keseluruhan struktur.

Mengenai faktor reduksi diatur dalam Pasal 21 SNI 2847:2019, hal. 468.

2.3.3 Kekuatan Beton Bertulang

1. Jenis Kekuatan

Pada perhitungan struktur beton bertulang, terdapat beberapa istilah untuk menyatakan kekuatan suatu penampang, sebagai berikut:

a) Kuat nominal

Kuat nominal diartikan sebagai kekuatan komponen struktur atau penampang yang dihitung sesuai dengan ketentuan dan asumsi metode desain kekuatan standar sebelum penerapan faktor reduksi kekuatan. Pada penampang beton bertulang, nilai kuat nominal bergantung pada dimensi penampang, jumlah dan letak tulangan serta mutu dan baja.

b) Kuat desain/ rencana

Kuat desain/ rencana adalah kekuatan komponen struktur yang diperoleh dari kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ).

c) Kuat perlu

Kuat perlu diartikan sebagai kekuatan suatu komponen struktur yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya

dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban.

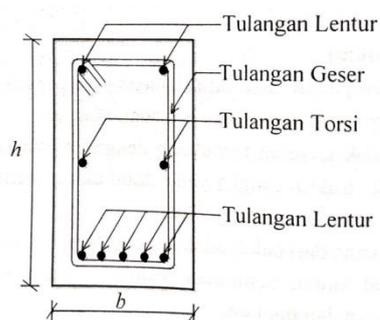
Karena kuat rencana (R_r) merupakan kekuatan gaya dalam (berada dalam struktur), sedangkan kuat perlu (R_u) merupakan kekuatan gaya luar (di luar struktur) yang bekerja pada struktur, maka agar perencanaan struktur dapat dijamin keamanannya harus dipenuhi dengan syarat berikut:

$$\text{Kuat Rencana } (R_r) \geq \text{Kuat Perlu } (R_u)$$

2.3.4 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 ke dalam 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. Adapun tulangan yang digunakan dalam elemen balok dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Tulangan penyusun balok yang terdiri dari; tulangan lentur, geser, dan torsi.

Perencanaan elemen balok SRPMK mengacu SNI 2847:2019; Pasal 18.6 Hal. 376 mengenai desain lentur dan geser balok SRPMK, Pasal 9.5 – 9.7 mengenai

kekuatan perlu dan rencana, dan Pasal 22.7 mengenai desain torsi.

2.3.5 Kolom

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur, serta berperan besar dalam memikul beban lateral (khususnya gempa) pada struktur gedung. Pada suatu struktur bangunan, kolom adalah salah satu elemen penting, sehingga keruntuhan pada kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Bahari, 2017)

Ditinjau dari kelangsingannya, kolom terbagi dua:

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

Kolom pendek tergolong dalam keruntuhan material. Keruntuhan material adalah suatu kondisi keruntuhan dimana elemen kolom tersebut hancur dikarenakan beban yang dipikul melebihi kekuatan dan material penyusunnya.

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

Kolom langsing 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, meskipun belum mencapai batas kekuatan materialnya. Dengan kata lain keruntuhan tipe ini terjadi pada kondisi beban yang dipikul jauh lebih kecil dari kekuatan material yang digunakan dan tekuk yang terjadi dikarenakan tekuk pada batang.

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*)

Berdasarkan akibat dari sistem struktur dan tipe pembebanan, kolom dibagi menjadi dua, yaitu:

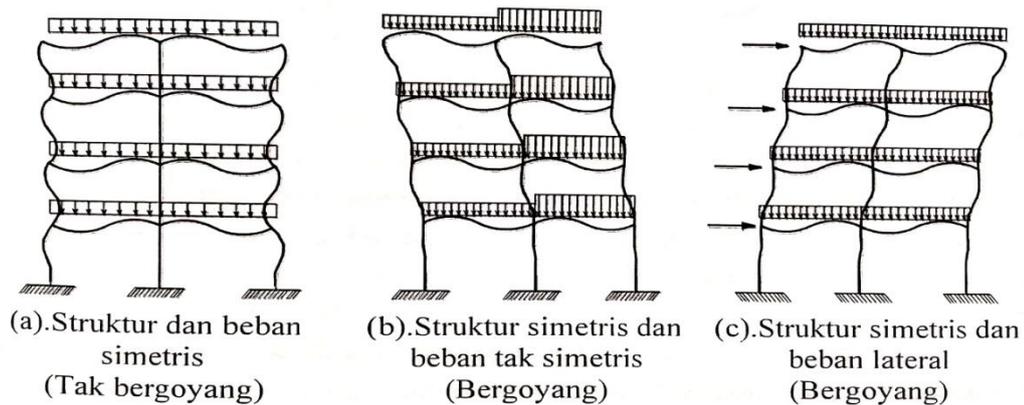
a. Kolom tak bergoyang

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 terjaid karena adanya beban lateral (gempa atau angin) yang membebani struktur. Akibatnya struktur kolom mengalami perpindahan di arah lateral (bergoyang).



Gambar 2.2: Struktur kolom bergoyang dan tak bergoyang.

Perencanaan elemen struktur kolom SRPMK mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7 secara umum mengenai desain lentur, geser dan aksial, Pasal 10.6 mengenai batas tulangan longitudinal, serta Pasal 22.5 mengenai gaya geser desain.

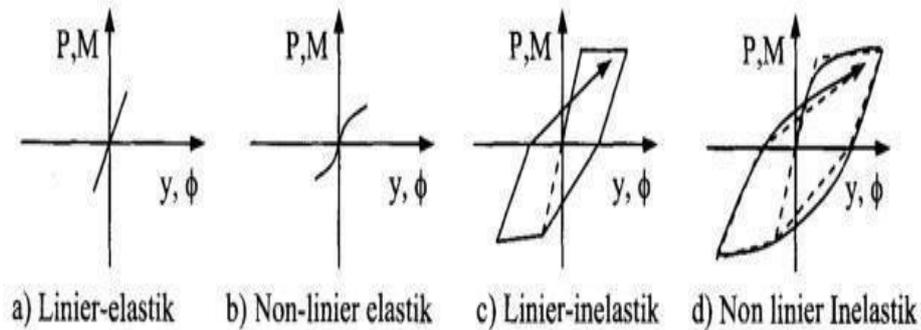
Dalam proses desainnya, kolom pendek atau kolom langsing (*sway* atau *non-sway*) dibagi berdasarkan kondisi pembebanannya, yaitu:

- 1) Kondisi murni aksial tekan (sentris)
- 2) Kondisi aksial tekan dengan satu momen lentur M_x atau M_y . (*unniaksial bending*).
- 3) Kondisi aksial tekan dengan dua momen lentur M_x dan M_y (*biaksial bending*).

2.4 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 2.3.



Gambar 2.3: Macam-macam respon akibat beban siklik.

1) Linear elastik

Adalah respon bahan/element 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.

2.5 Konsep *Strong Column Weak Beam*

Konsep yang saat ini diterima untuk perencanaan seismik struktur rangka beton bertulang adalah pendekatan kolom kuat-balok lemah (*strong column-weak beam*) (Pawirodikromo, 2012) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.

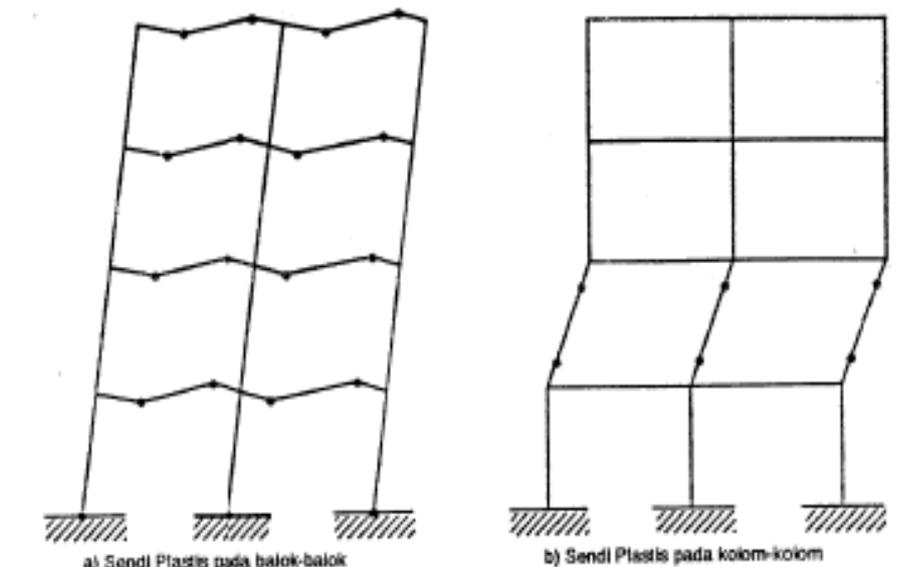


Gambar 2.4: Ilustrasi desain SCWB struktur beton bertulang.

Dalam konsep kolom kuat – balok lemah, kerusakan pertama kali diharapkan terjadi pada balok terlebih dahulu. Apabila pendetailan balok dilakukan dengan

baik, maka perilaku duktail dapat dipastikan dan struktur rangka bangunan dapat berdeformasi secara berarti meskipun mengalami kerusakan secara progresif yang disebabkan oleh lelehnya tulangan balok.

Pada gempa besar, tipe kerusakan terjadi pada beberapa balok di seluruh struktur tersebut, tetapi ini dapat dipertimbangkan sebagai “kerusakan yang dapat diterima” karena tidak menyebabkan keruntuhan bangunan secara mendadak (Gambar 2.5.a). Di lain pihak, kolom yang lebih lemah dibandingkan balok akan menerima kerusakan berat secara lokal pada bagian atas dan bawah kolom pada lantai tertentu (Gambar 2.5.b), keruntuhan pada keseluruhan bangunan, sekalipun kolom-kolom di lantai atasnya masih dalam kondisi tidak rusak.



Gambar 2.5: Pola pembentukan sendi plastis.

Berdasarkan SNI 2847:2019, konsep *strong column weak beam* ditentukan berdasarkan Pers. 2.1.

$$\sum M_{\text{column}} \geq (6/5) \sum M_{\text{beam}} \quad (2.1)$$

dimana:

M_{column} = momen kapasitas 2 kolom yang bertemu di *joint*

M_{beam} = momen kapasitas 2 balok yang menumpu di *joint*.

2.6 Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur Menurut SNI 1726:2019

Sesuai yang tertera pada SNI 1726:2019, sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 12 SNI 1726:2019, hal. 49-51, atau kombinasi sistem yang diatur pada Pasal 7.2.2 sampai Pasal 7.2.4. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur (h_n) yang ditunjukkan pada Tabel 12 SNI 1726:2019. Koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) yang sesuai sebagaimana pada Tabel 12 SNI 1726:2019 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen dan simpangan antar tingkat desain.

2.7 Tata Cara Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Gedung dengan segenap komponen struktur yang direncanakan tahan gempa harus di desain 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, sedangkan saat menahan gempa kuat yang lebih jarang terjadi, struktur mampu mempertahankan perilaku perubahan bentuk secara daktail dengan memancarkan energi dan membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur melalui pola rencana yang terkendali sehingga tidak mengakibatkan keruntuhan fatal.

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:

- Gaya geser seismik
- Periode alami struktur
- Distribusi vertikal gaya gempa
- Distribusi horizontal gaya gempa
- Penentuan simpangan antar lantai
- Pengaruh P-Delta
- Ketidakberaturan horizontal

- Ketidakberaturan vertikal

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:

2.7.1 Gempa Rencana

Akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung, secara keseluruhan masih harus berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Berdasarkan SNI 1726:2019, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun. Gambar 2.15 dan 2.16 pada SNI 1726:2019 menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) parameter-parameter gerak tanah S_S dan S_1 dan kelas situs.

2.7.2 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%.

2.7.3 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.

2.7.4 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^s)
- d. Faktor batasan tinggi sistem struktur

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

2.7.5 Spektrum Respon Desain

Menurut Faisal (2015), respons spektrum adalah spektrum (plot) yang memuat nilai-nilai amplituda maksimum dari sebuah nilai respons sistem teredam untuk beragam variasi perioda (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).

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 adalah:

1) Parameter percepatan batuan dasar

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

2) Parameter kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3 dapat dilihat pada Tabel 2.1. Situs tersebut diidentifikasi berdasarkan lapisan tanah 30 m paling atas.

Tabel 2.1: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	N atau N_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah b. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) c. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) d. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa 		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

- 3) Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektra percepatangempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R).

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek S_{MS} dan periode 1 detik S_{M1} yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan Pers. 2.2 dan 2.3.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad (2.2)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_I \quad (2.3)$$

dimana:

S_S = Nilai parameter respons spektra percepatan gempa perioda pendek
0,2 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI
1726:2019

S_I = Nilai parameter respons spektra percepatan gempa perioda 1,0 detik
di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019

F_a = Koefisien perioda pendek

F_v = Koefisien perioda 1,0 detik

Koefisien situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel 6 dan 7 SNI
1726:2019.

Parameter-percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan
periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui Pers. 2.4 dan 2.5.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.5)$$

dimana:

S_{DS} = Respons spektra percepatan desain untuk perioda pendek

S_{D1} = Respons spektra percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

- 4) Prosedur pembuatan respons spektra desain berdasarkan SNI 1726:2012
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. 2.6.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.6)$$

- 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. 2.7.

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

dimana:

T = Perioda getar fundamental struktur

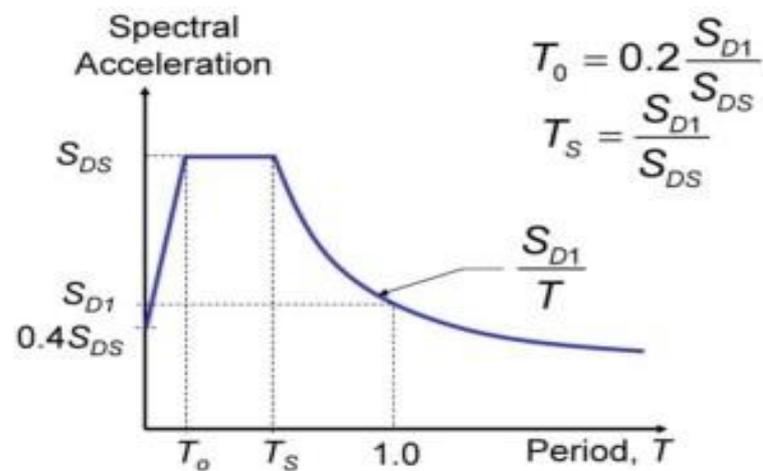
S_{DS} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek

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

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.8 dan 2.9. Dari parameter-parameter yang didapat akan terbentuk sebuah grafik seperti pada Gambar 2.17.

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

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



Gambar 2.6: Spektrum respons desain.

2.8 Evaluasi Kriteria SRPM Dengan Metode Respon Spektrum

2.8.1 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. Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares*) dan Kombinasi Kuadratik 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%. Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang telah disebutkan sebelumnya yaitu Kombinasi Lengkap Kuadratik (*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*).

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1, nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil dari kurang 100% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dengan Pers. 2.10.

$$V_t \geq V_1 \quad (2.10)$$

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama atau yang didapat dari prosedur gaya geser statik ekuivalen.

Maka, apabila nilai akhir respons dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis spektrum respons ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.11.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2.11)$$

dimana:

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

V_1 = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen

Pada penggunaan program penghitung struktur, skala pada analisis respons ragam struktur harus dikalikan dengan faktor ini agar gaya gempa sesuai dengan yang disyaratkan.

2.8.2 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.12.

$$V = C_s \cdot W_t \quad (2.12)$$

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. 2.13.

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.13)$$

dimana:

S_{DS} = 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) C_s hasil hitungan

Nilai C_s maksimum di atas tidak perlu melebihi C_s hitungan pada Pers. 2.14.

$$C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.14)$$

dimana:

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode 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 = Periode struktur dasar (detik)

3) C_s minimum

Nilai C_s hitungan di atas tidak perlu kurang dari nilai C_s minimum pada Pers. 2.15.

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

dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode 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. 2.16.

$$Cs \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{(R/I)} \quad (2.16)$$

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

2.8.3 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. Nilai-nilai tersebut adalah:

- 1) Periode fundamental pendekatan minimum (T_a minimum) ditentukan dari Pers. 2.17.

$$T_a \text{ minimum} = C_t \cdot h_n^x \quad (2.17)$$

dimana:

T_a minimum = Nilai batas bawah periode bangunan

h_n = Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)

C_t = Ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726:2019

x = Ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726:2019

- 2) Periode fundamental pendekatan maksimum (T_a maksimum) ditentukan dari Pers. 2.18.

$$T_a \text{ maksimum} = C_u \cdot T_a \text{ minimum} \quad (2.18)$$

dimana:

T_a maksimum = Nilai batas atas periode bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 17 SNI 1726:2019

2.8.4 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 dengan Pers. 2.19. Ilustrasi dari defleksi pusat massa dapat dilihat pada Gambar 2.7.

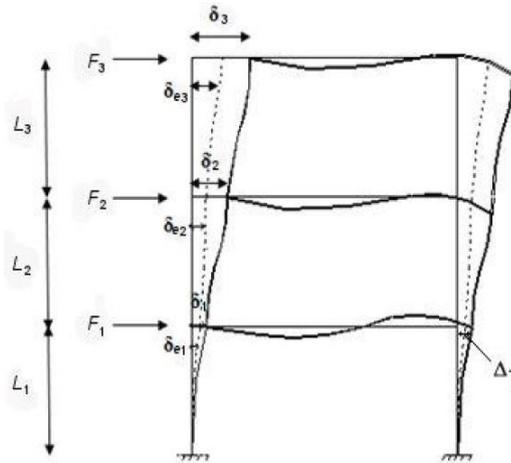
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.19)$$

dimana:

C_d = Faktor pembesaran defleksi sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019

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

I_e = Faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan Tabel 4 SNI 1726:2019



Gambar 2.7: 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 = $C_d \cdot \delta_{e3} / I_e$ = 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

δ_{e2} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_2 = $C_d \cdot \delta_{e2} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_2 = $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$ (Tabel 2.14) Tingkat 1

F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_1 = $C_d \cdot \delta_{e1} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar

Δ_1 = $\delta_1 \leq \Delta_a$ (Tabel 2.14) dimana:

Δ_i = simpangan antar lantai Δ_i / L_i rasio simpangan antar lantai

δ_3 = perpindahan total

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Simpangan antar lantai izin (Δ) berdasarkan SNI 1726:2019.

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025h _{sx} ^c	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya			
Semu struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}

2.8.5 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. 2.20 yang harus sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\delta_x = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.20)$$

dimana:

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

Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain

I_e = Faktor keutamaan

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

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

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan dengan Pers. 2.21.

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.21)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini secara konservatif diambil sebesar 1.

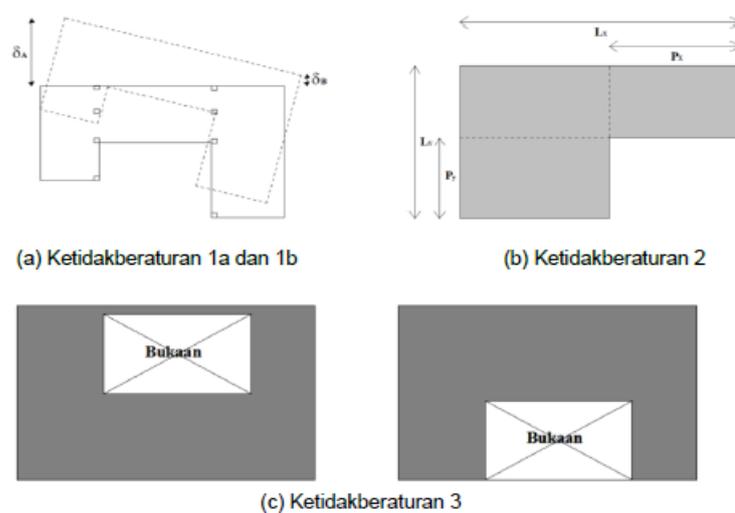
Jika θ lebih besar dari θ_{\max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis, otomatis Pers. 2.20 masih harus dipenuhi, tetapi nilai θ yang dihitung dari Pers. 2.21 menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dengan $(1+\theta)$ sebelum diperiksa dengan Pers. 2.21.

2.8.6 Ketidakberaturan Horizontal

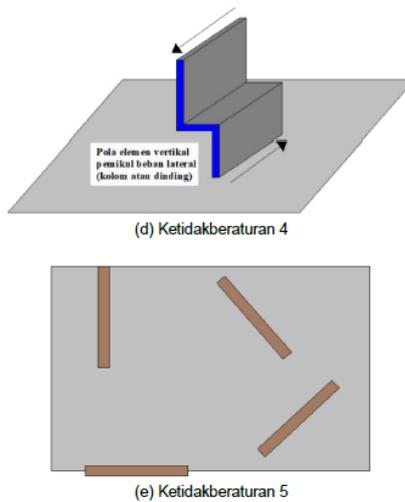
Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.1, struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 13 SNI 1726:2019 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 13 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 2.8.



Gambar 2.8: Tipe ketidakberaturan horizontal pada struktur.

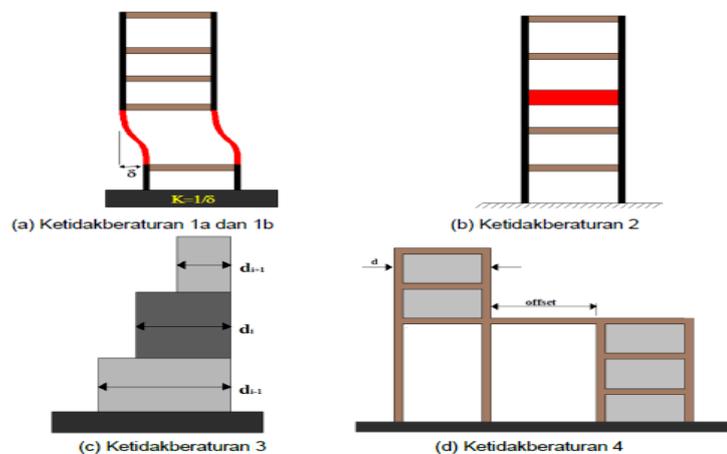


Gambar 2.8: Lanjutan.

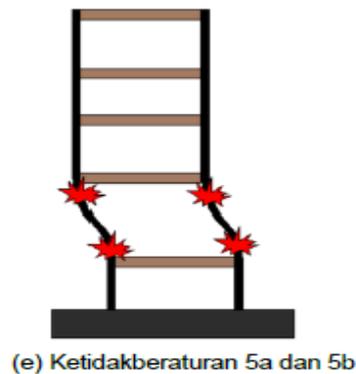
2.8.7 Ketidakberaturan Vertikal

Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.2 dinyatakan bahwa struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 14 SNI 1726:2019 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur vertikal. 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 vertikal dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Tipe ketidakberaturan vertikal pada struktur.



Gambar 2.9: Lanjutan.

2.9 Pembebanan untuk Perencanaan Bangunan Gedung

2.9.1 Beban Mati

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

- 1) Berat bahan konstruksi:
 - a. Berat sesungguhnya bahan.
 - b. Data berat jenis dan berat bahan pada standar sebelumnya bisa digunakan.
- 2) Berat peralatan layan tetap:
 - a. Peralatan/ mesin yang menyatu dan selalu ada selama masa layan bangunan seperti: peralatan plambing, ME, alat pemanas, ventilasi, sistem pengkondisian udara dll.

Adapun berat jenis dari bahan bangunan dan berat per satuan luas yang diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPPURG 1987) dapat dilihat di bawah ini:

- 1) Bahan Bangunan
 - a. Baja 7.850 kg/m
 - b. Beton 2.200 kg/m
 - c. Beton bertulang 2.400 kg/m³
- 2) Komponen Gedung

a. Dinding pasangan batako:		
Berlubang:		
Tebal dinding 10 cm (HB 10 cm)	120	kg.m ²
Tanpa lubang:		
Tebal Dinding 15 cm	300	kg/ m ²
Tebal Dinding 10 cm	200	kg/ m ²
b. Adukan per cm tebal		
Dari semen	21	kg/ m ²
Dari kapur, semen merah atau trash	17	kg/ m ²
c. Langit-langit, terdiri dari:		
Semen asbes, tebal maks. 4 mm	11	kg/ m ²
Kaca, tebal 3-4 mm	10	kg/ m ²
d. Penggantung langit-langit	7	kg/ m ²
e. Penutup lantai	24	kg/ m ²

2.9.2 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, dll.

Sesuai dengan Pasal 4 SNI 1727:2020, beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan pada Tabel 4.3-1, SNI 1727:2020.

Semua beban hidup terdistribusi merata minimum lainnya, L_0 dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020, dapat direduksi sesuai dengan ketentuan pada Pasal 4.2.7 sampai Pasal 4.7.6 SNI 1727:2020. Ketentuan reduksi beban hidup merata sebagai berikut:

Reduksi beban hidup merata

- 1) Untuk struktur dengan $K_{LLA_T} \geq 37,16 \text{ m}^2$
- 2) $L \geq 4,79 \text{ kN/m}^2$, garasi mobil penumpang dan tempat pertemuan tidak

boleh direduksi

Beban hidup tereduksi dihitung dengan Pers. 2.22a dan 2.22b.

$$L = L_0 \left[0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right] \quad (2.22a)$$

Dalam SI:

$$L = L_0 \left[0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right] \quad (2.22b)$$

Dimana:

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

L_0 = Beban hidup desain tanpa reduksi per ft² (m²) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

K_{LL} = Faktor elemen beban hidup.

A_T = Luas tributari dalam ft² (m²).

Tabel 2.3: Faktor elemen beban hidup, K_{LL} berdasarkan SNI 1727:2020.

Elemen	K_{LL}
Kolom-kolom interior	4
Kolom-kolom eksterior tanpa <i>slab</i> kantilever	4
Kolom-kolom tepi dengan <i>slab</i> kantilever	3
Kolom-kolom sudut dengan <i>slab</i> kantilever	2
Balok-balok tepi tanpa <i>slab</i> kantilever	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut di atas:	1
Balok-balok tepi dengan <i>slab</i> kantilever	
Balok-balok kantilever	
<i>Slab</i> satu arah	
<i>Slab</i> dua arah	
Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	

^a Selain nilai diatas, K_{LL} diizinkan dihitung sendiri.

2.9.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur tersebut berdiri. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012. Analisis beban gempa terdapat 3 cara analisis, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan prosedur 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.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal adalah:

- 1) 1,4 DL
- 2) 1,2 DL + 1,6 LL
- 3) $(1,2 + 0,2 S_{DS})1 D + \rho Q_E + L$
- 4) $(0,9 + 0,2 S_{DS})1 D + \rho Q_E$

dimana:

DL = Beban mati, termasuk SIDL

LL = Beban hidup

ρ = Faktor reduksi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V, yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3) dan (4), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.23.

$$E = E_h + E_v \quad (2.23)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (5) dan (6), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.24.

$$E = E_h - E_v \quad (2.24)$$

dimana:

E = Pengaruh beban seismik

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal yang akan didefinisikan selanjutnya

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal yang akan didefinisikan selanjutnya

Untuk pengaruh beban seismik E_h harus ditentukan dengan Pers. 2.25.

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.25)$$

dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

DL = Pengaruh beban mati

Faktor reduksi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur.

Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1 sebagai berikut:

- a. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C.
- b. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen nonstruktural.
- c. Desain struktural non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
- d. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2019 yang digunakan.
- e. Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain.

2.9.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dasar (pasal 4.2.2) adalah sebagai berikut:

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

Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik adalah sebagai berikut:

$$6. 1,2D + E_v + E_h + L$$

$$7. 0,9D - E_v + E_h$$

Keterangan :

E_h = pengaruh beban seismik horizontal seperti didefinisikan dalam 7.4.2.1

E_v = pengaruh beban seismik vertikal seperti didefinisikan dalam 7.4.2.2.

E_{mh} = pengaruh beban seismik horizontal termasuk kuat lebih struktur seperti didefinisikan dalam 7.4.3.1

Rumus E_h adalah sebagai berikut :

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.26)$$

Keterangan:

Q_E = adalah pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p .

ρ = adalah faktor redundansi, seperti didefinisikan dalam 7.3.4 SNI 1726:2019.

Rumus E_v adalah sebagai berikut :

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (2.27)$$

Keterangan:

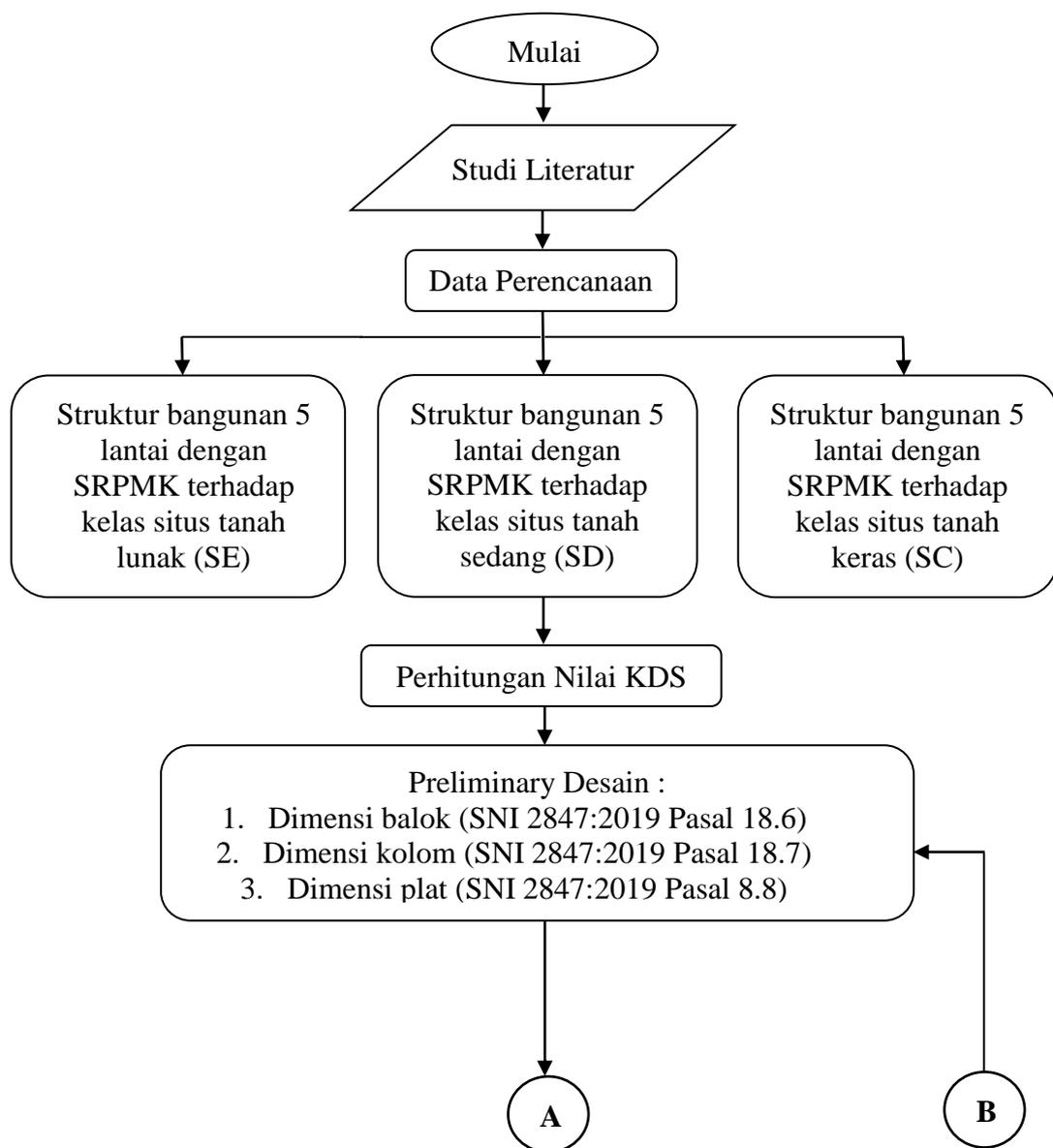
D = pengaruh beban mati.

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

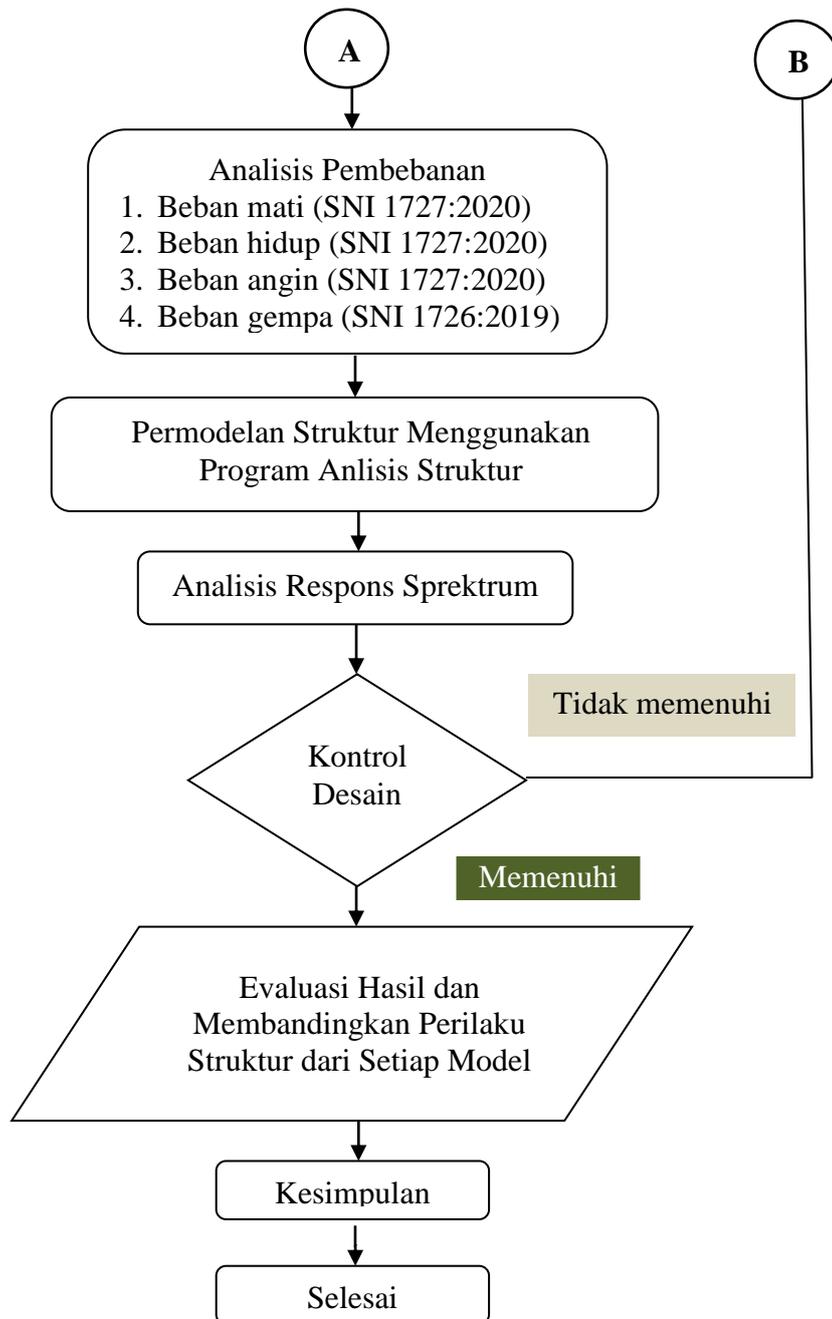
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang data pemodelan, prosedur dan analisis struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan *software* analisis struktur. Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian.



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian (lanjutan).

Tugas akhir ini memiliki satu pemodelan struktur, yaitu struktur bangunan 5 lantai dengan SRPMK yang akan ditinjau pada kondisi tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras. Struktur bangunan tersebut akan dianalisis secara elastis linier dengan menggunakan Analisis Respons Spektrum (*Response Spectrum Analysis*).

3.2 Pemodelan Struktur

3.2.1 Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada ke tiga pemodelan yaitu :

1. Gedung terdiri dari 5 lantai yang difungsikan sebagai Rumah Sakit.
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. Struktur rencana gedung dimodelkan menjadi 3, yaitu berupa struktur 5 lantai dengan kelas situs tanah lunak (Model 1). Struktur 5 lantai dengan kelas situs tanah sedang (Model 2). Struktur 5 lantai dengan kelas situs tanah keras (Model 3), yang terlihat pada Gambar 3.2 (a) dan 3.2 (b).
8. Pemodelan struktur dengan perletakan jepit-jepit.

Mengenai data gempa respon spektrum pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras terdapat pada Lampiran 4.

3.2.2 Konfigurasi Bangunan

Konfigurasi bangunan pada 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*) dengan jarak antar kolom struktur adalah 6 meter (arah x) dan 4 meter (arah y). Setiap lantai memiliki ketinggian 3,5 meter, akan tetapi untuk lantai satu memiliki ketinggian 4 meter.

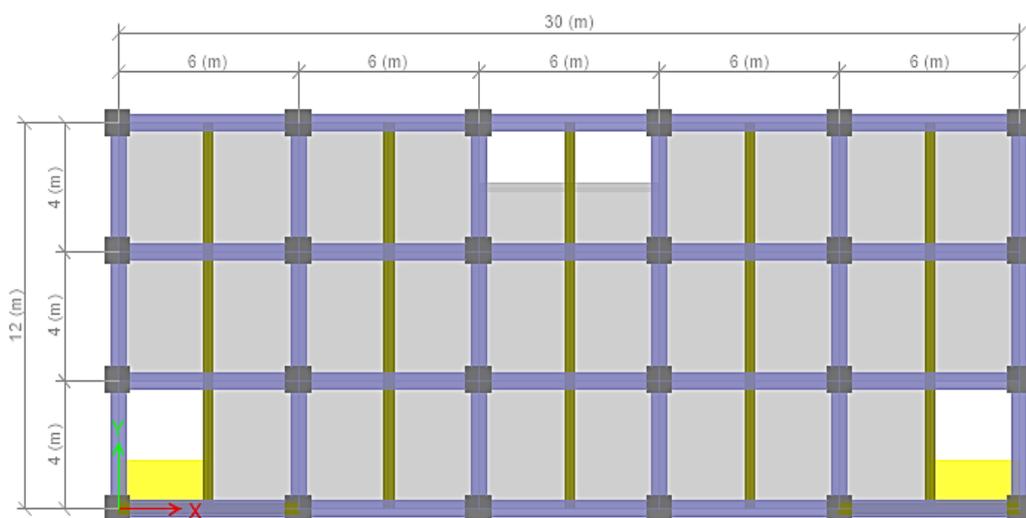
Struktur gedung yang dibuat dengan permodelan 3D dengan data struktur gedung sebagai berikut :

- | | |
|----------------------------------|--------|
| 1) Tinggi gedung | = 18 m |
| 2) Panjang gedung | = 30 m |
| 3) Lebar gedung | = 12 m |
| 4) Tinggi base ke lantai pertama | = 4 m |

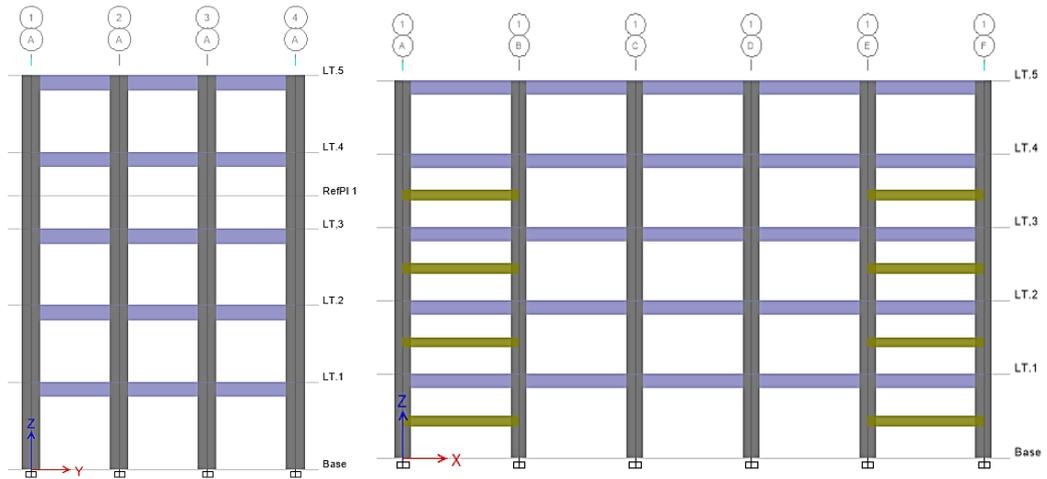
- 5) Tinggi antar lantai = 3,5 m
- 6) Mutu beton (F_c') = 30 Mpa
- 7) Mutu Tulangan BJTP 420A
 - Tegangan leleh (F_y) = 420 MPa
 - Tegangan *ultimate* = 520 MPa
- 8) Modulus elastisitas beton = 25742,96 MPa
- 9) Modulus elatisitas baja = 200000 MPa

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 2, dan Model 3. Gambar 3.2 – 3.4 merupakan denah dan tampak dari struktur bangunan pada Model 1, 2 dan 3.

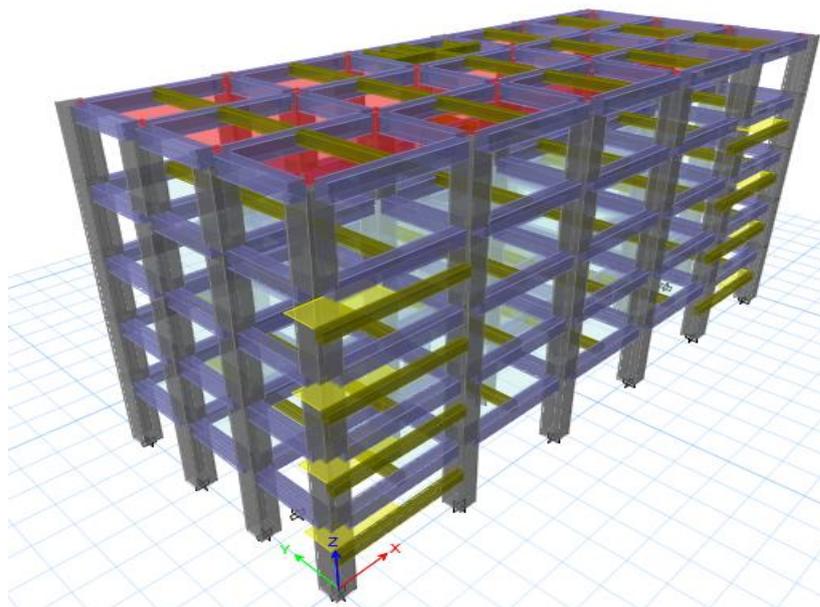
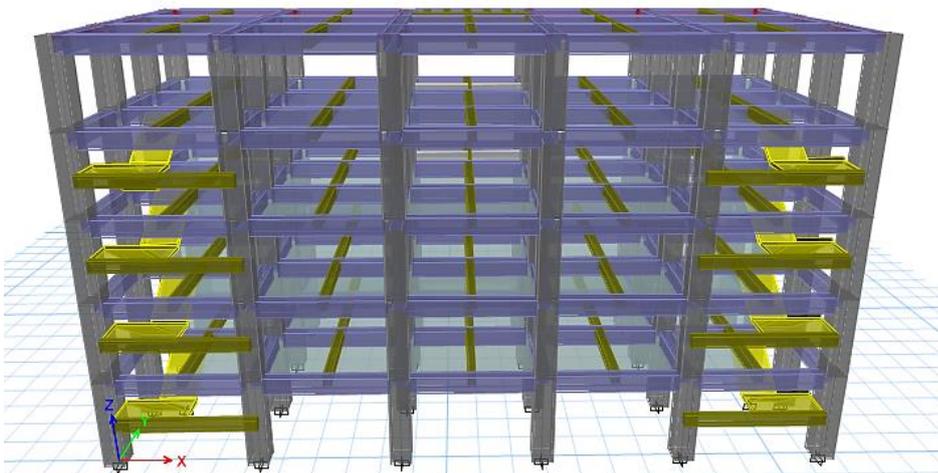
Pada tugas akhir ini, dipilih satu kolom dan satu balok pada posisi yang sama antara Model 1,2 dan 3 untuk ditinjau. Kolom yang akan ditinjau yaitu kolom dengan label C2 pada lantai 1. Balok yang ditinjau yaitu balok dengan Label B24 pada lantai 2. Posisi elemen kolom C2 dan balok B24 dapat dilihat pada Gambar 3.5.



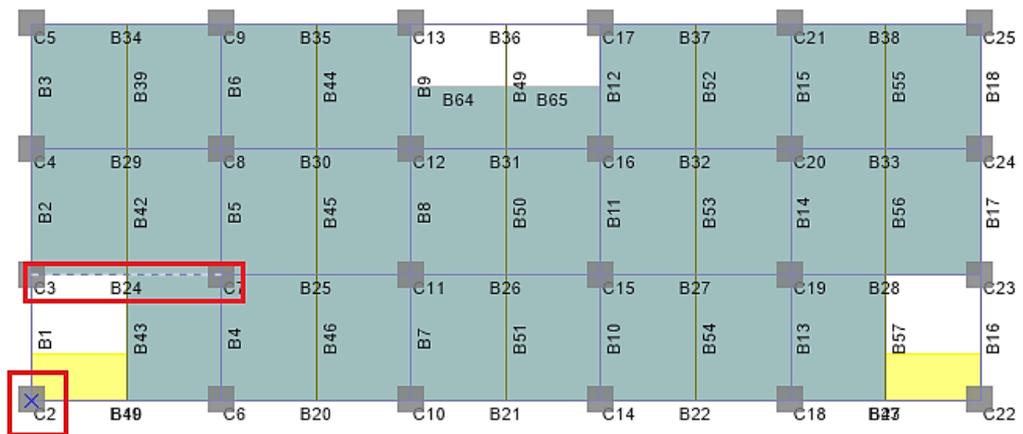
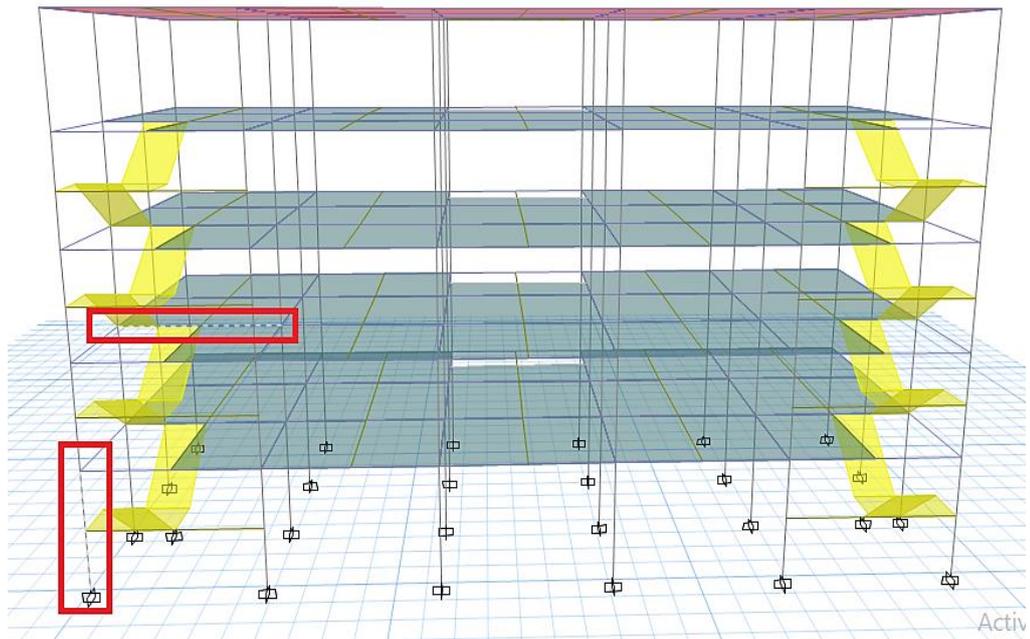
Gambar 3.2: Denah struktur gedung.



Gambar 3.3: Tampak samping struktur gedung.



Gambar 3.4: Model 3D struktur 5 lantai.



Gambar 3.5: Elemen Balok dan Kolom yang ditinjau.

3.2.3 Faktor Redundansi

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.3.4.2 , menyatakan bahwa untuk struktur dengan KDS D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan, Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Sedangkan untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan KDS D, E, F, ρ harus sebesar 1,3, kecuali jika satu dari dua kondisi terpenuhi, maka ρ diizinkan diambil sebesar 1,0. Salah satu kondisi tersebut yaitu masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dalam arah yang ditinjau. Apabila kondisi tersebut tidak

terpenuhi, maka ρ harus diganti dengan 1,3. Pada model ini redundansi yang digunakan yaitu 1,3. Koreksi faktor redundansi terdapat pada lampiran 6.

3.2.4 Dimensi Kolom, Balok, dan Plat Lantai

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.

Pada perencanaan dimensi kolom, beban aksial yang bekerja pada kolom akibat beban gravitasi dapat dijadikan sebagai acuan. Kolom pada lantai dasar dari bangunan 5 lantai akan direncanakan untuk dapat memikul beban gravitasi dari seluruh lantai. Dalam tugas akhir ini, akan diasumsikan bahwa gaya aksial pada kolom lantai dasar akibat beban gravitasi tidak melebihi $0,15Agf'c$ (SNI 2847:2019). Ukuran dimensi awal kolom kemudian akan ditentukan berdasarkan pada beban aksial tersebut.

Untuk penentuan dimensi balok, persyaratan tinggi balok minimum dapat digunakan sebagai acuan. Untuk balok menerus, SNI 2847-2019 mensyaratkan nilai tinggi balok minimum sebesar $L/12$, dimana L merupakan panjang bentang balok. Selimut beton menurut SNI 2847:2019 Pasal 7.7.1 untuk balok dan kolom digunakan 40 mm.

Pada tugas akhir ini, dimensi yang digunakan dapat berubah dari dimensi saat *preliminary*, karena dalam mencari elemen struktur utama dan sistem struktur yang efisien serta aman digunakan cara *trial eror* yang menjadi pembahasan dalam tugas akhir ini. Ukuran dimensi dari komponen-komponen struktur yang akan digunakan pada analisa struktur pada tugas akhir ini dirangkum pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Dimensi komponen struktur yang digunakan dalam analisis.

Model	Tipe	Dimensi (mm)
-Struktur 5 lantai pada tanah lunak (Model 1),	Balok	
	Balok Utama Lantai 1-5	450 x 700

Tabel 3.1: *Lanjutan.*

Model	Tipe	Dimensi (mm)
-Struktur 5 lantai pada tanah sedang (Model 2), -Struktur 5 lantai pada tanah keras (Model 3)	Balok Anak Lantai 1-5	250 x 400
	Kolom	
	Kolom Lantai 1-5	800 x 800
	Pelat	
	Pelat lantai	150
	Pelat atap	150

3.3 Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan pada struktur dihitung berdasarkan Pedoman Perencanaan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987) dan SNI 1727:2020.

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 finishing, mesin-mesin serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut. Berat material konstruksi yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 3.2. dan Tabel 3.3.

Umumnya jenis beban mati dalam analisa struktur dimodelkan secara fisik pada software (ETABS/ SAP 2000), misalkan balok, kolom, pelat atau dinding geser. Artinya perencana tidak perlu menghitung secara manual, cukup memodelkan dengan benar pada software sesuai dimensi, jenis material dan berat jenis.

Tabel 3.2: Berat material konstruksi berdasarkan PPPURG 1987.

Jenis Material	Berat
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Baja	7850 kg/m ³
Semen /cm tebal	21 kg/m ²
Dinding batako tebal 15 cm tanpa lubang	300 kg/m ²
Plafond + Penggantung	18 kg/m ²

Tabel 3.2: *Lanjutan.*

Jenis Material	Berat
Penutup lantai dari semen, teraso, dll.	24 kg/m ²
Waterproof	5 kg/m ²
ME	60 kg/m ³

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

1) Berat Sendiri (*Self Weigth Load, SW*)

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.

2) Beban Mati Tambahan (*Super Imposed Dead Load*) pada Pelat Lantai

Pada pelat lantai terdapat beban mati tambahan yang merupakan *finishing* dari pelat lantai. Beban ini berupa keramik lantai, adukan semen dari spesi antara pelat dengan keramik, plafon beserta penggantungnya, *mechanical engineering* dan lain-lain.

3) 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. Perhitungan beban dinding dapat dilihat pada lampiran 1.

4) Beban Lift

Pada perencanaan ini beban lift diperhitungkan sebagai beban mati yang dibuat menjadi beban terpusat yang dipikul oleh 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:

- Kapasitas penumpang adalah 13 orang dengan beban maks. 900 kg.
- Bukaannya (pintu) lift berdimensi 900 x 2100 mm.
- Ukuran kereta angkut memiliki lebar 1660 mm dan panjang 1505 mm.
- Dimensi jalur kereta memiliki lebar 4200 mm dan panjang 2000 mm.
- Lift memiliki kecepatan 1 m/det.

Detail perhitungan beban lift terdapat pada lampiran 1.

5) Beban *Penthouse*

Pada perencanaan ini struktur penthouse di analisa terpisah. Beban struktur penthouse diperhitungkan sebagai beban mati yang dibuat menjadi beban terpusat, sedangkan dindingnya dijadikan beban terbagi merata pada balok penumpunya. Detail perhitungan penthouse terdapat pada lampiran 1.

3.3.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penghunian bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban mati. Jenis beban ini tergantung pada fungsi dari gedung yang ditinjau dengan karakteristik dapat bergerak dan berpindah. Perencanaan beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020 yang dapat dilihat pada Tabel 3.4. Pada kasus ini, struktur gedung diasumsikan sebagai rumah sakit, sehingga berdasarkan SNI 1727:2020; Tabel 4.3.1; Hal-26, besar beban hidup untuk rumah sakit adalah 2,87 kN/m².

Tabel 3.4: Besaran beban hidup sesuai fungsinya.

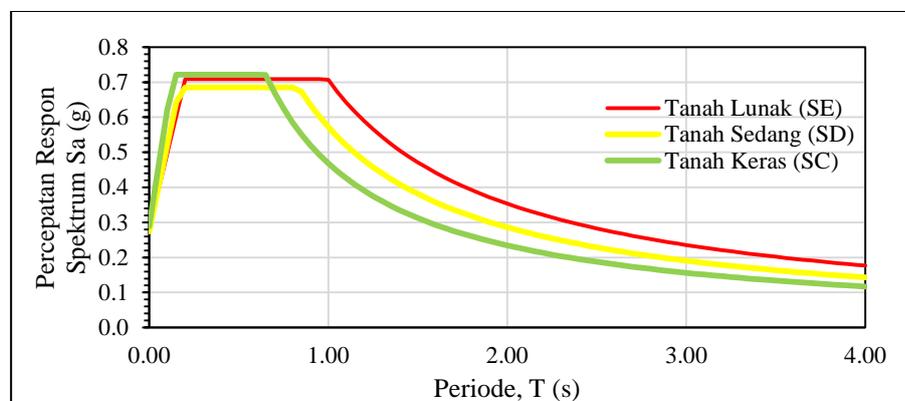
Jenis Beban Hidup	Besar beban
Rumah sakit:	
Ruang operasi, lab	287 kg/m ²
Rumah sakit: Ruang pasien	192 kg/m ²
Beban hidup pada tangga dan bordes	479 kg/m ²
Atap	196 kg/m ²

3.3.3. Beban Angin

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 kekuatan 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 pada tugas akhir ini menggunakan analisis Respons Spektrum Ragam. Adapun untuk menentukan beban gempa dapat dilihat pada pasal dan tabel. 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 $S_1 = 0,469$. 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 3.6.



Gambar 3.6: Grafik respons spektrum desain gempa Kota Medan dengan kondisi tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC).

3.4 Kombinasi Pembebanan

Penentuan kombinasi mengacu pada SNI 1726-2019; Pasal 4.2.2.1 dan Pasal 4.2.2.3; Hal-26. Beban yang digunakan meliputi *dead load (D)*, *super imposed dead load (SD)*, *live load (L)* dan *wind load (W)* dan *earthquake load (E)*. Detail kombinasi pembebanan dapat dilihat pada lampiran 1.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada bab ini akan membahas hasil analisis program analisa struktur terhadap perilaku pemodelan struktur gedung bertingkat 5 lantai menggunakan sistem struktur SRPMK, serta menggunakan gaya-gaya hasil analisis program untuk mendesain elemen struktur sesuai peraturan yang berlaku yaitu SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Perilaku Model struktur 5 lantai ditinjau terhadap tanah lunak (Model 1), tanah sedang (Model 2) dan tanah keras (Model 3). Besaran beban dan lokasi gempa yang digunakan untuk semua permodelan adalah sama.

4.2. Analisis Perilaku Struktur Model 5 lantai di Situs Tanah Lunak, Tanah Sedang dan Tanah Keras

4.2.1. Periode Fundamental Struktur

Sesuai SNI 1726:2019, Pasal 7.9.1., analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami struktur, dimana analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi sebesar 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal dari respons yang ditinjau pada model.

Kombinasi ragam modal partisipasi massa telah mencapai 100% ($\sum U_x$ dan $\sum U_y$) pada mode 56 dan 52 untuk ketiga model yang dapat dilihat pada Lampiran 1, sehingga partisipasi massa telah memenuhi syarat. Mode pertama di dominasi oleh gerak translasi x, ragam kedua di dominasi oleh gerak translasi y, serta ragam ketiga di dominasi oleh gerak rotasi z.

Berdasarkan hasil analisis keseluruhan ragam getar, analisis yang digunakan yaitu 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 dan Pusat Massa

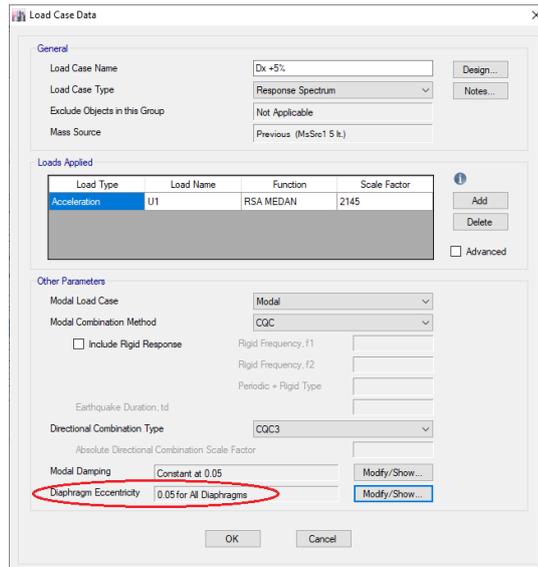
Besar beban gempa dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, untuk itu berat dari suatu struktur bangunan perlu diketahui. Dalam hal ini, berat total struktur diperoleh dari hasil perhitungan program analisis struktur yang nantinya digunakan dalam perhitungan gaya geser dasar statik ekuivalen. Berat struktur, posisi pusat massa serta pusat kekakuan pada ketiga model adalah sama, hal ini dikarenakan denah serta gaya yang digunakan pada struktur sama. Berat struktur, pusat massa dan pusat kekakuan tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1: Massa struktur, pusat massa dan analisis struktur Model 1, Model 2 dan Model 3.

Lantai	Massa X	Massa Y	XCM	YCM	XCR	YCR
	Kg	Kg	m	m	m	M
1	613697.97	613697.97	15	6.308	15	5.636
2	598432.29	598432.29	15	6.301	15	5.411
3	598432.29	598432.29	15	6.301	15	5.289
4	594530.51	594530.51	15	6.323	15	5.238
5	484110.05	484110.05	15	6.242	15	5.315
Total	2889203.11	2889203.11				

Pada Tabel 4.2 terlihat bahwa terdapat perbedaan antara nilai absis pusat massa arah X dan nilai absis pusat kekakuan arah Y pada ketiga model. Pusat massa dan pusat kekakuan yang tidak berimpit menyebabkan eksentrisitas. Oleh karena itu, struktur bangunan pada struktur ketiga model dikatakan memiliki eksentrisitas dan harus diperiksa terhadap ketidakberaturan torsi bawaannya.

Karena difragma dalam sistem struktur ini adalah kaku, maka desain memperhitungkan momen torsi tak terduga. Untuk itu, eksentrisitas tambahan diberikan sebesar 5%, yang diterapkan pada arah tegak lurus bentang struktur pada masing-masing arah x dan y. Penerapan eksentrisitas 5% pada pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Penerapan eksentrisitas 5% pada model di program analisa struktur.

4.2.3. Gaya Geser Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.9.1.4.1 mensyaratkan bahwa apabila gaya geser dasar hasil analisa ragam (V_i) kurang dari 100% gaya geser hasil analisa statik ekuivalen (V), maka harus dilakukan penyesuaian skala terhadap V_i , gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala, seperti yang telah dijelaskan pada Persamaan 2.11.

Nilai gaya geser dasar nominal analisis statik ekuivalen, respon spectrum dan penyesuaian skala gempa tertera pada Tabel 4.3 berikut. Untuk detail perhitungan gaya geser dasar statik ekuivalen terdapat pada Lampiran 5.

Tabel 4.2: Nilai V , V_t , dan penyesuaian skala gempa pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras arah x dan y.

Nilai	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
	X	Y	X	Y	X	Y
V (kN)	3764.05	3764.05	3638.47	3638.47	3832.23	3832.23
V_t (kN)	3147.02	3308.32	3044.33	3201.72	3207.58	3373.12
Skala gempa (mm/s^2)	2200.01	2092.75	2198.35	2090.28	2197.57	2089.73

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

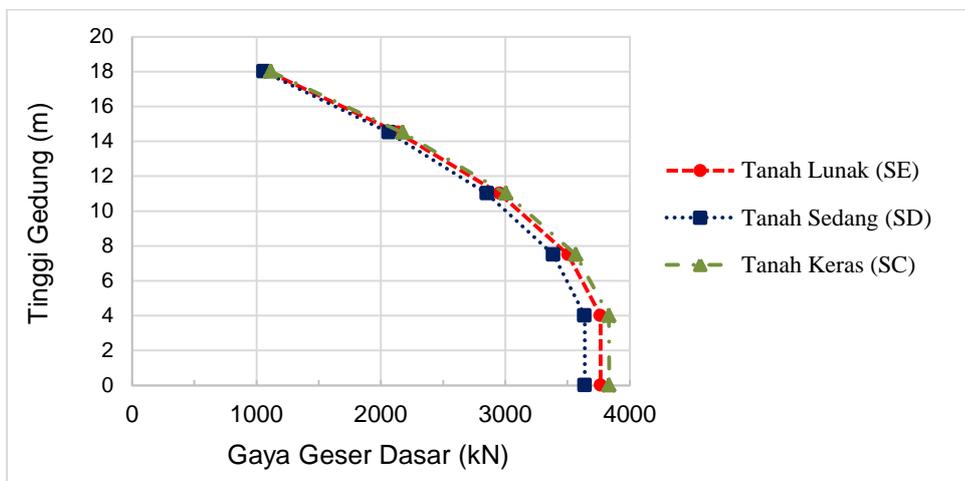
Berdasarkan Tabel 4.3 diatas, terlihat adanya penurunan gaya gempa dari tanah lunak ke tanah sedang, namun gaya gempa meningkat pada tanah keras, yang besarnya melebihi gaya gempa pada tanah lunak. Hal tersebut terjadi karena koefisien respon seismik (C_s) yang dipakai pada perhitungan gaya gempa dipengaruhi oleh nilai S_{ds} , dimana nilai S_{ds} yang terkecil ada pada tanah sedang dan yang terbesar ada pada tanah keras. Perbandingan nilai S_{ds} terdapat pada Lampiran 4.

Perbandingan gaya geser dasar struktur pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras berdasarkan hasil analisa menggunakan program analisa struktur disajikan pada Tabel 4.4.

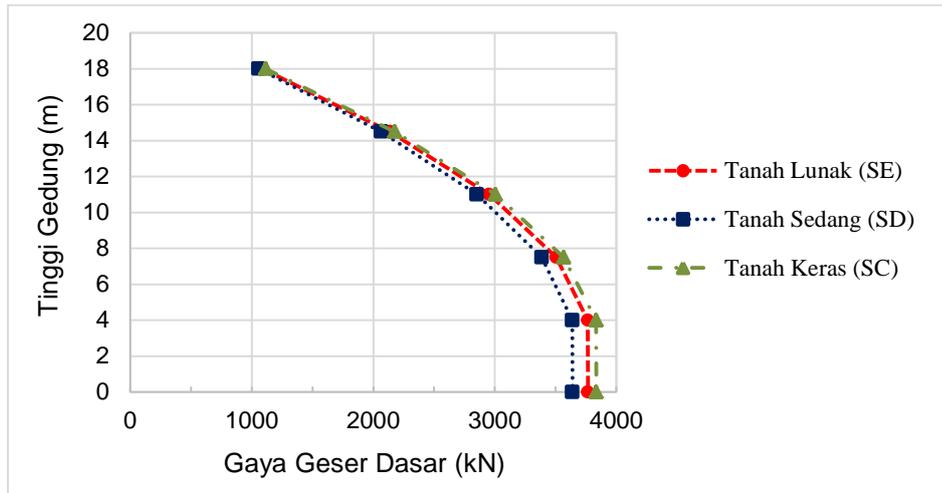
Tabel 4.3: Nilai gaya geser dasar pada struktur di tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras.

Ketinggian (m)	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)	
	Vx (kN)	Vy (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
18	1090.87	1053.5283	1058.00	1023.9015	1116.96	1080.7615
14.5	2136.88	2106.5491	2065.95	2037.7664	2176.16	2146.4137
11	2953.50	2936.6726	2853.09	2835.4575	3006.25	2987.4029
7.5	3505.18	3498.3024	3385.87	3377.858	3566.32	3557.8731
4	3764.31	3764.1899	3638.14	3637.6509	3833.22	3832.3606

Adapaun grafik perbandingan gaya geser dasar pada ketiga model arah x dan y disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Perbandingan nilai gaya geser dasar arah x pada tiga kondisi tanah.



Gambar 4.3: Perbandingan nilai gaya geser dasar arah y pada tiga kondisi tanah.

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.2-4.3 diatas dapat diketahui bahwa gaya geser terkecil terjadi pada tanah sedang, kemudian meningkat pada tanah lunak, dan yang terbesar adalah gaya geser pada tanah keras. Hal ini disebabkan gaya gempa yang mempengaruhinya.

4.2.4. Simpangan Antar Lantai

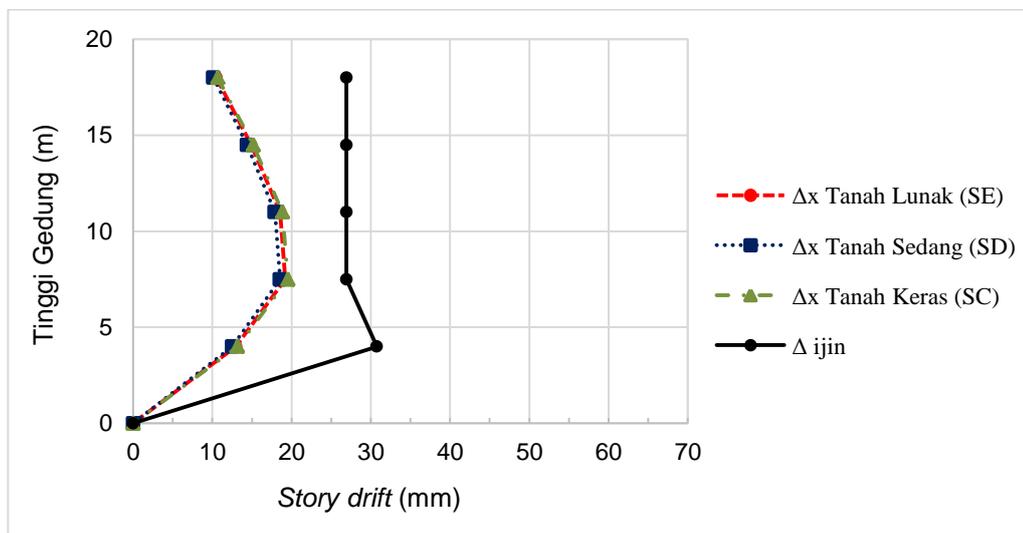
Sesuai dengan SNI 1726:2019, Pasal 7.8.6, simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di lantai teratas dan terbawah lantai yang ditinjau. Simpangan pusat massa di lantai x (δx) (mm) hasil analisis *software* harus dikalikan dengan faktor pembesaran defleksi (C_d) sesuai dengan Persamaan 2.19.

Nilai simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a) untuk semua tingkat, dimana untuk sistem struktur beton bertulang SRPMK dengan kategori resiko IV dibatasi sesuai Tabel 2.2.

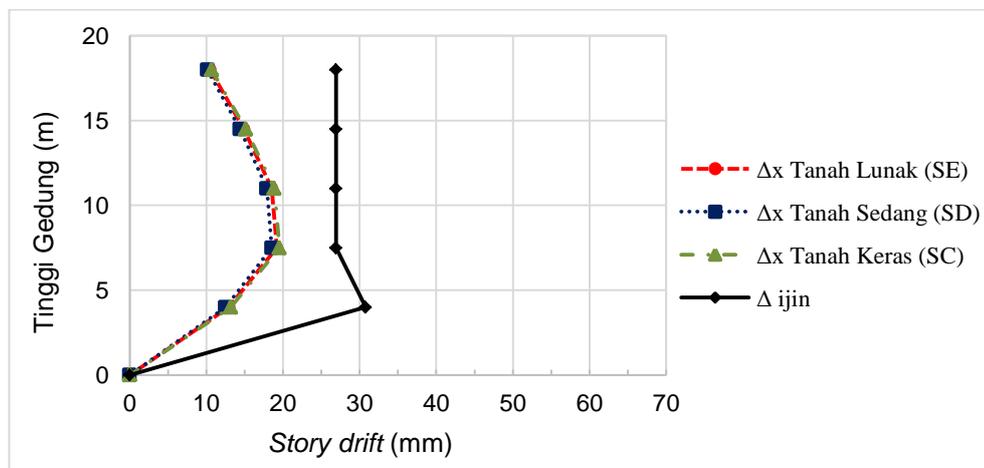
Detail perhitungan simpangan antar lantai (*story drift*) terdapat pada Lampiran 8. Nilai simpangan antar lantai struktur Model 1, 2 dan 3 pada ketiga jenis tanah disajikan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.4: Nilai simpangan antar lantai (*story drift*) pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras.

Ketinggian	Tanah Lunak (SE)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Keras (SC)		Kontrol
	Δx (mm)	Δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	
18	10.51	8.53	10.15	8.24	10.69	8.68	27
14.5	14.89	13.05	14.38	12.59	15.15	13.26	27
11	18.54	16.84	17.90	16.25	18.85	17.12	27
7.5	19.20	17.79	18.54	17.17	19.53	18.09	27
4	12.96	12.46	12.52	12.04	13.19	12.68	31



Gambar 4.4: Perbandingan nilai simpangan antar lantai (*story drift*) arah x pada ketiga kondisi tanah.



Gambar 4.5: Perbandingan nilai simpangan antar lantai (*story drift*) arah y pada ketiga kondisi tanah.

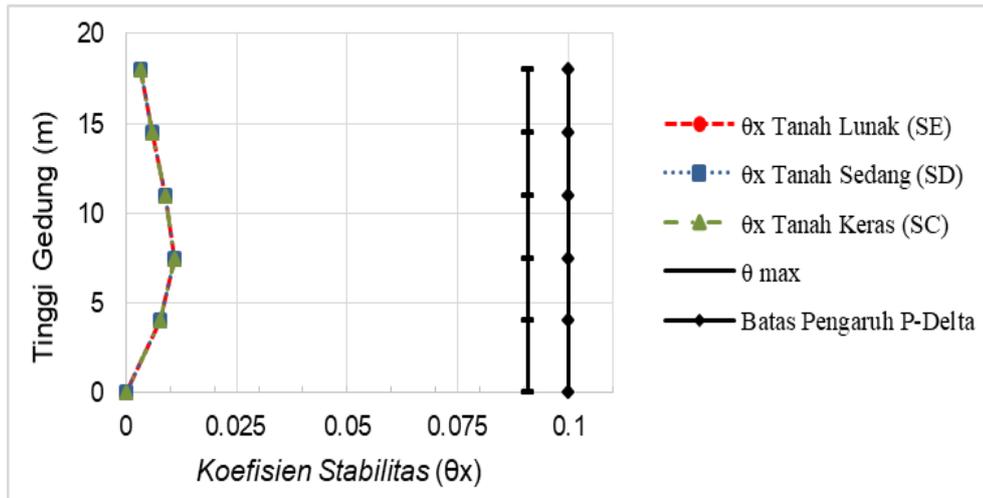
Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.4-4.5 di atas dapat dilihat bahwa simpangan antar lantai semua tingkat pada struktur di tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras nilainya tidak melebihi batas izin yang disyaratkan untuk arah x dan y. Selain itu, dapat dilihat bahwa nilai simpangan terbesar ada pada struktur di atas tanah keras, hal ini disebabkan oleh gaya gempa yang mempengaruhi struktur tersebut. Seperti yang terlihat pada tabel 4.5, bahwa gaya gempa terbesar terdapat pada kondisi tanah keras.

4.2.5. Pengaruh P-Delta

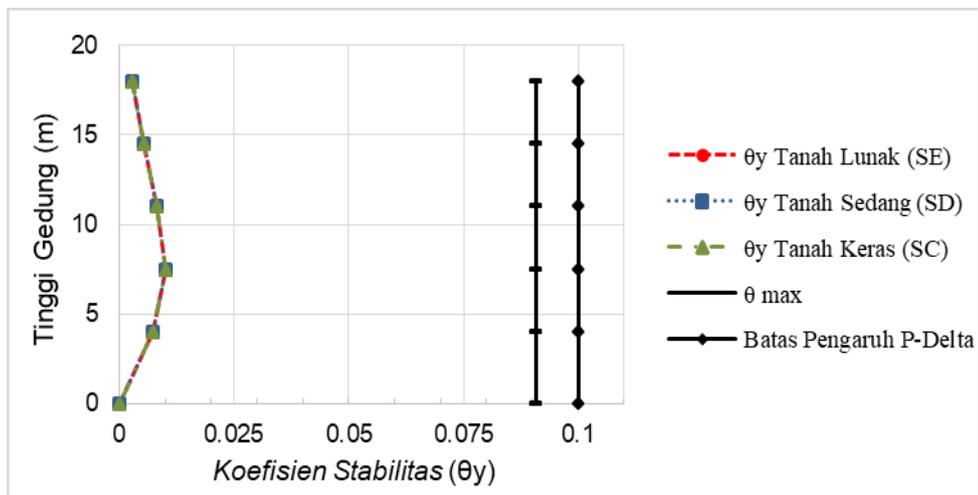
Pada pembahasan sebelumnya diketahui pengaruh P-delta merupakan efek sekunder pada elemen-elemen struktur, berupa geser dan momen yang disebabkan oleh aksi beban-beban vertikal yang dipicu oleh perpindahan lateral struktur yang dihasilkan oleh berbagai kondisi pembebanan. Berdasarkan SNI 1726:2019, pengaruh P-delta dapat diabaikan apabila koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,10$. Dimana koefisien stabilitas (θ) dihitung sesuai persamaan 2.43 dan tidak diperbolehkan melebihi θ_{max} sesuai persamaan 2.44. Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus di desain ulang. Detail perhitungan koreksi P-delta terdapat pada lampiran 8. Hasil perhitungan koefisien stabilitas dan koreksinya terhadap batas P-Delta dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: 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			
18	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.0909	0.1	OK
14.5	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.0909	0.1	OK
11	0.009	0.008	0.009	0.008	0.009	0.008	0.0909	0.1	OK
7.5	0.011	0.010	0.011	0.010	0.011	0.010	0.0909	0.1	OK
4	0.008	0.007	0.008	0.007	0.008	0.007	0.0909	0.1	OK



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



Gambar 4.7: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur di ketiga kondisi tanah pada arah y.

Dapat dilihat melalui tabel dan grafik bahwa koefisien stabilitas struktur arah x dan y di semua lantai pada ketiga kondisi tanah nilainya tidak melebihi 0,1, sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

4.2.6 Ketidakberaturan Horizontal

Analisa ketidakberaturan horizontal mengacu pada Tabel 13, Pasal 7.3.3.4 SNI 1726:2019. Dalam hal ini hanya dilakukan analisis pada 2 tipe ketidakberaturan horizontal yaitu Tipe 1a dan 1b.

a. Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa struktur gedung memiliki eksentrisitas, sehingga harus diperiksa terhadap ketidakberaturan torsinya. Ketidakberaturan torsi didefinisikan sebagai simpangan antar lantai tingkat maksimum.

Ketidakteraturan torsi 1a terjadi apabila,

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,2 \tag{2.28}$$

Ketidakteraturan torsi 1b terjadi apabila,

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,4 \tag{2.29}$$

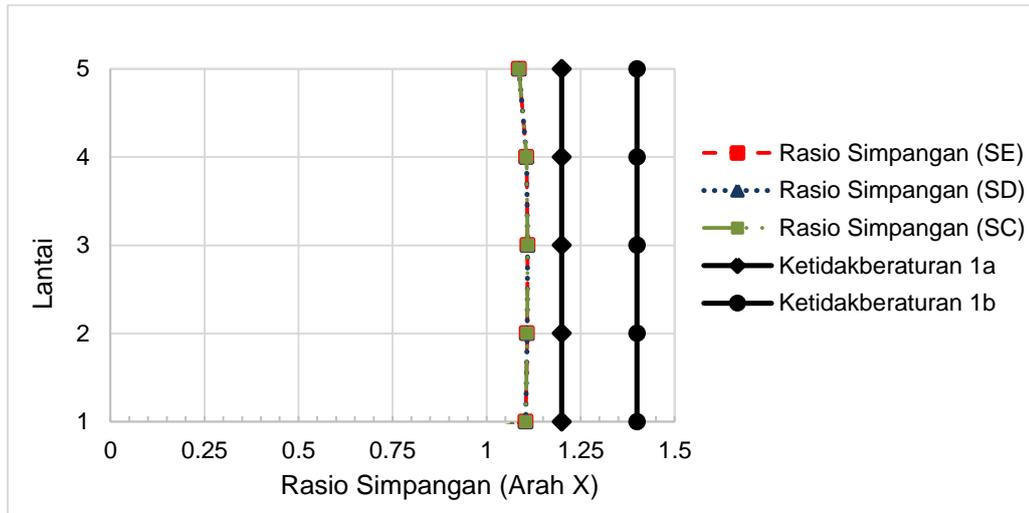
Dimana Δ adalah simpangan antar lantai yang sudah dikenai faktor pembesaran defleksi. Hasil pemeriksaan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan akibat gempa arah x dan y untuk struktur pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras tertera pada Tabel 4.7-4.8 dan Gambar 4.8-4.9.

Tabel 4.6: Hasil analisa ketidakberaturan torsi struktur arah x pada ketiga kondisi tanah.

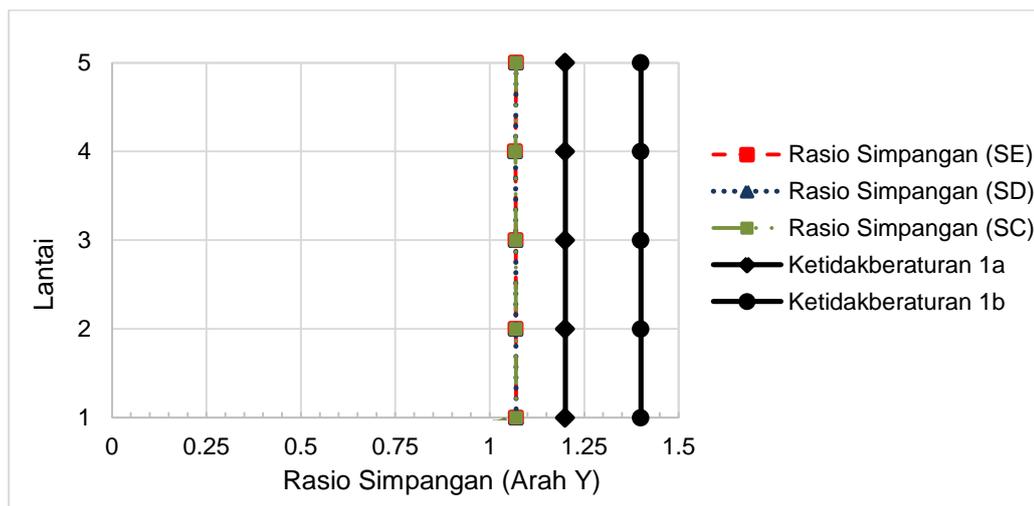
Lt.	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)	Batas H. 1a	Batas H. 1b	Cek
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$			
5	1.09	1.09	1.09	1.2	1.4	OK
4	1.11	1.11	1.11	1.2	1.4	OK
3	1.11	1.11	1.11	1.2	1.4	OK
2	1.11	1.11	1.11	1.2	1.4	OK
1	1.10	1.10	1.10	1.2	1.4	OK

Tabel 4.7: Hasil analisa ketidakberaturan torsi struktur arah y pada ketiga kondisi tanah.

Lt.	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)	Batas H. 1a	Batas H. 1b	Cek
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$			
5	1.07	1.07	1.07	1.2	1.4	OK
4	1.07	1.07	1.07	1.2	1.4	OK
3	1.07	1.07	1.07	1.2	1.4	OK
2	1.07	1.07	1.07	1.2	1.4	OK
1	1.07	1.07	1.07	1.2	1.4	OK



Gambar 4.8: Grafik hasil analisa ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b struktur pada ketiga kondisi tanah (arah x).



Gambar 4.9: Grafik hasil analisa ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b struktur pada ketiga kondisi tanah (arah y).

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, rasio $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ struktur pada ketiga kondisi tanah, untuk arah x dan y di semua tingkat lebih kecil dari 1,2, sehingga tidak terdapat ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan pada struktur.

4.2.7. Ketidakberaturan Vertikal

Analisa ketidakberaturan vertikal mengacu pada Tabel 14, Pasal 7.3.3.4 SNI 1726:2019. Dalam hal ini hanya dilakukan analisis pada 4 Tipe ketidakberaturan vertikal.

a. Ketidakberaturan Tingkat Lunak dan Tingkat Lunak Berlebihan (*Soft Story*)/ Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b

Berdasarkan SNI 1726:2019, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) atau ketidakberaturan vertikal 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 persamaan sebagai berikut:

Jika, $K_i < 0,7 K_{i+1}$ atau $K_i < 0,8 x \frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3}$ (Pasal 7.3.2.2).

maka struktur memiliki ketidakberaturan vertikal (tipe 1a = *irregular*).

Jika, $K_i < 0,6 K_{i+1}$ atau $K_i < 0,7 x \frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3}$ (Pasal 7.3.2.2).

maka struktur memiliki ketidakberaturan vertikal berlebih (tipe 1b = *extreme*).

Dimana :

K_i = Kekakuan lantai i (i = 1,2,3,4 & 5)

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

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

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

Hasil analisis ketidakberaturan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebihan untuk struktur di tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras arah x dan y disajikan pada Tabel 4.9 – 4.10 dan Gambar 4.10 – 4.11.

Tabel 4.8: Hasil analisa ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a dan 1b) struktur pada ketiga kondisi tanah arah x.

Kelas Situs Tanah	Lt.	Stiffness arah X	0,7 K_{i+1}	0,8($K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}$)/3	0,6 K_{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		
Tanah Lunak (SE)	5	352450	0	93987	0	21930	OK	OK
	4	503052	246715	93987	211470	82238	OK	OK
	3	556839	352136	228134	301831	199617	OK	OK
	2	637180	389787	376624	334103	329546	OK	OK
	1	1008012	446026	452552	382308	395983	OK	OK

Tabel 4.9: Lanjutan.

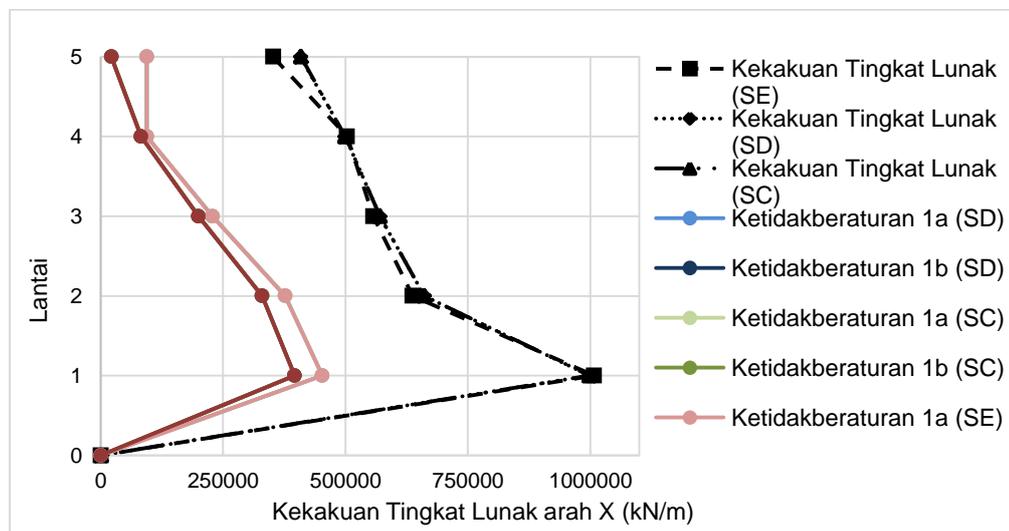
Tanah Sedang (SD)	Lt.	Stiffness arah X	0,7Ki+1	$0,8(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	0,6Ki+1	$0,7(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
	5	353473	0	94259	0	21994	OK	OK
	4	503324	247431	94259	212084	82477	OK	OK
	3	556920	352327	228479	301994	199919	OK	OK
	2	637249	389844	376991	334152	329867	OK	OK
	1	1008413	446074	452665	382349	396082	OK	OK
Tanah Lunak (SC)	Lt.	Stiffness arah X	0,7Ki+1	$0,8(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	0,6Ki+1	$0,7(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
	5	354209	0	94456	0	22040	OK	OK
	4	503355	247946	94456	212525	82649	OK	OK
	3	557109	352349	228684	302013	200098	OK	OK
	2	637265	389977	377246	334266	330091	OK	OK
	1	1008690	446085	452728	382359	396137	OK	OK

Tabel 4.9: Hasil analisa ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (5a dan 5b) struktur pada ketiga kondisi tanah arah y.

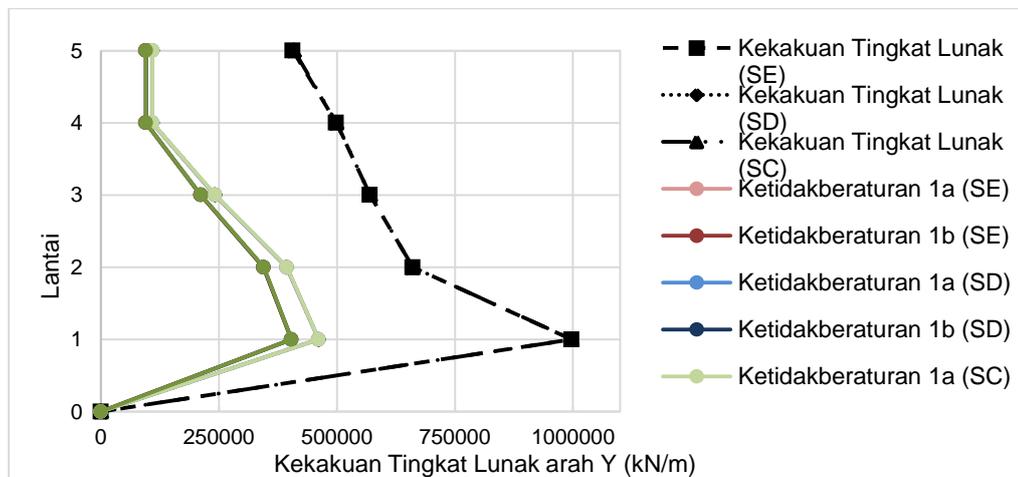
Kelas Situs Tanah	Lt.	Stiffness arah Y	0,7Ki+1	$0,8(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	0,6Ki+1	$0,7(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
Tanah Lunak (SE)	5	406481	0	108395	0	94846	OK	OK
	4	498468	284537	108395	243888	94846	OK	OK
	3	570028	348928	241320	299081	211155	OK	OK
	2	660738	399020	393327	342017	344161	OK	OK
	1	997252	462516	461129	396443	403488	OK	OK
Tanah Sedang (SD)	Lt.	Stiffness arah Y	0,7Ki+1	$0,8(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	0,6Ki+1	$0,7(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
	5	408334	0	108889	0	95278	OK	OK
	4	499204	285834	108889	245001	95278	OK	OK
	3	570129	349443	242010	299522	211759	OK	OK
	2	660860	399091	394045	342078	344789	OK	OK
	1	997877	462602	461385	396516	403712	OK	OK

Tabel 4.10: Lanjutan.

Tanah Lunak (SC)	Lt.	Stiffness arah Y	0,7Ki+1	$0,8(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	0,6Ki+1	$0,7(Ki+1 + Ki+2 + Ki+3)/3$	Cek tipe 1a	Cek tipe 1b
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m		
	5	409107	0	109095	0	95458	OK	OK
	4	499218	286375	109095	245464	95458	OK	OK
	3	570284	349453	242220	299531	211942	OK	OK
	2	660873	399199	394296	342170	345009	OK	OK
	1	998078	462611	461433	396524	403754	OK	OK



Gambar 4.10: Hasil analisa ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b arah x struktur di ketiga kondisi tanah.



Gambar 4.11: Hasil analisa ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b arah y struktur di ketiga kondisi tanah.

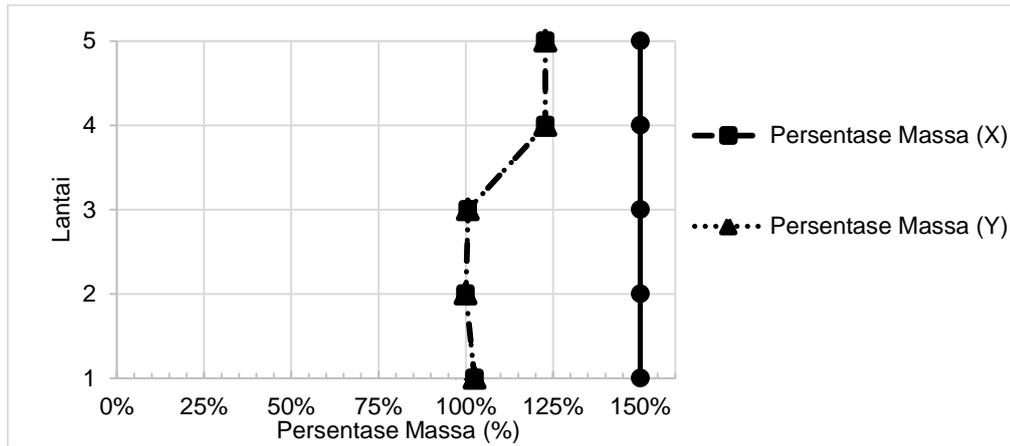
Dapat dilihat pada Tabel 4.9 – 4.10 dan Gambar 4.10 – 4.11, nilai *stiffness* x dan *stiffness* y menunjukkan bahwa kekakuan lateral di semua tingkat lebih besar dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (tipe 1a) dan kekakuan lateral tiap lantai lebih besar dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (tipe 1b). Hal ini menunjukkan struktur pada ketiga kondisi tanah tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebihan terhadap masing-masing arah.

b. Ketidakberaturan Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019, dikatakan bahwa 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, dalam hal struktur 5 lantai pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras memiliki berat efektif sama. Kontrol ketidakberaturan massa untuk struktur pada ketiga kondisi tanah disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10: Kontrol ketidakberaturan massa struktur.

Lantai	Berat Efektif (kg)	Persentase Berat Efektif (%)	150% Berat Efektif	Cek massa (X) > 150%	Status
1	613697.97	103%	920546.955	Tidak	OK
2	598432.29	100%	897648.435	Tidak	OK
3	598432.29	101%	897648.435	Tidak	OK
4	594530.51	123%	891795.765	Tidak	OK
5	484110.05	123%	726165.075	Tidak	OK



Gambar 4.12: Hasil koreksi ketidakberaturan massa struktur gedung 5 lantai pada ketiga kondisi tanah.

Dari Tabel 4.11 maupun Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa tidak ada persentase massa efektif yang melebihi 150% dari tingkat di dekatnya baik arah x maupun arah y sehingga struktur tidak memiliki ketidakberaturan massa.

c. Ketidakberaturan Tingkat Lemah dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

Ketidakteraturan Tingkat Lemah (Tipe 5a) ada apabila,

$$V_i < 80\% V_{i-1} \quad (2.31)$$

Ketidakteraturan Tingkat Lemah berlebihan (Tipe 5b) ada apabila,

$$V_i < 65\% V_{i-1} \quad (2.32)$$

Analisis ketidakberaturan tipe 5a dan 5b untuk struktur gedung 5 lantai pada tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan 4.13 serta Gambar 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.11: Hasil analisa ketidakberaturan lateral tingkat arah x struktur pada ketiga kondisi tanah.

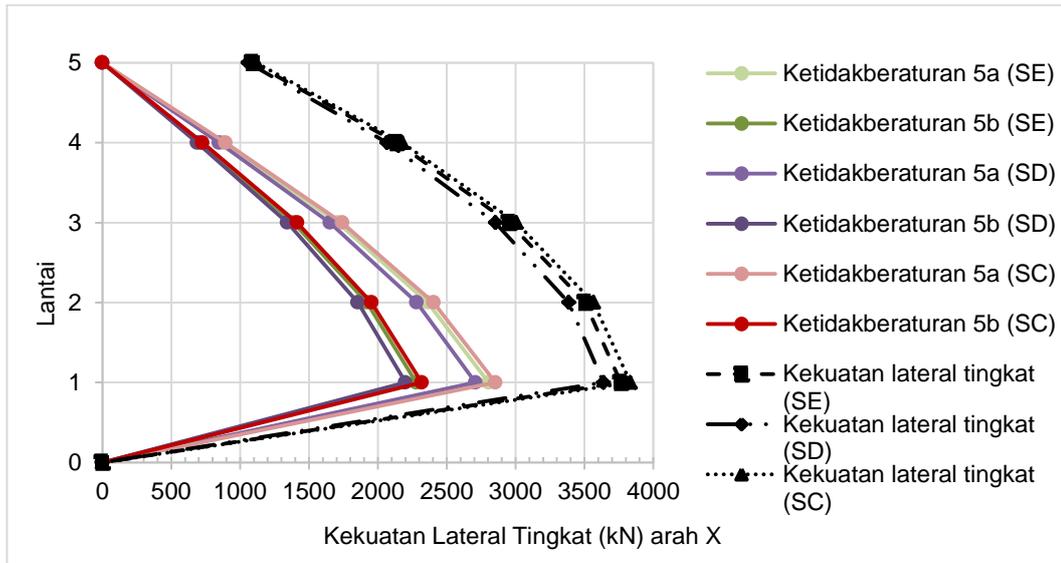
Kelas Situs Tanah	Lt.	V _x (kN)	0,8K _{i+1}	0,65K _{i+1}	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
Tanah Lunak (SE)	5	1090.87	0.00	0.00	OK	OK
	4	2136.88	872.70	709.07	OK	OK
	3	2953.50	1709.50	1388.97	OK	OK
	2	3505.18	2362.80	1919.78	OK	OK
	1	3764.31	2804.14	2278.37	OK	OK

Tabel 4.12: Lanjutan.

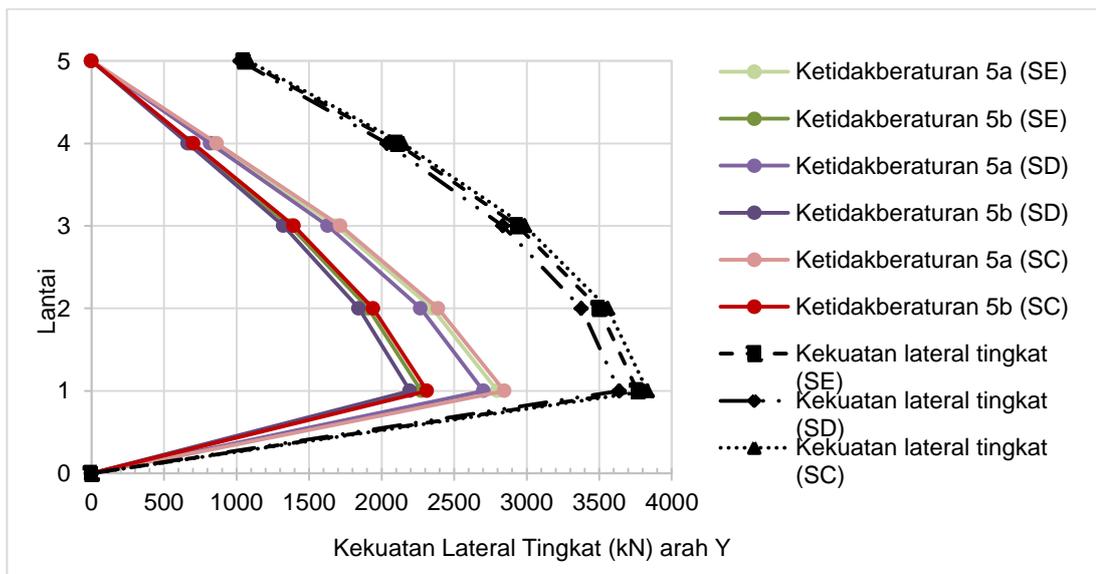
Kelas Situs Tanah	Lt.	Vx (kN)	0,8Ki+1	0,65Ki+1	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
Tanah Keras (SC)	5	1058.00	0.00	0.00	OK	OK
	4	2065.95	846.40	687.70	OK	OK
	3	2853.09	1652.76	1342.87	OK	OK
	2	3385.87	2282.47	1854.51	OK	OK
	1	3638.14	2708.70	2200.82	OK	OK
Tanah Keras (SC)	Lt.	Vx (kN)	0,8Ki+1	0,65Ki+1	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
	5	1116.96	0.00	0.00	OK	OK
	4	2176.16	893.57	726.02	OK	OK
	3	3006.25	1740.93	1414.50	OK	OK
	2	3566.32	2405.00	1954.06	OK	OK
	1	3833.22	2853.06	2318.11	OK	OK

Tabel 4.12: Hasil analisa ketidakberaturan lateral tingkat arah y struktur pada ketiga kondisi tanah.

Kelas Situs Tanah	Lt.	Vy (kN)	0,8Ki+1	0,65Ki+1	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
Tanah Lunak (SE)	5	1053.53	0.00	0.00	OK	OK
	4	2106.55	842.82	684.79	OK	OK
	3	2936.67	1685.24	1369.26	OK	OK
	2	3498.30	2349.34	1908.84	OK	OK
	1	3764.19	2798.64	2273.90	OK	OK
Tanah Sedang (SD)	Lt.	Vy (kN)	0,8Ki+1	0,65Ki+1	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
	5	1023.90	0.00	0.00	OK	OK
	4	2037.77	819.12	665.54	OK	OK
	3	2835.46	1630.21	1324.55	OK	OK
	2	3377.86	2268.37	1843.05	OK	OK
	1	3637.65	2702.29	2195.61	OK	OK
Tanah Keras (SC)	Lt.	Vy (kN)	0,8Ki+1	0,65Ki+1	Cek Tipe 5a	Cek Tipe 5b
	5	1080.76	0.00	0.00	OK	OK
	4	2146.41	864.61	702.49	OK	OK
	3	2987.40	1717.13	1395.17	OK	OK
	2	3557.87	2389.92	1941.81	OK	OK
	1	3832.36	2846.30	2312.62	OK	OK



Gambar 4.13: Koreksi Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b pada struktur di ketiga kondisi tanah (arah x).



Gambar 4.14: Koreksi Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b pada struktur di ketiga kondisi tanah (arah y).

Berdasarkan Tabel 4.12 dan 4.13 serta Gambar 4.13 dan 4.14 dapat diketahui bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan vertikal Tipe 5a dan 5b.

4.3 Desain Elemen Struktur pada Tanah Lunak, Tanah Sedang dan Tanah Keras

4.3.1 Desain Elemen Balok (B24 Lt.2)

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. Analisis elemen balok oleh program analisa struktur menggunakan beban sesuai sub bab 3.4.

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 adalah balok dengan label B24 pada lantai 2, posisi balok yang ditinjau dapat dilihat pada bab 3. 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 berikut.

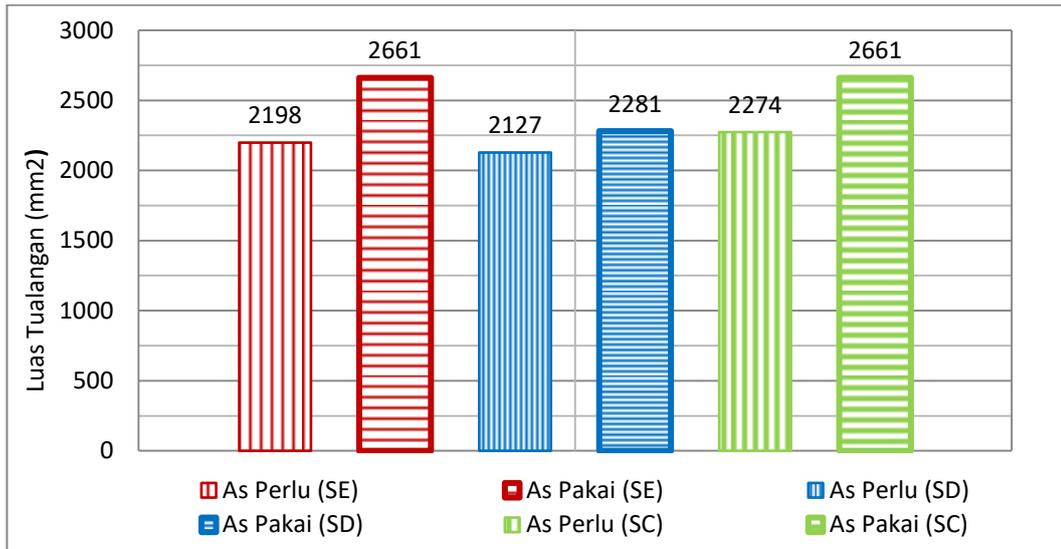
Tabel 4.13: output gaya dalam untuk desain balok pada ketiga kondisi tanah.

	Gaya Dalam	Situs Tanah		
		SE	SD	SC
Tumpuan	Mu (-)	-505.53	-490.04	-513.44
	Mu (+)	425.82	410.34	433.73
Lapangan	Mu (-)	-442.44	-426.47	-450.60
	Mu (+)	518.36	502.40	526.53
Tumpuan	Vu	435.86	423.73	442.05
Lapangan	Vu	387.53	375.48	393.69
	Vg	79.60	79.60	79.60
	Tu	74.47	72.25	75.61
	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 4.15 dan Gambar 4.15.

Tabel 4.14: Rekapitulasi kebutuhan luas tulangan dan rasio pada balok di ketiga kondisi tanah.

Tulangan longitudinal	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
A_s perlu (mm ²)	2198	2127	2274
A_s pakai (mm ²)	2660.93	2280.8	2660.93
ρ perlu (%)	0.63	0.61	0.65
ρ pakai (%)	0.84	0.72	0.84



Gambar 4.15: Luas tulangan perlu balok pada struktur di ketiga kondisi tanah.

Berdasarkan Tabel 4.15 dan Gambar 4.15 di atas, dapat dilihat bahwa kebutuhan tulangan perlu dan rasio tulangan perlu terbesar adalah pada tanah keras (SC), hal ini dipengaruhi oleh gaya dalam pada elemen balok tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 4.14. 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. kekuatan rencana untuk desain elemen balok terdapat dalam Pasal 9.4 SNI 2847:2019, sedangkan kekuatan rencana terdapat dalam Pasal 9.5.2 SNI 2847:2019. Hasil perbandingan antara kuat rencana dan kuat perlu dalam analisis balok yang ditinjau pada ketiga kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 4.16 berikut:

Tabel 4.15: Rekapitulasi nilai M_u , M_n , V_u , dan V_n balok (B24) pada model 1, 2 & 3.

Situs Tanah	Posisi Tulangan	M_u (kNm)	ϕM_n (kNm)	$\phi M_n / M_u$	V_u (kNm)	ϕV_n (kNm)	$\phi V_n / V_u$
SE	Tumpuan	Tul. Lentur atas	505.56	595.63	Ok		
		Tul. Lentur bawah	425.82	515.93	Ok		
		Tul. Geser				435.86	664.79

Tabel 4.16: *Lanjutan.*

Situs Tanah	Posisi Tulangan		Mu (kNm)	ϕM_n (kNm)	$\phi M_n / Mu$	Vu (kNm)	ϕV_n (kNm)	$\phi V_n / Vu$
	Lapangan	Tul. Lentur atas	442.44	515.93	Ok			
		Tul. Lentur bawah	518.36	595.63	Ok			
		Tul. Geser				387.53	601.95	Ok
SD	Tumpuan	Tul. Lentur atas	490.04	515.93	Ok			
		Tul. Lentur bawah	410.34	515.93	Ok			
		Tul. Geser				423.73	664.79	Ok
	Lapangan	Tul. Lentur atas	426.47	515.93	Ok			
		Tul. Lentur bawah	502.40	595.63	Ok			
		Tul. Geser				375.48	601.95	Ok
SC	Tumpuan	Tul. Lentur atas	513.44	595.63	Ok			
		Tul. Lentur bawah	433.73	515.93	Ok			
		Tul. Geser				442.05	664.79	Ok
	Lapangan	Tul. Lentur atas	450.60	515.93	Ok			
		Tul. Lentur bawah	526.53	595.63	Ok			
		Tul. Geser				393.69	631.18	Ok

Adapun berdasarkan hasil perhitungan balok berdasarkan syarat desain balok SRPMK yang berlaku serta menggunakan gaya dalam yang telah diperoleh sebelumnya, didapat dimensi dan tulangan balok pada struktur diatas tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras seperti yang terlihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.16.

Tabel 4.16: Rekapitulasi tulangan balok pada struktur di atas tanah lunak, tanah sedang dan keras.

Posisi tulangan		Situs Tanah		
		SE	SD	SC
Tumpuan	Tul. Lentur atas	7 D22	6 D22	7 D22
	Tul. Lentur bawah	6 D22	6 D22	6 D22
	Tul. Sengkang	3 D13 - 120	3 D13 - 120	3 D13 - 120
Lapangan	Tul. Lentur atas	6 D22	6 D22	6 D22
	Tul. Lentur bawah	7 D22	6 D22	7 D22
	Tul. sengkang	2 D13 - 140	2 D13-140	2 D13-130
	Tul. Torsi	4 D 22	4 D22	4 D22

Penampang elemen balok hasil desain untuk model 1,2 dan 3 dapat dilihat pada Gambar 4.16.

	Tumpuan	Lapangan
Balok 500/700 Model 1 (di Tanah Lunak)		
Balok 500/700 Model 2 (di Tanah Sedang)		
Balok 500/700 Model 3 (di Tanah Keras)		

Gambar 4.16: Hasil desain balok pada ketiga kondisi tanah.

Setelah dilakukan analisis dengan cara trial error, di dapat hasil bahwa balok utama yang ditinjau pada pada ketiga model menggunakan dimensi yang sama, yaitu 500/700. Diameter dan jumlah tulangan longitudinal yang dipakai tidak banyak berbeda, tetapi terdapat perbedaan pada jarak tulangan sengkang. Hal ini disebabkan karena pengaruh gaya yang bekerja pada elemen struktur, dimana memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan., sehingga untuk balok pada posisi yang sama di atas struktur tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras masih cukup efisien menggunakan ukuran dimensi dan tulangan yang sama.

4.3.2 Desain Kolom (C2 Lt. 1)

Pada tugas akhir ini, akan dianalisa kolom utama pada posisi yang sama antara struktur gedung 5 lantai di atas tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras. Berdasarkan hasil analisa 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 4.18.

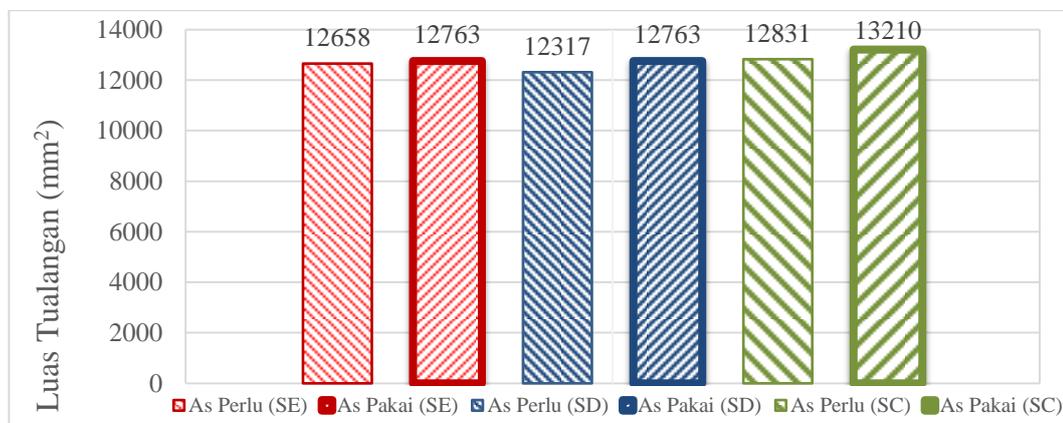
Tabel 4.17: Output gaya dalam kolom (C2 lantai 1) pada model 1, 2 dan 3.

Gaya Dalam	Situs Tanah		
	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
P	-2477.81	-2432.03	-2500.99
Mx	-876.10	-848.18	-891.15
My	-1234.76	-1196.63	-1255.42
Vx	490.98	477.25	498.53
Vy	305.62	296.88	310.49

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 4.19 dan Gambar 4.17.

Tabel 4.18: Nilai A_s & ρ perlu dan A_s & ρ pakai kolom (C2) pada model 1, 2 & 3.

Tulangan longitudinal	Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
A_s perlu (mm ²)	12658	12317	12831
A_s pakai (mm ²)	12762.72	12762.72	13210.40
ρ perlu (%)	1,75	1,70	1,78
ρ pakai (%)	1,77	1,77	1,83



Gambar 4.16: Grafik luas tulangan perlu kolom pada struktur di ketiga kondisi tanah.

Berdasarkan Tabel 4.19 dan Gambar 4.17 diatas, dapat dilihat bahwa kebutuhan tulangan perlu dan rasio tulangan perlu terbesar adalah pada tanah keras (SC), 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 10. Hasil perbandingan antara kuat rencana dan kuat perlu dalam analisa kolom yang ditinjau pada ketiga kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 4.20 berikut:

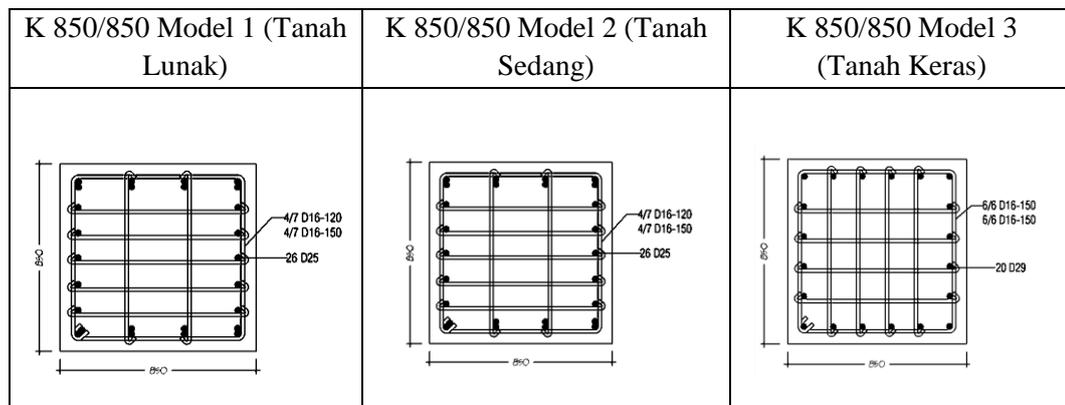
Tabel 4.19: Nilai M_u , M_n , V_u , dan V_n kolom (C2) pada model 1, 2 & 3.

Situs Tanah	Posisi Tulangan		M_u (kNm)	ϕM_n (kNm)	$\phi M_n / M_u$	V_u (kNm)	ϕV_n (kNm)
SE	Tumpuan	Longitudinal	1514	1970.6	1,30		
		Transversal				2151910	2227395
	Lapangan	Longitudinal	1514	1970.6	1,30		
		Transversal				490981.3	1897422
SD	Tumpuan	Longitudinal	1467	1970	1.34		
		Transversal				2315321	2885241
	Lapangan	Longitudinal	1467	1970	1.34		
		Transversal				477254	1895323
SE	Tumpuan	Longitudinal	1540	2004.6	1,30		
		Transversal				2313971	2551884
	Lapangan	Longitudinal	1540	2004.6	1,30		
		Transversal				310488	2551884

Adapun berdasarkan hasil perhitungan kolom SRPMK yang berlaku serta menggunakan gaya dalam yang telah diperoleh sebelumnya, didapat dimensi dan tulangan kolom pada struktur 5 lantai diatas tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras seperti yang terlihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.20: Rekapitulasi tulangan kolom pada struktur 5 lantai di ketiga kondisi tanah.

Posisi tulangan		Situs Tanah		
		Tanah Lunak (SE)	Tanah Sedang (SD)	Tanah Keras (SC)
Tumpuan	Longitudinal	26 D25	26 D25	20 D29
	Transversal	4/7 D16-120	4/7 D16-120	6/6 D16-150
Lapangan	Longitudinal	26 D25	26 D25	20 D29
	Transversal	4/7 D16-150	4/7 D16-150	6/6 D16-150



Gambar 4.18: Hasil desain kolom pada ketiga kondisi tanah.

Setelah dilakukan analisis dengan cara *trial error*, di dapat hasil bahwa kolom utama yang ditinjau pada ketiga model menggunakan dimensi yang sama, yaitu kolom 850 x 850 dengan diameter tulangan D25 dan D29 untuk tulangan longitudinal serta D16 untuk tulangan trasversal . Pada diameter tulangan D29 jumlah tulangan berkurang 6 buah dari dibandingkan dengan memakai D25. Terdapat perbedaan pada jumlah kaki sengkang pada kolom di atas tanah keras, dimana kebutuhannya menjadi lebih banyak. Hal tersebut sejalan dengan gaya yang mempengaruhinya, dimana gaya terbesar ada pada kolom struktur di atas tanah keras. Selain itu penggunaan dimensi yang sama dan dimensi tulangan serta jumlahnya yang tidak jauh berbeda, hal ini karena selisih nilai gaya dalam yang tidak terlalu jauh, yang dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada elemen struktur, terutama pada gaya gempa.

BAB 5

KSEIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan struktur gedung rumah sakit 5 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

Pada ketiga model struktur dimensi balok adalah 500 x 700 mm, dengan variasi tulangan sebagai berikut:

- 1) Balok struktur pada tanah lunak yaitu menggunakan dimensi tulangan longitudinal 15 D22 dan tulangan transversal 3 D13-120 (tumpuan) & 2 D13-130 (lapangan).
- 2) Balok struktur pada tanah sedang yaitu menggunakan dimensi tulangan longitudinal 14 D22 dan tulangan transversal 3 D13 - 120 (tumpuan) dan 2 D13 - 140 (lapangan).
- 3) Balok struktur pada tanah keras yaitu menggunakan dimensi tulangan longitudinal 15 D22 dan tulangan transversal 3 D13-120 (tumpuan) & 2 D13-140 (lapangan).

- b. Hasil desain kolom

Pada ketiga model struktur dimensi kolom adalah 850 x 850 mm, dengan variasi tulangan sebagai berikut:

- 1) Kolom struktur pada tanah lunak yaitu menggunakan tulangan longitudinal 26 D25 dan tulangan transversal 4/7 D16 - 120 (tumpuan) dan 4/7 D16 - 150 (lapangan).

- 2) Kolom struktur pada tanah sedang yaitu menggunakan tulangan longitudinal 26 D25 dan tulangan transversal 4/7 D16 - 120 (tumpuan) dan 4/7 D16 - 150 (lapangan).
 - 3) Kolom struktur pada tanah keras yaitu menggunakan penampang 900 x 900 dengan tulangan longitudinal 20 D29 dan tulangan transversal 6/6 D16 - 150 (tumpuan) dan 6/6 D16 - 150 (lapangan).
- c. Dapat disimpulkan bahwa semakin keras tanah tempat struktur dibangun belum tentu semakin kecil pula gaya gempanya, hal ini disebabkan oleh faktor yang mempengaruhi nilai koefisien respon seismic (C_s), khususnya nilai parameter spektral respons percepatan desain pada periode pendek (S_d) dan 1 detik (S_{d1}), begitu pula sebaliknya.
2. Perbandingan perilaku struktur pada ketiga situs tanah yang berbeda adalah:
- a. Periode getar alami struktur pada struktur di atas tanah lunak tanah sedang dan tanah keras yaitu 0,637 detik.
 - b. Nilai koefisien respon seismic (C_s) pakai yaitu:
 Nilai (C_s) struktur pada tanah lunak adalah 0,133 dan 0,133.
 Nilai (C_s) struktur pada tanah sedang adalah 0,128 dan 0,128.
 Nilai (C_s) struktur pada tanah keras adalah 0,135 dan 0,135.
 - 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:
 arah x = 3765.730
 arah y = 3766.286
 - 2) Gaya geser dasar struktur di atas tanah sedang:
 arah x = 3639.535
 arah y = 3639.711
 - 3) Gaya geser dasar struktur di atas tanah keras:
 arah x = 3834.709
 arah y = 3834.551

- d. Simpangan antar tingkat (*story drift*) yang terjadi pada struktur adalah:
- 1) *Story drift* maksimum struktur di atas tanah lunak yaitu 19.20 mm.
 - 2) *Story drift* maksimum struktur di atas tanah sedang yaitu 18.54 mm.
 - 3) *Story drift* maksimum struktur di atas tanah keras yaitu 19.53 mm.

5.2 Saran

Setelah melaksanakan penelitian ini, adapun saran dari peneliti yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berlokasi di Kota Medan, maka peneliti menyarankan untuk melakukan tinjauan pada lokasi yang berbeda pada situs tanah yang sama.
2. Peneliti menyarankan agar pada studi selanjutnya menggunakan perbandingan dengan sistem struktur yang lain, sehingga dapat dibandingkan dengan kinerja struktur yang sudah ada.
3. Peneliti menyarankan agar dilakukan terhadap analisis biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshori, 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.
- Asroni, A. (2020). Balok Pelat Beton Bertulang. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- 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.
- 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.
- Hadi, H., Agustina, S., & S, Armin. (2019). Penguatan Kesiapsiagaan Stakeholder Dalam Pengurangan Risiko Bencana Gempa Bumi, (3)1, 30-40.
- Imran, Iswandi., Fajar Hendrik, 2014. Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang. Bandung : ITB
- Imran, Iswandi., Fajar Hendrik, 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung : ITB
- Pawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan. Universitas Islam Indonesia.
- Poliyama & Zulfikar, S. (2016). Pengaruh Kondisi Tanah Terhadap Analisis Dan

Desain Bangunan Bertingkat Pada Tanah Sedang Dan Tanah Lunak Sesuai SNI 28847: 2013 Dan SNI 1726:2012. Skripsi.

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*.

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*.

Lampiran 1

Kombinasi Beban dan Perhitungan Beban Mati Tambahan

1) Tabel Perioda Struktur

Tabel L1.1: Perioda struktur model 1,2 dan 3.

Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY	RZ
		sec			
Modal	1	0.637	0.759	0	0.047
Modal	2	0.614	0.759	0.8142	0
Modal	3	0.541	0.8056	0.8142	0.7677
Modal	4	0.192	0.9227	0.8142	0.0032
Modal	5	0.183	0.9227	0.932	0
Modal	6	0.165	0.9256	0.932	0.1129
Modal	7	0.095	0.9738	0.932	0.0006
Modal	8	0.092	0.9738	0.9772	0
Modal	9	0.084	0.9744	0.9772	0.0446
Modal	10	0.057	0.9936	0.9772	0.0002
Modal	11	0.056	0.9936	0.9948	0
Modal	12	0.052	0.9939	0.9948	0.0174
Modal	13	0.041	0.9939	0.999	0
Modal	14	0.041	0.9985	0.999	0.0001
Modal	15	0.038	0.9986	0.999	0.0041
Modal	16	0.019	0.9986	0.9991	0
Modal	17	0.018	0.9991	0.9991	0.0006
Modal	18	0.018	0.9991	0.9991	0
Modal	19	0.018	0.9991	0.9991	0.000005982
Modal	20	0.018	0.9991	0.9991	0
Modal	21	0.018	0.9992	0.9991	0.0001
Modal	22	0.017	0.9992	0.9992	0
Modal	23	0.017	0.9994	0.9992	0.0001
Modal	24	0.016	0.9994	0.9992	0
Modal	25	0.016	0.9994	0.9992	0
Modal	26	0.015	0.9994	0.9992	0.000003512
Modal	27	0.015	0.9994	0.9993	0
Modal	28	0.015	0.9994	0.9993	0.0002
Modal	29	0.015	0.9994	0.9993	0.00002486
Modal	30	0.015	0.9994	0.9993	0
Modal	31	0.014	0.9994	0.9993	0.0001
Modal	32	0.014	0.9994	0.9993	0
Modal	33	0.014	0.9994	0.9993	0
Modal	34	0.014	0.9994	0.9993	0
Modal	35	0.014	0.9994	0.9993	6.471E-07
Modal	36	0.014	0.9994	0.9993	0.000002102
Modal	37	0.013	0.9994	0.9993	0.000006502
Modal	38	0.013	0.9994	0.9994	0
Modal	39	0.013	0.9995	0.9994	0.0001
Modal	40	0.013	0.9995	0.9996	0
Modal	41	0.013	0.9996	0.9996	0.0002

Tabel L1.1: Lanjutan

Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY	RZ
		sec			
Modal	42	0.011	0.9996	0.9998	0
Modal	43	0.011	0.9997	0.9998	0.0002
Modal	44	0.01	0.9997	0.9999	0
Modal	45	0.01	0.9997	0.9999	0.0001
Modal	46	0.01	0.9997	0.9999	0
Modal	47	0.01	0.9997	0.9999	0.00001642
Modal	48	0.009	0.9997	0.9999	0
Modal	49	0.009	0.9997	0.9999	0
Modal	50	0.009	0.9997	0.9999	0
Modal	51	0.009	0.9998	0.9999	0.0002
Modal	52	0.008	0.9998	1	0.000001322
Modal	53	0.008	0.9999	1	0.0002
Modal	54	0.008	0.9999	1	0
Modal	55	0.008	0.9999	1	0
Modal	56	0.008	1	1	0.0001
Modal	57	0.007	1	1	0
Modal	58	0.007	1	1	0
Modal	59	0.007	1	1	0.000008846
Modal	60	0.007	1	1	0

2) Kombinasi Pembebanan

Penentuan kombinasi mengacu pada SNI 1726-2019; Pasal 4.2.2.1 dan Pasal 4.2.2.3; Hal-26. Beban yang digunakan meliputi *dead load (D)*, *super imposed dead load (SD)*, *live load (L)* dan *wind load (W)* dan *earthquake load (E)*.

Adapun rincian berdasarkan Pasal 4.2.2.1:

- 1,4 D
- 1,2D + 1,6L

Berdasarkan Pasal 4.2.2.3; kombinasi beban:

- 1,2D + E + L; defenisi E berdasarkan Pasal 7.4.2; Hal-65 adalah $E = E_h + E_v$.
- 0,9D + E; defenisi E berdasarkan Pasal 7.4.2; Hal-65 adalah $E = E_h - E_v$.
- Nilai E_h dan E_v berdasarkan Pasal 7.4.2.1 dan 7.4.2.2; Hla-36 adalah:

$$E_h = \rho \times Q_e$$

ρ = faktor redudansi (Pasal 7.3.4; Hal-63); Untuk KDS D-F = 1,3

$$E_v = 0,2 \times S_{DS}$$

D = pengaruh beban mati

Kesimpulan kombinasi beban:

- b. 1,4 D

- c. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- d. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- e. $1,2D + 1,0 W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- f. $0,9 D + 1,0 W$
- g. $1,2D + Ev + Eh + L$
- h. $0,9D - Ev + Eh$

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. $0,758 D - 1,3 Eq_x - 0,39 Eq_y$
22. $0,758 D + 0,39 Eq_x + 1,3 Eq_y$

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. $0,758 D - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
26. $1,342 D + L + 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
27. $1,342 D + L + 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
28. $1,342 D + L - 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
29. $1,342 D + L - 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
30. $1,342 D + L + 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
31. $1,342 D + L + 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$
32. $1,342 D + L - 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
33. $1,342 D + L - 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$
34. $0,758 D + 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
35. $0,758 D + 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
36. $0,758 D - 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
37. $0,758 D - 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
38. $0,758 D + 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
39. $0,758 D + 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$
40. $0,758 D - 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
41. $0,758 D - 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$

Untuk kondisi tanah sedang menggunakan nilai $S_{DS} = 0,684876$ dan redundansi $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 SNI 1726). Maka kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut:

2. $1,4 D + 1,4 D$
3. $1,2 D + 1,6L$
4. $1,2 D + L$
5. $1,2 D + 0,5W_x$
6. $1,2 D + 0,5W_y$
7. $1,2 D + L + W_x$
8. $1,2 D + L + W_y$
9. $0,9 D + W_x$
10. $1,337 D + L + 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$

11. $1,337 D + L + 1,3 \text{ Eqx} - 0,39 \text{ Eqy}$
12. $1,337 D + L - 1,3 \text{ Eqx} + 0,39 \text{ Eqy}$
13. $1,337 D + L - 1,3 \text{ Eqx} - 0,39 \text{ Eqy}$
14. $1,337 D + L + 0,39 \text{ Eqx} + 1,3 \text{ Eqy}$
15. $1,337 D + L + 0,39 \text{ Eqx} - 1,3 \text{ Eqy}$
16. $1,337 D + L - 0,39 \text{ Eqx} + 1,3 \text{ Eqy}$
17. $1,337 D + L - 0,39 \text{ Eqx} - 1,3 \text{ Eqy}$
18. $0,763 D + 1,3 \text{ Eqx} + 0,39 \text{ Eqy}$
19. $0,763 D + 1,3 \text{ Eqx} - 0,39 \text{ Eqy}$
20. $0,763 D - 1,3 \text{ Eqx} + 0,39 \text{ Eqy}$
21. $0,763 D - 1,3 \text{ Eqx} - 0,39 \text{ Eqy}$
22. $0,763 D + 0,39 \text{ Eqx} + 1,3 \text{ Eqy}$
23. $0,763 D + 0,39 \text{ Eqx} - 1,3 \text{ Eqy}$
24. $0,763 D - 0,39 \text{ Eqx} + 1,3 \text{ Eqy}$
25. $0,763 D - 0,39 \text{ Eqx} - 1,3 \text{ Eqy}$
26. $1,337 D + L + 5,5 \text{ Eqx} + 1,65 \text{ Eqy}$
27. $1,337 D + L + 5,5 \text{ Eqx} - 1,65 \text{ Eqy}$
28. $1,337 D + L - 5,5 \text{ Eqx} + 1,65 \text{ Eqy}$
29. $1,337 D + L - 5,5 \text{ Eqx} - 1,65 \text{ Eqy}$
30. $1,337 D + L + 1,65 \text{ Eqx} + 5,5 \text{ Eqy}$
31. $1,337 D + L + 1,65 \text{ Eqx} - 5,5 \text{ Eqy}$
32. $1,337 D + L - 1,65 \text{ Eqx} + 5,5 \text{ Eqy}$
33. $1,337 D + L - 1,65 \text{ Eqx} - 5,5 \text{ Eqy}$
34. $0,763 D + 5,5 \text{ Eqx} + 1,65 \text{ Eqy}$
35. $0,763 D + 5,5 \text{ Eqx} - 1,65 \text{ Eqy}$
36. $0,763 D - 5,5 \text{ Eqx} + 1,65 \text{ Eqy}$
37. $0,763 D - 5,5 \text{ Eqx} - 1,65 \text{ Eqy}$
38. $0,763 D + 1,65 \text{ Eqx} + 5,5 \text{ Eqy}$
39. $0,763 D + 1,65 \text{ Eqx} - 5,5 \text{ Eqy}$
40. $0,763 D - 1,65 \text{ Eqx} + 5,5 \text{ Eqy}$
41. $0,763 D - 1,65 \text{ Eqx} - 5,5 \text{ Eqy}$

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. $1,337 D + L + 1,3 E_{qx} + 0,39 E_{qy}$
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. $0,763 D - 0,39 E_{qx} - 1,3 E_{qy}$
26. $1,337 D + L + 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
27. $1,337 D + L + 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
28. $1,337 D + L - 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
29. $1,337 D + L - 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$

30. $1,337 D + L + 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
31. $1,337 D + L + 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$
32. $1,337 D + L - 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
33. $1,337 D + L - 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$
34. $0,763 D + 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
35. $0,763 D + 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
36. $0,763 D - 5,5 E_{qx} + 1,65 E_{qy}$
37. $0,763 D - 5,5 E_{qx} - 1,65 E_{qy}$
38. $0,763 D + 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
39. $0,763 D + 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$
40. $0,763 D - 1,65 E_{qx} + 5,5 E_{qy}$
41. $0,763 D - 1,65 E_{qx} - 5,5 E_{qy}$

3) 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 1-4)

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 5)

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

4) Beban Dinding (pada Balok Tepi/ Terluar Struktur)

Berikut ini merupakan perhitungan beban dinding yang dibedakan menjadi beban dinding untuk lantai 1, lantai 2 – 4 dan lantai 5 (atap).

a. Dinding Lt. 1

$$\begin{aligned} \text{Dinding batako tanpa lubang (15cm)} &= 300 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban garis} &= 300 * \frac{1}{2} * (4+3,5) \\ &= 1125 \text{ kg/m} \\ &= 11,033 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Dinding Lt. 2-3

$$\begin{aligned} \text{Dinding batako tanpa lubang (15cm)} &= 300 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban garis} &= 300 * \frac{1}{2} * (3,5+3,5) \\ &= 1050 \text{ kg/m} \\ &= 10,297 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Dinding Lt. 5

$$\begin{aligned} \text{Dinding batako tanpa lubang (15cm)} &= 300 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban garis} &= 300 * \frac{1}{2} * (3,5) \\ &= 525 \text{ kg/m} \\ &= 5,148 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

d. Dinding Penthouse (h = 2,5m)

$$\begin{aligned} \text{Pas. Bata merah } \frac{1}{2} \text{ batu (15cm)} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban garis} &= 250 * (2,5) \\ &= 625 \text{ kg/m} \\ &= 6.13 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

5) Beban 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.

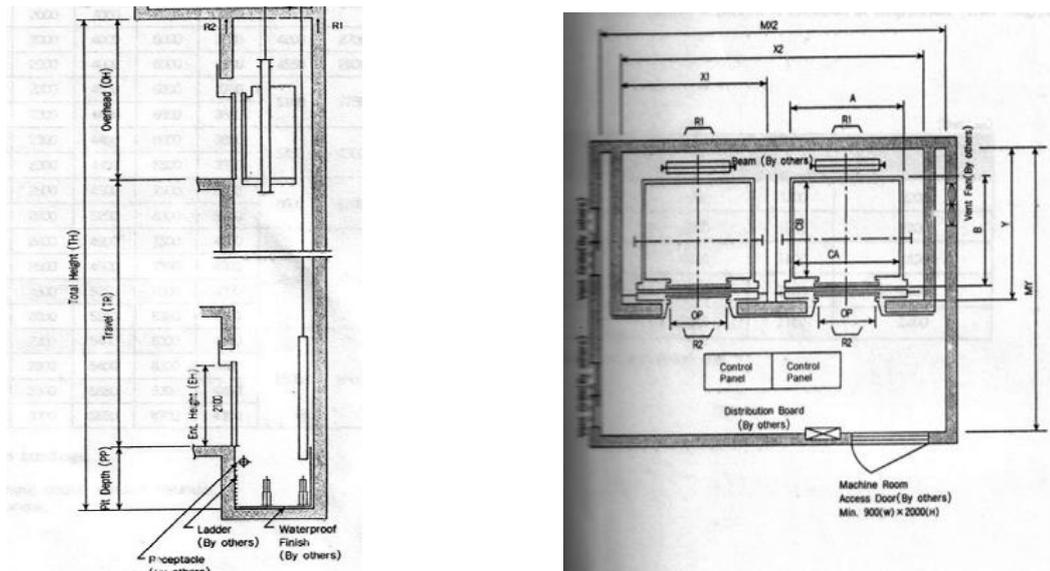
Tabel L1.2: Data spesifikasi lift dari Hyundai Elevator Co., Ltd.

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 L1.3: 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.

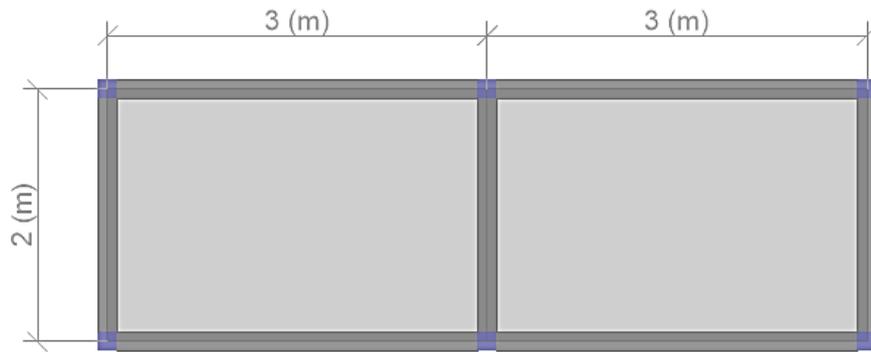
Maka, beban yang bekerja pada balok penumpu adalah:

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

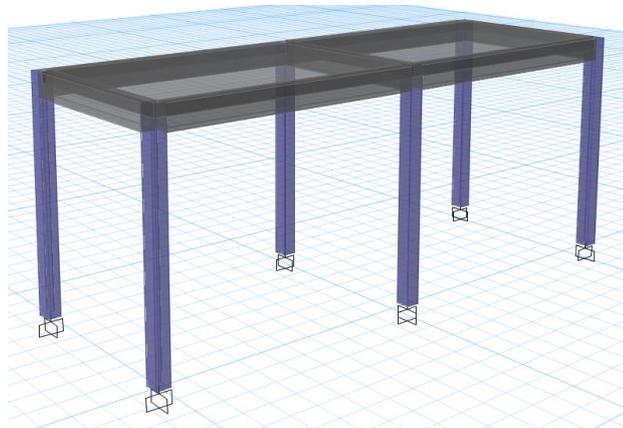
Beban P diletakkan di tengah bentang balok penumpu yang merupakan tempat yang paling mempengaruhi struktur untuk mendapatkan beban maksimal.

6) Beban Penthouse (pada ruang mesin penggerak lift di lantai atap)

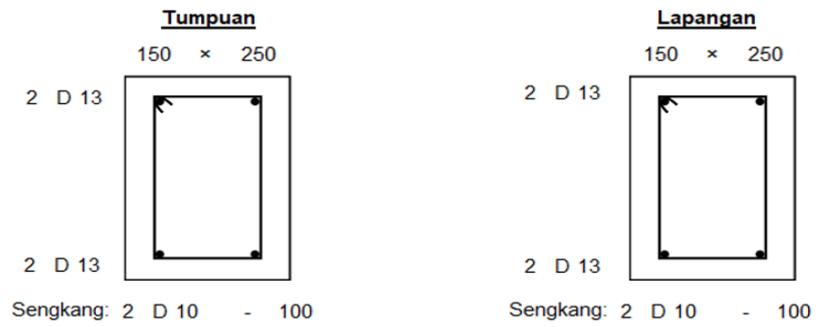
Beban penthouse dihitung terpisah dari struktur utama, kemudian berat struktur hasil analisa tersebut di input ke struktur utama sebagai beban terpusat. Dimensi dan berat struktur penthouse dapat dilihat pada gambar L1.2-L1.6 berikut.



Gambar L1.2: Denah penthouse.



Gambar L1.3: Model 3D struktur penthouse.

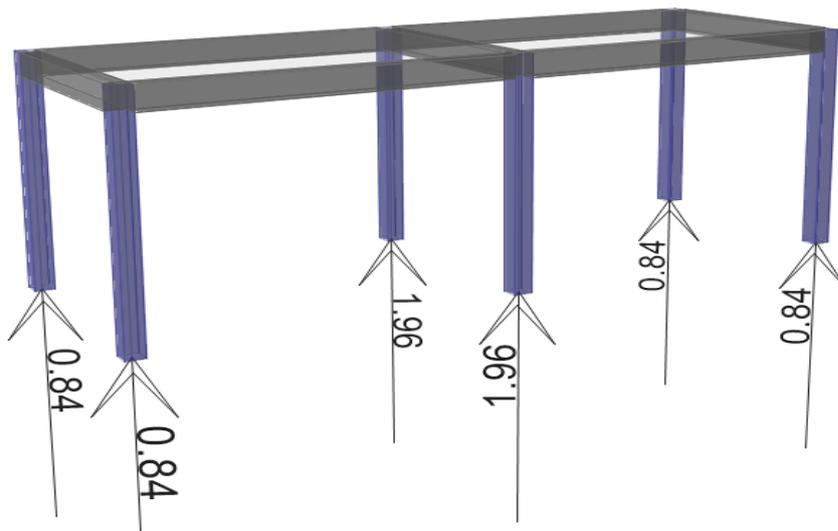


Gambar L1.4: Dimensi balok penthouse



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 berikut ini:



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 berikut.

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 1727:2010 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 per ft² (m²) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

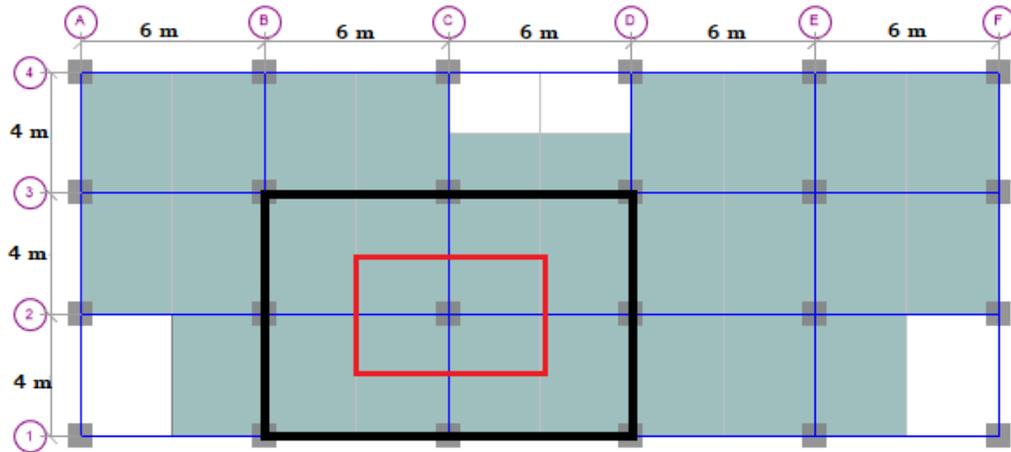
K_{LL} = faktor elemen beban hidup (Tabel 4.7-1, SNI 1727:2020)

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 tidka boleh kurang dari 0,4 L_o untuk struktur yang mendukung dua lantai atau lebih.

Faktor KLL adalah rasio luas pengaruh (AI) dari komponen struktur terhadap luas tributarinya (AT), yaitu, $KLL = AI / AT$, dan digunakan untuk lebih mendefinisikan area pengaruh komponen struktur sebagai fungsi dari luas

tributarinya. Gambar L2.1 mengilustrasikan area pengaruh tipikal dan area tributari untuk suatu struktur dengan jarak bentang yang teratur.



Gambar L2.1: Luas pengaruh dan tributari.

■ Luas pengaruh (A_I) = 96 m²

■ Luas tributari (A_T) = 24 m²

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

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 K_{LL} \cdot A_T &= 4 \times 24 \\
 &= 96 > 37,16 \text{ m}^2 \quad \gg \text{Boleh direduksi!}
 \end{aligned}$$

Maka besar beban hidup merata tereduksi:

$$\begin{aligned}
 L &= L_0 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \\
 &= 2,87 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{96}} \right) \\
 &= 2,06 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

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

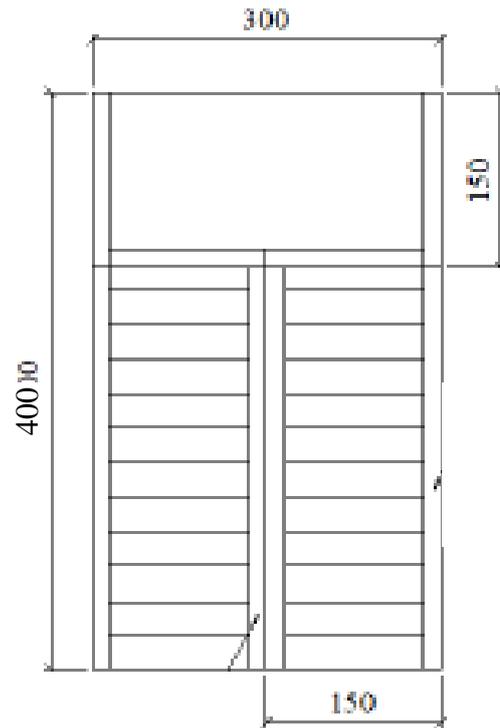
Berikut ini merupakan perhitungan beban tangga yang dibedakan menjadi beban tangga dari *base* ke lantai 1 dan beban tangga dari lantai 1 ke lantai 5 (atap).

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

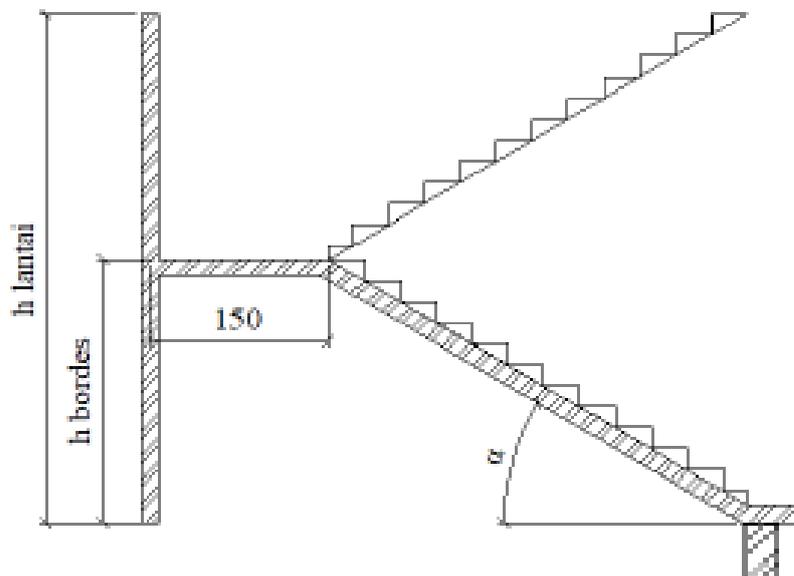
Data Perencanaan	Panjang (m)
Tinggi antar lantai ke bordes	2 m
Lebar tangga	1,5 m
Lebar bordes	1,5 m
Panjang bordes	3 m
Tebal pelat	0,15 m
Kemiringan (α)	38,66 ⁰
<i>Optrade</i>	0,22 m
<i>Antrade</i>	0.28 m

Tabel L2.3: Data perencanaan tangga dari lantai 1 ke lantai 5.

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 ⁰
<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 5 nilainya sama, yaitu diambil 479 kg/m² berdasarkan Tabel 4.3.1 SNI 1727:2020,

dimana beban tersebut akan diubah menjadi beban per satuan panjang. Perhitungan beban hidup tangga sebagai berikut:

Data:

- Beban hidup tangga

$L = 479 \text{ kg/m}^2$ (Tabel 4.3.1 SNI 1727:2020)

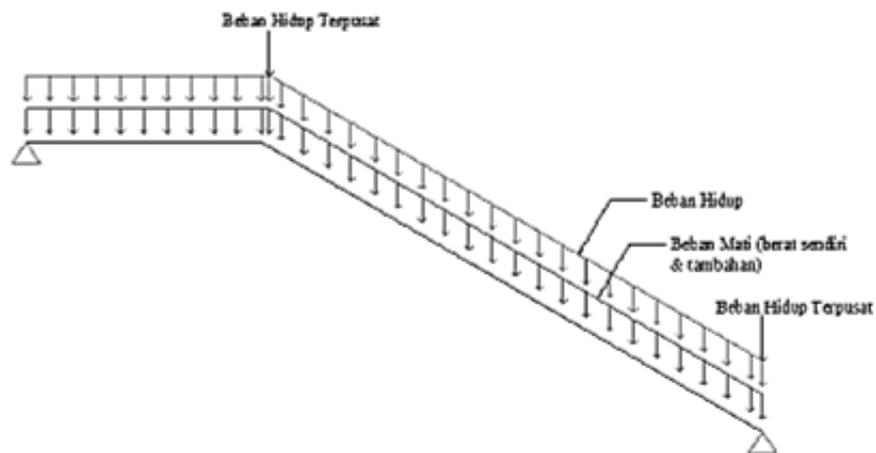
Beban ini diubah menjadi beban per satuan panjang.

- 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 x berikut.



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, $z_g = 38\text{m}$ (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, $z = 35,5\text{m}$
 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

P_{2x} pergi ($h_2 = 7,5$ m)	= -0,074 kN
P_{3x} pergi ($h_3 = 11$ m)	= -0,108 kN
P_{4x} pergi ($h_4 = 14,5$ m)	= -0,142 kN
P_{5x} pergi ($h_5 = 18$ m)	= -0,176 kN

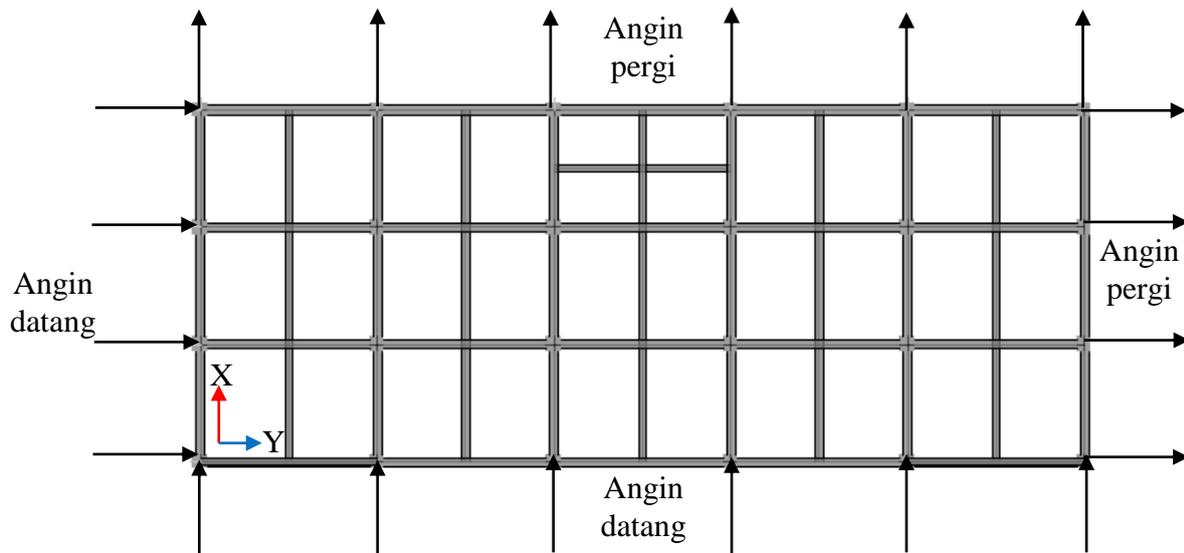
Besaran terpaan angin pada arah Y

P_{1y} datang	= $P \cdot h \cdot P$ datang
P (Panjang)	= 6 m

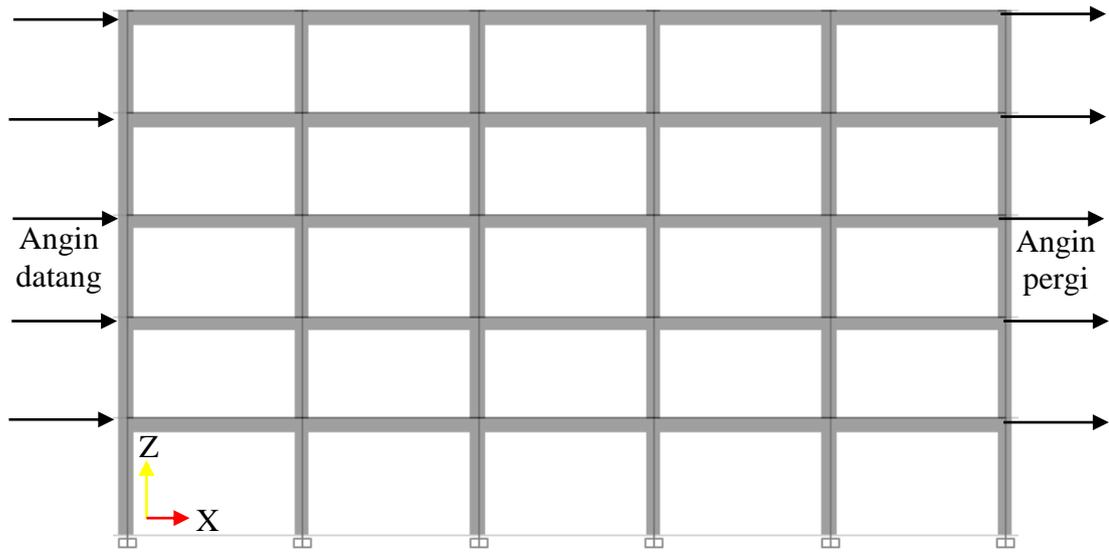
P_{1y} datang ($h_1 = 4$ m)	= 0,526 kN
P_{2y} datang ($h_2 = 7,5$ m)	= 0,986 kN
P_{3y} datang ($h_3 = 11$ m)	= 1,446 kN
P_{4y} datang ($h_4 = 14,5$ m)	= 1,906 kN
P_{5y} datang ($h_5 = 18$ m)	= 2,366 kN

P_{1y} pergi	= $P \cdot h \cdot P$ pergi
P (Panjang)	= 6 m

P_{1y} pergi ($h_1 = 4$ m)	= -0,059 kN
P_{2y} pergi ($h_2 = 7,5$ m)	= -0,110 kN
P_{3y} pergi ($h_3 = 11$ m)	= -0,162 kN
P_{4y} pergi ($h_4 = 14,5$ m)	= -0,213 kN
P_{5y} pergi ($h_5 = 18$ m)	= -0,265 Kn



Gambar L3.1: Beban angin tampak atas.



Gambar L3.2: Beban angin tampak samping

Lampiran 4

Perhitungan Beban Gempa Kelas Situs Tanah Lunak (SE)

1) Umum

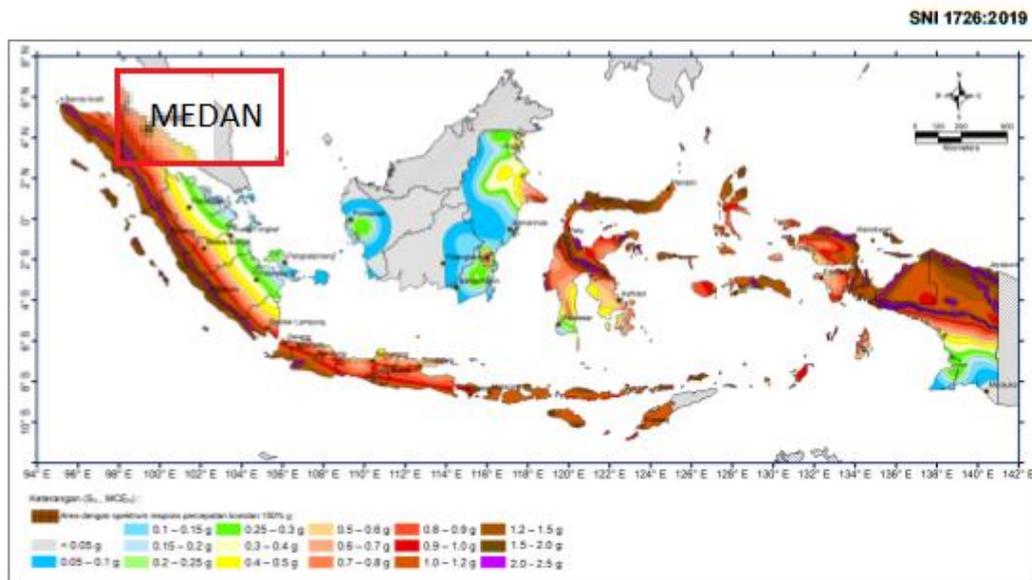
Fungsi bangunan : Rumah Sakit
Jumlah tingkat : 5 lantai
Lokasi : Medan
Kategori resiko : IV (Tabel 3 SNI 1726-2019, hal. 24)
Kelas situs tanah : SE (Tanah Lunak)

2) Faktor Keutamaan Gempa

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

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

3) Parameter Percepatan Gempa

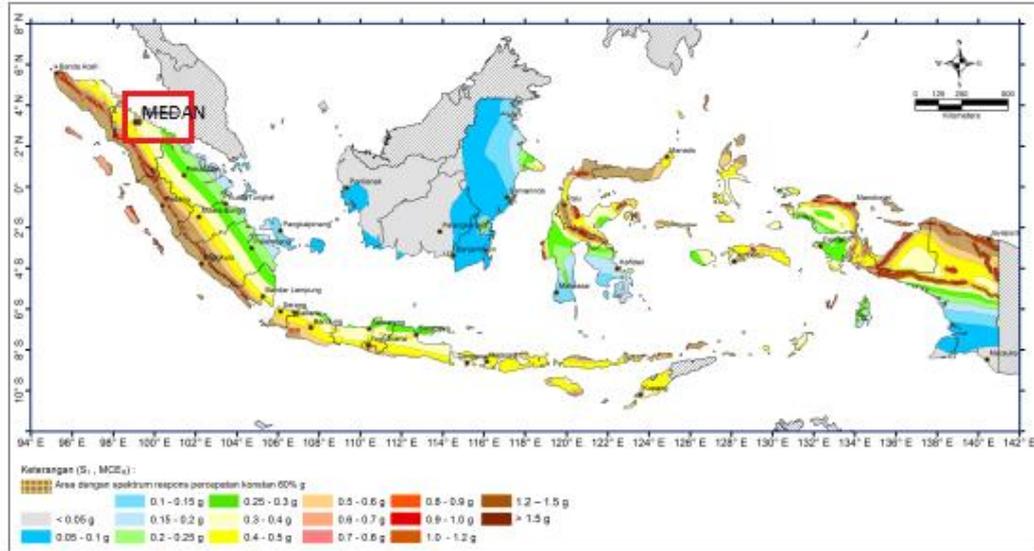


Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_s gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_e) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

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

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

SNI 1726:2019



Gambar 16 – Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_s) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5%)

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) tanah lunak (Tabel 6, SNI 1726-2019, hal. 34)
Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
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)					

Berdasarkan 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) = 1,17865

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

Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,8$
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)					

Berdasarkan 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) = 2,26283

5) Parameter Respon Spektral

Parameter respon spectral percepatan periode pendek

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,17865 \cdot 0,901686 = 1,062773 \text{ g}$$

Parameter respon spectral percepatan periode 1 detik

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I = 2,26283 \cdot 0,468585 = 1,060328 \text{ g}$$

6) Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spectral desain periode pendek

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0,708515 \text{ g}$$

Parameter percepatan spectral desain periode 1 detik

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} = 0,706885 \text{ g}$$

7) Kategori Desain Seismik

Tabel L4.4: Kategori desain seismic 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 seismic 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 seismic : Rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK)

Koefisien modifikasi respon, R : 8

Factor kuat lebih sistem, Ω_o : 3

Factor pembesaran defleksi, Cd : 5/2

Faktor redundansi, ρ : 1,3 (Pasal 7.3.4.2, SNI 1726-2019, hal. 64)

9) Spektrum Respon Desain

Tata cara perhitungan spectrum respon desain:

(Pasal 6.4, SNI 1726-2019, hal. 35)

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

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

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

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

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

Pada rentang ini, nilai S_a adalah:

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

a. 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 getar alami fundamental

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,706885}{0,708516} = 0,19954 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,706885}{0,708516} = 0,99769 \text{ detik}$$

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

Maka nilai S_a untuk masing-masing rentang yaitu:

Untuk periode $T < T_0$

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

Untuk periode $T_0 < T < T_s$

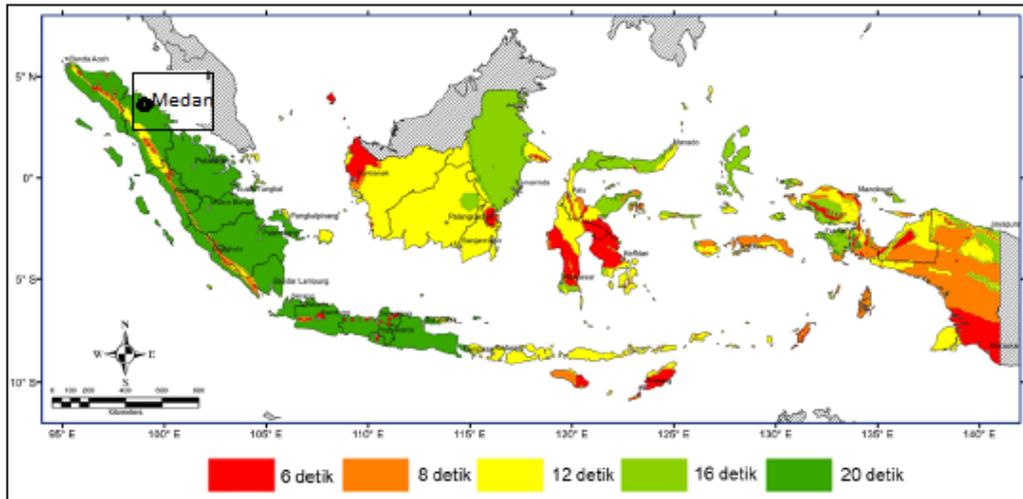
$$S_a = S_{DS} = 0,708516$$

Untuk periode $T_s < T < T_L$

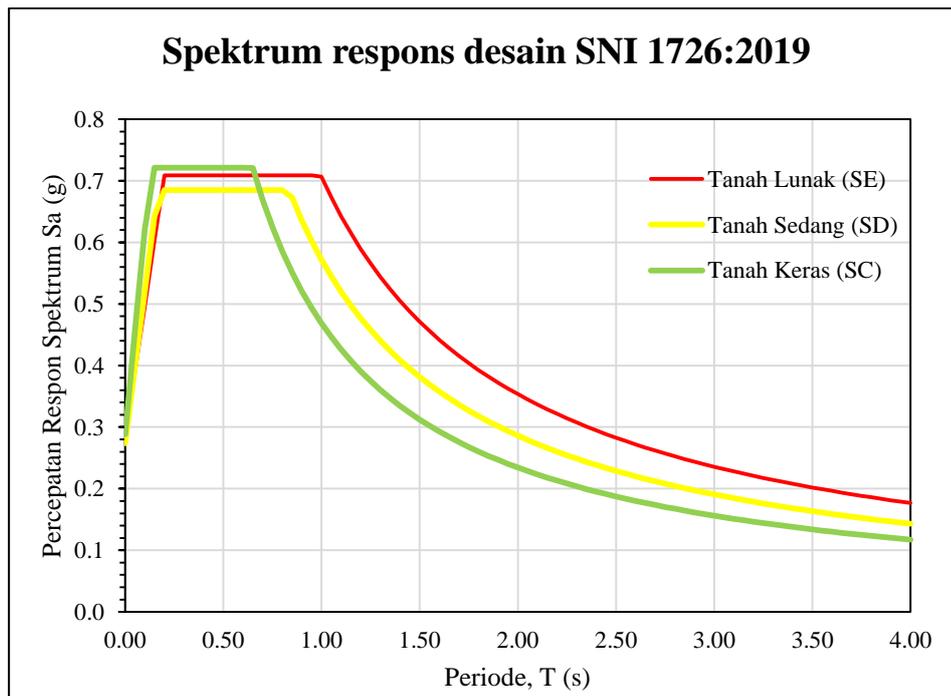
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Untuk periode $T > T_L$

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



Gambar L4.3: Peta transisi periode panjang (T_L) wilayah Medan.



Gambar L4.4: Spektrum respon desain wilayah Medan.

10) Pemilihan Prosedur Analisis

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 lebih 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 $T < 3,5 T_r$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal 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

11) Penentuan Periode

Ketinggian struktur, $h = 18$ m

Berdasarkan permodelan software:

T mode 1 (arah x) = 0,633 s

T mode 2 (arah y) = 0,628 s

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

Penentuan nilai T_a berdasarkan 2 pendekatan, yaitu:

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

$$T_a = C_t x h_n^x$$

Nilai C_t dan x diambil berdasarkan tabel berikut:

Tabel L4.7: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (Tabel 18, SNI 1726-2019, hal. 72).

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

Maka,

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

$$T_a = 0,0466 \times 18^{0,9} = 0,628 \text{ detik}$$

Ket:

h_n = ketinggian struktur (m)

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

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

$$T_a = 0,1 \times 5 = 0,5 \text{ detik}$$

Ket:

N = jumlah tingkat

Nilai T_a yang diambil adalah pada pendekatan 1 = 0,628 detik

Nilai C_u diperoleh berdasarkan tabel berikut:

Tabel L4.8: Koefisien batas atas untuk periode yang dihitung (Tabel 17, SNI 1726-2019, 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

$$T = C_u \times T_a$$

$$T = 1,4 \times 0,628 = 0,880 \text{ detik}$$

Periode arah X

$$T_{software} = 0,637 \text{ detik (dipakai)}$$

$$T_{a \text{ minimum}} = 0,628 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = 0,880 \text{ detik}$$

Periode arah Y

$$T_{software} = 0,614 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ minimum}} = 0,628 \text{ detik (dipakai)}$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = 0,880 \text{ detik}$$

Penjabaran perhitungan diatas merupakan cara menghitung data-data gempa pada tanah lunak yang di perlukan untuk perhitungan selanjutnya. Untuk perhitungan beban gempa pada kondisi tanah sedang (SD) dan tanah keras (SC) dilakukan dengan cara yang sama. Hasil perhitungan beban gempa dari ketiga jenis tanah tersebut disajikan dalam bentuk tabel L.4.11 berikut.

Tabel L4.9: 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 _o	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	
TL _{max}	20 s		20 s		20 s	
T	Tmode 1 (X)	Tmode 2 (Y)	Tmode 1 (X)	Tmode 2 (Y)	Tmode 1 (X)	Tmode 2 (Y)
Tsoft	0.637	0.614	0.637	0.614	0.637	0.614
Ta min	0.628	0.628	0.628	0.628	0.628	0.628
Ta max	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880	0.880
T, syarat Tmin < T < Tmax						
Tpakai	0.637	0.628	0.637	0.628	0.637	0.628

Lampiran 5

Prosedur Perhitungan Gaya Lateral Statik Ekivalen

Data (Aplikasi RSA 2019):

$$S_{DS} = 0,708515 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0,706885 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,468585$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1,5$$

$$T_x = 0,633 \text{ s}$$

$$T_y = 0,628 \text{ s}$$

Data yang didapatkan pada kondisi tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras bernilai sama maka, maka berikut ini merupakan perhitungan gaya geser statik ekivalen untuk ketiga kondisi tanah yang diatur dalam SNI 1726-2019, Pasal 7.8.

Rumus yang digunakan adalah:

$$V = C_s \times W$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar hasil analisa static ekivalen

C_s = Koefisien respon seismic

W = Berat seismic efektif struktur

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

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,709}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,133$$

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

$$C_s \text{ max } x = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,709}{0,633 \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,208$$

$$C_s \max y = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,709}{0,628 \left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,211$$

$C_{s \min}$

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot 1,5 = 0,044 \times 0,708515 \times 1,0 = 0,047$$

Maka

$$C_{s \min} \leq C_s \leq C_{s \max}$$

Tabel L5.1: Nilai koefisien seismik (C_s) Model 1 (M1-SE).

Arah	C_s hitungan	C_s minimum	C_s maksimum	C_s digunakan
X	0,133	0,047	0,208	0,133
Y	0,133	0,047	0,211	0,133

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

Tabel L5.2: Berat struktur model 1 situs tanah lunak (M1-SE).

Story	Diaphragm	Mass X kg	Mass Y kg
LT.5	D5	613697.97	492822.00
LT.4	D4	598432.29	570120.08
LT.3	D3	598432.29	573983.85
LT.2	D2	594530.51	573983.85
LT.1	D1	484110.05	589211.53
Total		2889203.11	3764.058

$$\begin{aligned} V_x &= 0,133 \times W_t \\ &= 0,133 \times 2889203.11 \\ &= 372416.13 \text{ kg} \\ &= 3764.058 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_y &= 0,133 \times W_t \\ &= 0,133 \times 2889203.11 \\ &= 372416.13 \text{ kg} \\ &= 37975273.21 \text{ kN} \end{aligned}$$

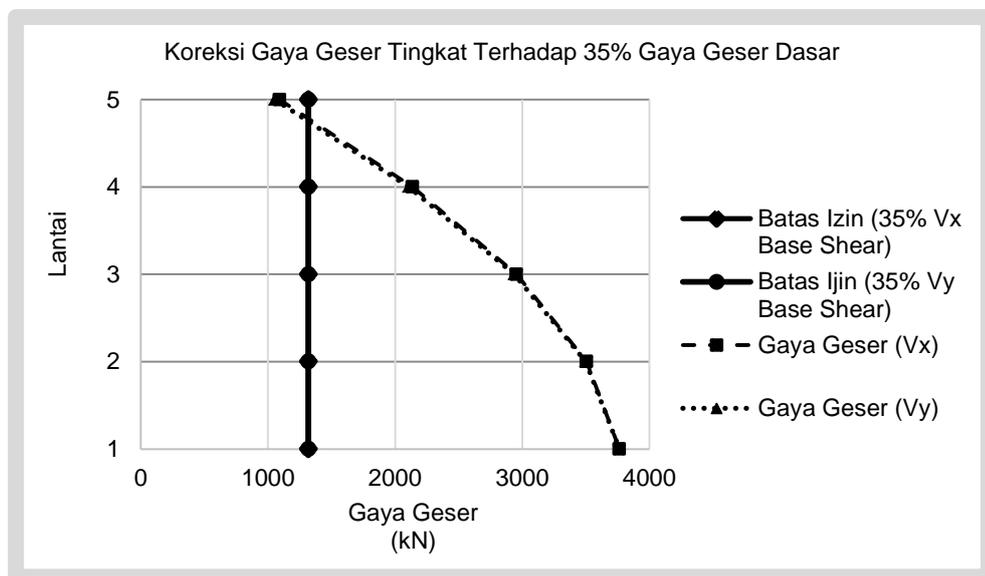
Lampiran 6

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*) tertera pada Tabel L6.1 sebagai berikut.

Tabel L6.1: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear*

Lantai	V _x (kN)	V _y (kN)	35% x V _x Base Shear	35% x V _y Base Shear	Kontrol	Kontrol
5	1090.87	1053.53	1318.01	1318.20	not OK	not OK
4	2136.88	2106.55	1318.01	1318.20	OK	OK
3	2953.50	2936.67	1318.01	1318.20	OK	OK
2	3505.18	3498.30	1318.01	1318.20	OK	OK
1	3764.31	3764.19	1318.01	1318.20	OK	OK



Gambar L6.2: Grafik gaya geser/ *base shear*

Dari Tabel L6.2 atau Gambar 6.2 diketahui gaya geser pada lantai 5 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35% gaya geser dasar, maka nilai redudansi (ρ) pada struktur menggunakan 1,3.

Lampiran 7

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 L7.1: Tabel perhitungan simpangan antar tingkat pada tanah lunak.

Lt.	hs	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total $\delta = (\delta_e \cdot C_d) / I_e$		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta_{ijin} = 0.010 \cdot hs / \rho$	Cek	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	(mm)	X (mm)	Y (mm)
5	3500	20.75	18.73	76.09	68.68	10.51	8.53	27	OK	OK
4	3500	17.89	16.40	65.58	60.14	14.89	13.05	27	OK	OK
3	3500	13.82	12.84	50.69	47.09	18.54	16.84	27	OK	OK
2	3500	8.77	8.25	32.15	30.26	19.20	17.79	27	OK	OK
1	4000	3.53	3.40	12.96	12.46	12.96	12.46	31	OK	OK

Tabel L7.2: Tabel perhitungan simpangan antar tingkat pada tanah sedang.

Lt.	hs	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total $\delta = (\delta_e \cdot C_d) / I_e$		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta_{ijin} = 0.010 \cdot h_s / \rho$	Cek	
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)		(mm)	X (mm)
5	3500	20.04	18.08	73.48	66.29	10.15	8.24	27	OK	OK
4	3500	17.27	15.83	63.34	58.05	14.38	12.59	27	OK	OK
3	3500	13.35	12.40	48.95	45.46	17.90	16.25	27	OK	OK
2	3500	8.47	7.97	31.06	29.21	18.54	17.17	27	OK	OK
1	4000	3.41	3.28	12.52	12.04	12.52	12.04	31	OK	OK

Tabel L7.3: Tabel perhitungan simpangan antar tingkat pada tanah keras.

Lt.	hs	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total $\delta = (\delta_e \cdot C_d) / I_e$		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta_{ijin} = 0.010 \cdot h_s / \rho$	Cek	
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)		(mm)	X (mm)
5	3500	21.11	19.04	77.40	69.82	10.69	8.68	27	OK	OK
4	3500	18.19	16.68	66.71	61.15	15.15	13.26	27	OK	OK
3	3500	14.06	13.06	51.56	47.88	18.85	17.12	27	OK	OK
2	3500	8.92	8.39	32.71	30.77	19.53	18.09	27	OK	OK
1	4000	3.60	3.46	13.19	12.68	13.19	12.68	31	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 8

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 L8.1: Tabel perhitungan koefisien stabilitas struktur pada tanah lunak.

Lt.	Inelastic Drift		Story Forces			h	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)	(mm)					
5	10.51	8.53	4484.14	1090.87	1053.53	3500	0.003	0.003	0.0909	0.1	OK
4	14.89	13.05	11308.86	2136.88	2106.55	3500	0.006	0.005	0.0909	0.1	OK
3	18.54	16.84	18438.71	2953.50	2936.67	3500	0.009	0.008	0.0909	0.1	OK
2	19.20	17.79	25568.56	3505.18	3498.30	3500	0.011	0.010	0.0909	0.1	OK
1	12.96	12.46	32760.23	3764.31	3764.19	4000	0.008	0.007	0.0909	0.1	OK

Tabel L8.2: Tabel perhitungan koefisien stabilitas struktur pada tanah sedang.

Lt.	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Story Forces</i>			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)						
5	10.15	8.24	4484.14	1058.00	1023.90	3500	0.003	0.003	0.0909	0.1	OK
4	14.38	12.59	11308.86	2065.95	2037.77	3500	0.006	0.005	0.0909	0.1	OK
3	17.90	16.25	18438.71	2853.09	2835.46	3500	0.009	0.008	0.0909	0.1	OK
2	18.54	17.17	25568.56	3385.87	3377.86	3500	0.011	0.010	0.0909	0.1	OK
1	12.52	12.04	32760.23	3638.14	3637.65	4000	0.008	0.007	0.0909	0.1	OK

Tabel L8.3: Tabel perhitungan koefisien stabilitas struktur pada tanah keras.

Lt.	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Story Forces</i>			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)						
5	10.69	8.68	4484.14	1116.96	1080.76	3500	0.003	0.003	0.0909	0.1	OK
4	15.15	13.26	11308.86	2176.16	2146.41	3500	0.006	0.005	0.0909	0.1	OK
3	18.85	17.12	18438.71	3006.25	2987.40	3500	0.009	0.008	0.0909	0.1	OK
2	19.53	18.09	25568.56	3566.32	3557.87	3500	0.011	0.010	0.0909	0.1	OK
1	13.19	12.68	32760.23	3833.22	3832.36	4000	0.008	0.007	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.



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : WINDA TARI UTAMI
NPM : 1707210084
JUDUL : "DESAIN STRUKTUR UTAMA DAN ANALISA SISTEM STRUKTUR RUMAH SAKIT TERHADAP KELAS SITUS TANAH LUNAK, TANAH SEDANG DAN TANAH KERAS DI KOTA MEDAN "

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
①	14/10-2021	Ara awal diseminarkan proposal	
②	5/10-2021	* Perbaiki Bab II * Lanjutkan	
③	13/10-2021	* Kondisi harus diperbaiki dgn Sempurna Aman * Lanjutkan	
④	27/10-2021	- Lanjutkan Analisis kepelembang 60 Contoh	

DOSEN PEMBIMBING,

(TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T.,M.T.)



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 : WINDA TARI UTAMI
NPM : 1707210084
JUDUL : "DESAIN STRUKTUR UTAMA DAN ANALISA SISTEM STRUKTUR RUMAH SAKIT TERHADAP KELAS SITUS TANAH LUNAK, TANAH SEDANG, DAN TANAH KERAS DI KOTA MEDAN"

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	16/11-2021	lanjutan ke tolangtai	
6	23/3-2021	x desain rumah 5- lantai dgn tipe yang berbeda	
7	30/3-2022	- Lanjut ke Bab IV - bersi parhaus dan void pada pelat Atas (bagian lift) taloy dipertien kembali - buat kesimpulan	
8	06/09/2022	- Munculkan perbedaan dari ketiga model - Lengkapi Laporan	

DOSEN PEMBIMBING,

(TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T., M.T.)



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : WINDA TARI UTAMI
NPM : 1707210084
JUDUL : "DESAIN STRUKTUR UTAMA DAN ANALISA SISTEM STRUKTUR RUMAH SAKIT TERHADAP KELAS SITUS TANAH LUNAK, TANAH SEDANG DAN TANAH KERAS DI KOTA MEDAN "

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
(9)	12/4-2012	Perbaiki penulisan tabel dan kesimpulan	
(10)	12/4-2012	Apa untuk Seminar Hasil	

DOSEN PEMBIMBING,

(TONDI AMIRSYAH PUTERA S.T.,M.T.)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Winda Tari Utami
Panggilan : Winda
Tempat, Tanggal Lahir : Gondang Rejo, 03 September 1998
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Huta III Gondang Rejo
Agama : Islam

Nama Orang Tua

Ayah : Sudiono Ahmad
Ibu : Mesiyah
No. HP : +62823-6954-6423
E-mail : windaahmad10@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1707210084
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	SDN 091660 Laras	2010
2	SMP	SMPN 1 Dolok Batu Nanggar	2013
3	SMA	SMKN 1 Percut Sei Tuan	2016
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2017 sampai selesai		