

TUGAS AKHIR

EVALUASI DAN PENINGKATAN KAPASITAS KETAHANAN GEMPA PADA STRUKTUR GEDUNG TINGGI MENGUNAKAN *BASEMENT* (Studi Penelitian)

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

DISUSUN OLEH:

IBNU FAJAR AUZA'I SINURAYA
2307210214P



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

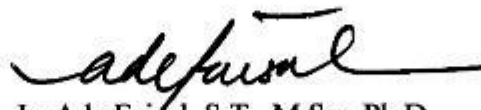
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya
NPM : 23072102104P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada
Struktur Gedung Tinggi Menggunakan *Basement*
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 13 September 2025

Dosen Pembimbing



Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya
NPM : 23072102104P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan *Basement*
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, 13 September 2025

Mengetahui dan Menyetujui:

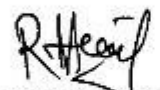
Dosen Pembimbing


Ir. Ade Faizal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing I


Ir. Tondi Amirsyah Putra P, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II


Rizki Efrida, S.T., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 17 Juli 2002

NPM : 2307210214P

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

“Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan *Basement*”.

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

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

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

Medan, 13 September 2025

Saya yang menyatakan,



Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya

ABSTRAK

EVALUASI DAN PENINGKATAN KAPASITAS KETAHANAN GEMPA PADA STRUKTUR GEDUNG TINGGI MENGUNAKAN *BASEMENT*

Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya

2307210214P

Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D

Indonesia yang berada pada Cincin Api Pasifik memiliki risiko gempa tinggi sehingga rumah sakit sebagai fasilitas vital perlu dirancang tahan gempa. Penelitian ini membandingkan kinerja seismik dan efisiensi material struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan dua sistem, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda dengan *basement*. Analisis menggunakan ETABS 22 mencakup perioda dominan, simpangan antar lantai, kontribusi elemen lateral, ketidakberaturan torsi, ketidakberaturan vertikal, serta kebutuhan beton dan tulangan. Hasil menunjukkan Sistem Ganda lebih unggul dibanding SRPMK, dengan perioda dominan lebih pendek ($X = 1,014$ detik; $Y = 1,002$ detik), simpangan antar lantai lebih kecil (maks. 15,31 mm dibanding 43,43 mm), serta kontribusi dinding geser signifikan (25,37% arah X; 26,88% arah Y). Ketidakberaturan horizontal berupa torsi lebih sering terjadi pada SRPMK, sedangkan Sistem Ganda lebih stabil dengan jumlah lantai terdampak lebih sedikit. Dari sisi ketidakberaturan vertikal, kedua sistem memenuhi persyaratan sehingga tidak terjadi *soft story* maupun *weak story*. Dari segi material, meskipun volume beton Sistem Ganda meningkat 16,36%, kebutuhan tulangan lebih hemat 1,10% karena rasio tulangan terhadap beton lebih rendah ($0,28 \text{ ton/m}^3$ dibanding $0,32 \text{ ton/m}^3$). Dengan demikian, Sistem Ganda dengan *basement* lebih sesuai untuk rumah sakit karena memberikan kekakuan, deformasi terkendali, stabilitas, serta efisiensi material yang lebih baik.

Kata kunci: ketahanan gempa, SRPMK, sistem ganda, *basement*, ETABS, volume beton, volume tulangan

ABSTRACT

EVALUATION AND ENHANCEMENT OF EARTHQUAKE RESISTANCE CAPACITY IN HIGH-RISE BUILDING STRUCTURES USING BASEMENT

Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya

2307210214P

Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D

Indonesia, located on the Pacific Ring of Fire, has a high seismic risk, making hospitals as vital facilities require earthquake-resistant design. This study compares the seismic performance and material efficiency of Columbia Asia Hospital Medan using two systems: Special Moment Resisting Frame (SMRF) and Dual System with a basement. The analysis was carried out in ETABS 22, covering fundamental period, inter-story drift, contribution of lateral elements, torsional irregularity, vertical irregularity, as well as concrete and reinforcement demand. The results show that the Dual System outperforms the SMRF, with shorter fundamental periods ($X = 1.014$ s; $Y = 1.002$ s), smaller inter-story drifts (maximum 15.31 mm compared to 43.43 mm), and significant shear wall contributions (25.37% in X; 26.88% in Y). Horizontal torsional irregularities occurred more frequently in the SMRF, while the Dual System showed better stability with fewer affected stories. In terms of vertical irregularity, both systems satisfied the requirements, indicating no soft story or weak story occurred. Regarding materials, although the Dual System required 16.36% more concrete, reinforcement demand was reduced by 1.10% due to a lower steel-to-concrete ratio (0.28 ton/m^3 compared to 0.32 ton/m^3). Therefore, the Dual System with a basement is more suitable for hospitals, as it provides higher stiffness, controlled deformation, structural stability, better regularity, and material efficiency.

Keywords: earthquake resistance, SRPMK, dual system, basement, ETABS, concrete volume, reinforcement volume.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan *Basement*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

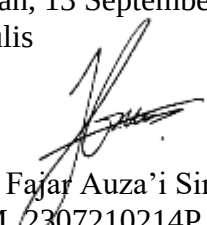
1. Bapak Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing dan Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, dan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir penulis.
2. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putra S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberi masukan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji II dan Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara telah memberi masukan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teristimewa sekali kepada kedua orang tua yang dengan tulus memberi doa, kasih sayang, nasehat, serta dukungan semangat penuh cinta yang tidak pernah ternilai harganya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

8. Rasa terima kasih yang mendalam Saya sampaikan kepada seluruh jajaran Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Politeknik Negeri Medan atas peran instrumental dalam memberikan motivasi, dorongan, dan bantuan yang berharga untuk Tugas Akhir ini. Secara khusus, Saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Erwin B. Gultom, A.Md.T. atas bimbingan dedikatifnya.
9. Kepada Ananda Sarah Yuliandra, terima kasih telah menjadi sandaran dan pemberi semangat di setiap langkah pengerjaan Tugas Akhir ini. Perhatianmu yang tulus sangat berarti dan membantuku melewati masa-masa sulit.
10. Rekan seperjuangan dari Politeknik Negeri Medan stambuk 2020 yang melanjutkan pendidikan di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Yang telah memberikan perhatian serta dukungan dalam menjalankan perkuliahan. Terimakasih Saya ucapkan sudah menjadi bagian dari sebuah kisah yang takkan terlupakan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan masukan yang membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Medan, 13 September 2025
Penulis



Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya
NPM. 2307210214P

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Filosofi Bangunan Tahan Gempa	9
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	11
2.4 Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	11
2.5 Sistem Pembebanan	12
2.5.1 Pembebanan Gravitasi	12
2.5.2 Kombinasi Pembebanan	15
2.6 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	17
2.6.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	17
2.6.2 Klasifikasi Situs	19
2.6.3 Koefisien Situs dan Parameter Respons Gempa Maksimum	20
2.6.4 Parameter Percepatan Spektral Desain	23

2.6.5 Spektrum Respons Desain	23
2.6.6 Kategori Desain Seismik	25
2.6.7 Menentukan Sistem Struktur	26
2.6.8 Menentukan Periode Fundamental Struktur	28
2.6.9 Gaya Geser Dasar Seismik	29
2.6.10 Penentuan Serta Batasan Simpangan Antar Tingkat	30
2.6.11 Pengaruh P-Delta	32
2.6.12 Ketidakberaturan Struktur	32
2.6.12.1 Ketidakberaturan Horizontal	33
2.6.12.2 Ketidakberaturan Vertikal	35
BAB 3 METODE PENELITIAN	37
3.1 Pendekatan Penelitian	37
3.2 Lokasi Penelitian	37
3.3 Data Penelitian	38
3.3.1 Luas Bangunan	38
3.3.2 Ketinggian Bangunan	39
3.3.3 <i>Pile Cap</i>	39
3.3.4 Kolom	39
3.3.5 Balok	41
3.3.6 Pelat	41
3.4 Prosedur Penelitian	42
3.4.1 Studi Literatur	42
3.4.2 Pengumpulan Data	42
3.4.3 Pemodelan 3D	43
3.4.4 Perhitungan Pembebanan	43
3.5 Analisa struktur	44
3.6 Kontrol Desain	44
3.7 Perbandingan Volume Beton dan Volume Tulangan	45
3.8 Kesimpulan dan Saran	45
3.9 Diagram Alir Penelitian	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Konfigurasi Bangunan	47

4.2 Pembebanan Struktur	47
4.2.1 Beban Mati	47
4.2.2 Beban Hidup	48
4.2.3 Beban Gempa	49
4.3 Analisis Gempa	49
4.3.1 Menentukan Kategori Resiko Bangunan Gedung	49
4.3.2 Menentukan Faktor Keutamaan Gedung	49
4.3.3 Menentukan Klasifikasi Situs	49
4.3.4 Menentukan Parameter Percepatan Gempa Terpetakan	50
4.3.5 Menentukan Koefisien Situs	50
4.3.6 Menghitung Parameter Respons Spektral Percepatan	51
4.3.7 Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain	51
4.3.8 Menghitung Spektrum Respons Desain	51
4.3.9 Kategori Desain Seismik	52
4.3.10 Menentukan Sistem Struktur Terhadap Tingkat Resiko Gempa	52
4.3.11 Menentukan Periode Fundamental Struktur	52
4.4 Pemodelan Struktur	53
4.4.1 Pemodelan Geometrik Struktur Rumah Sakit Columbia Asia	53
4.4.2 Mendefinisikan Material	55
4.4.2.1 Beton	55
4.4.2.2 Baja	56
4.4.3 Mendefinisikan Penampang Struktur	57
4.4.3.1 Mendefinisikan Penampang Kolom	57
4.4.3.2 Mendefinisikan Penampang Balok	59
4.4.3.3 Mendefinisikan Penampang Pelat	61
4.4.3.4 Mendefinisikan Dinding <i>Basement</i>	62
4.4.3.5 Mendefinisikan Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	63
4.4.4 Menetapkan Pembebanan Pada Struktur	63
4.4.5 Pemodelan Struktur Bangunan	64
4.4.5.1 Pemodelan Kolom dan Balok	64
4.4.5.2 Pemodelan Pelat Lantai dan Pelat Atap	65
4.4.5.3 Pemodelan Dinding <i>Basement</i>	66

4.4.5.4 Pemodelan Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	67
4.4.5.5 Membuat <i>Join Restraint</i>	68
4.4.6 Input Pembebanan	69
4.4.6.1 Beban Mati Tambahan (<i>Super Dead Load</i>)	70
4.4.6.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	71
4.4.6.3 Beban Tekanan Tanah Pada Dinding <i>Basement</i>	71
4.4.6.4 Beban Gempa Dari Respon Spektrum	74
4.4.7 Menentukan Analisis Modal	76
4.4.8 Menentukan Massa Struktur	76
4.4.9 <i>Meshing</i> Pelat Lantai	77
4.4.10 Membuat Struktur Sebagai Diafragma	78
4.4.11 Menambahkan Kombinasi Pembebanan	78
4.5 Melakukan Analisis Struktur	80
4.6 Kontrol Analisis Dinamik Gempa	81
4.6.1 Kontrol Perioda Struktur	81
4.6.2 Kontrol <i>Base Shear</i>	82
4.6.3 Kontrol Partisipasi Massa	89
4.6.4 Kontrol Simpangan	91
4.6.5 Kontrol P-Delta	93
4.6.6 Kontrol Ketidakberaturan Struktur	96
4.6.6.1 Ketidakberaturan Horizontal	96
4.6.6.2 Ketidakberaturan Vertikal	98
4.6.7 Kontrol Sistem Ganda	101
4.7 Perhitungan Volume	103
4.7.1 Perhitungan Volume Beton	103
4.7.2 Perhitungan Volume Tulangan	107
BAB 5 KESIMPULAN	109
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat sendiri bangunan dan komponen gedung	13
Tabel 2.2 Kombinasi pembebanan analisis struktur	16
Tabel 2.3 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung	18
Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa	19
Tabel 2.5 Klasifikasi situs	20
Tabel 2.6 Koefisien situs F_a	21
Tabel 2.7 Koefisien situs F_v	22
Tabel 2.8 Kategori desain seismik periode pendek	26
Tabel 2.9 Kategori desain seismik periode 1 detik	26
Tabel 2.10 Koefisien Faktor R, Cd, dan Ω_o	27
Tabel 2.11 Parameter periode pendekatan C_t dan x	28
Tabel 2.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	29
Tabel 2.13 Simpangan antar lantai izin (δ_a)	32
Tabel 2.14 Ketidakberaturan horizontal pada struktur	33
Tabel 3.1 Ketinggian antar lantai pada rumah sakit columbia asia	39
Tabel 3.2 Tipe dan dimensi kolom	40
Tabel 3.3 Tipe dan dimensi balok	41
Tabel 3.4 Tipe, dimensi, dan penulangan pelat	42
Tabel 4.1 Beban mati tambahan pada lantai <i>ground floor</i> , lantai 1-8	48
Tabel 4.2 Beban mati tambahan pada lantai atap	48
Tabel 4.3 Beban mati tambahan dinding pada balok	48
Tabel 4.4 Beban hidup pada lantai	49
Tabel 4.5 Data N-SPT	50
Tabel 4.6 Kombinasi gempa biasa atau nominal untuk struktur atas	78
Tabel 4.7 Kombinasi gempa kuat atau ultimit untuk struktur bawah	79
Tabel 4.8 Distribusi gaya gempa statik arah x dan y (SRPMK)	83
Tabel 4.9 Gaya geser statik (SRPMK)	84
Tabel 4.10 Gaya geser statik nominal (SRPMK)	84
Tabel 4.11 Geser dinamik (SRPMK)	85
Tabel 4.12 Nilai perbandingan gaya gempa (SRPMK)	85

Tabel 4.13 Distribusi gaya gempa statik arah x dan y sistem ganda	86
Tabel 4.14 Gaya geser statik sistem ganda	87
Tabel 4.15 Gaya geser statik nominal sistem ganda	87
Tabel 4.16 Gaya geser dinamik sistem ganda	88
Tabel 4.17 Nilai perbandingan gaya gempa sistem ganda	88
Tabel 4.18 Nilai partisipasi massa bangunan (SRPMK)	89
Tabel 4.19 Nilai partisipasi massa bangunan sistem ganda	90
Tabel 4.20 Simpangan arah x dan arah y (SRPMK)	92
Tabel 4.21 Simpangan arah x dan arah y sistem ganda	92
Tabel 4.22 P-Delta arah x (SRPMK)	94
Tabel 4.23 P-Delta arah y (SRPMK)	94
Tabel 4.24 P-Delta arah x sistem ganda	95
Tabel 4.25 P-Delta arah y sistem ganda	95
Tabel 4.26 Ketidakberaturan horizontal arah X (SRPMK)	96
Tabel 4.27 Ketidakberaturan horizontal arah Y (SRPMK)	96
Tabel 4.28 Ketidakberaturan horizontal arah X (sistem ganda)	97
Tabel 4.29 Ketidakberaturan horizontal arah Y (sistem ganda)	97
Tabel 4.30 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah X – SRPMK)	98
Tabel 4.31 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah Y – SRPMK)	98
Tabel 4.32 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah X – SRPMK)	99
Tabel 4.33 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah Y – SRPMK)	99
Tabel 4.34 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah X – sistem ganda)	100
Tabel 4.35 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah Y – sistem ganda)	100
Tabel 4.36 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah X – sistem ganda)	101
Tabel 4.37 Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah Y – sistem ganda)	101
Tabel 4.38 <i>Joint reaction</i> akibat gaya gempa dinamik pada dinding geser	102
Tabel 4.39 Perhitungan volume beton SRPMK	103
Tabel 4.40 Rekapitulasi perhitungan volume beton SRPMK	105
Tabel 4.41 Perhitungan volume beton sistem ganda	105
Tabel 4.42 Rekapitulasi perhitungan volume beton sistem ganda	106
Tabel 4.43 Rekapitulasi volume tulangan SRPMK	107
Tabel 4.44 Rekapitulasi volume tulangan sistem ganda	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Deformasi gedung akibat gempa	10
Gambar 2.2 Gabungan sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser	12
Gambar 2.3 Parameter S_I periode pendek	22
Gambar 2.4 Parameter S_s periode 1 detik	23
Gambar 2.5 Spektrum respons desain	24
Gambar 2.6 Peta transisi periode panjang	25
Gambar 2.7 Penentuan simpangan antar lantai	31
Gambar 2.8 Ketidakberaturan horizontal	34
Gambar 2.9 Ketidakberaturan vertikal	36
Gambar 3.1 Lokasi penelitian	37
Gambar 3.2 Tampak portal memanjang	38
Gambar 3.3 Tampak portal melintang	38
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian	46
Gambar 4.1 Grafik respon spektrum	52
Gambar 4.2 Pengaturan standar awal model bangunan	53
Gambar 4.3 <i>New model quick templates</i>	54
Gambar 4.4 Permodelan <i>grid</i> pada bangunan gedung	54
Gambar 4.5 Permodelan <i>story</i> pada setiap bangunan gedung	55
Gambar 4.6 Spesifikasi material beton bertulang	55
Gambar 4.7 <i>Material property data</i> beton	56
Gambar 4.8 Spesifikasi material baja tulangan BJTD-40	56
Gambar 4.9 <i>Material property design data</i> baja BJTD-40	56
Gambar 4.10 Spesifikasi material baja tulangan BJTP-24	57
Gambar 4.11 <i>Material property design data</i> baja BJTP-24	57
Gambar 4.12 Pendefinisian <i>frame section</i> K1	58
Gambar 4.13 Pendefinisian tulangan pada K1	58
Gambar 4.14 <i>Input set modifiers</i> K1	59
Gambar 4.15 Pendefinisian <i>frame section</i> B1	60
Gambar 4.16 Pendefinisian tulangan pada B1	60
Gambar 4.17 <i>Input set modifiers</i> B1	60

Gambar 4.18 Pendefinisian <i>slab property data</i> pelat kamar pasien	61
Gambar 4.19 <i>Input set modifiers</i> pelat kamar pasien	61
Gambar 4.20 Pendefinisian <i>wall property data</i> dinding <i>basement</i>	62
Gambar 4.21 <i>Input set modifiers</i> dinding <i>basement</i>	62
Gambar 4.22 <i>Wall property data</i> dinding geser	63
Gambar 4.23 Pembebanan bangunan pada <i>Load Patterns</i>	64
Gambar 4.24 Cara melakukan permodelan kolom dan balok	65
Gambar 4.25 Hasil dari pemodelan struktur kolom dan balok	65
Gambar 4.26 Cara melakukan permodelan pelat lantai dan pelat atap	66
Gambar 4.27 Hasil dari pemodelan pelat lantai dan pelat atap	66
Gambar 4.28 Hasil dari pemodelan dinding <i>basement</i>	67
Gambar 4.29 Tampak atas posisi dinding geser	67
Gambar 4.30 Hasil dari pemodelan dinding geser	68
Gambar 4.31 Cara menentukan <i>joint restraints</i>	68
Gambar 4.32 Pilihan dari <i>joint restraints</i>	69
Gambar 4.33 Cara memasukkan beban mati tambahan pada balok	69
Gambar 4.34 Cara memasukkan beban mati tambahan pada pelat lantai	70
Gambar 4.35 <i>Input</i> beban mati tambahan pada balok	70
Gambar 4.36 <i>Input</i> beban mati tambahan pada pelat lantai	71
Gambar 4.37 <i>Input</i> beban hidup pada pelat lantai.	71
Gambar 4.38 Ilustrasi gaya yang bekerja pada dinding <i>basement</i>	71
Gambar 4.40 Data tekanan tanah pada ETABS	72
Gambar 4.40 Data tekanan tanah dinamis pada ETABS	74
Gambar 4.41 Penginputan data respons spektrum	74
Gambar 4.42 <i>Load case data</i> gempa respon spektrum arah x	75
Gambar 4.43 <i>Load case data</i> gempa respon spektrum arah y	75
Gambar 4.44 <i>Load case data</i> untuk modal	76
Gambar 4.45 <i>Mass source data</i> struktur	77
Gambar 4.46 <i>Floor auto mesh option</i> pelat lantai	77
Gambar 4.47 Tampilan sesudah melakukan <i>meshing</i> pelat lantai	78
Gambar 4.48 Tampilan sesudah melakukan diafragma pada struktur	78
Gambar 4.49 <i>Set load cases to run</i>	80

Gambar 4.50 ETABS <i>analysis monitor</i>	80
Gambar 4.51 Grafik simpangan antar lantai SRPMK dan sistem ganda	93
Gambar 4.52 <i>Joint label</i> dinding geser pada <i>basement</i>	102

DAFTAR NOTASI

δ_x	= Defleksi pusat massa ditingkat x
Cd	= Faktor amplifikasi defleksi
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
Cs	= Koefisien respons seismik
Cu	= Koefisien batasan atas untuk periode yang dihitung
D	= Beban mati dengan analisis elastis
E	= Beban gempa
E_x	= Beban gempa arah x
E_y	= Beban gempa arah y
Fa	= Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
f_c'	= Mutu beton
Fu	= Sifat material baja yang menunjukkan tegangan putus
Fv	= Koefisien situs untuk periode seismik pada periode 1 detik
Fy	= Sifat material baja yang menunjukkan tegangan leleh
g	= Gravitasi
hn	= Ketinggian struktur
Ie	= Faktor keutamaan gempa
L	= Beban hidup
Lr	= Beban hidup atap tereduksi
Pu	= Beban total yang bekerja pada kolom
R	= Beban hujan
R	= Faktor modifikasi respon struktur
S	= Beban salju
S_1	= Parameter percepatan respons seismik MCE_R dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 0
Sa	= Respon percepatan desain
S_{D1}	= Parameter percepatan respon seismik pada perioda 1 detik
S_{DS}	= Parameter percepatan respon seismik pada perioda pendek

- S_{M1} = Parameter percepatan respon seismik MCE_R pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
 S_{MS} = Parameter percepatan respon seismik MCE_R pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
 $SRSS$ = *Square Root of the Sum of Squares*
 S_s = Parameter percepatan respons seismik MCE_R dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 0
 T = Periode getar fundamental struktur
 T_0 = $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
 T_a = Periode fundamental pendekatan
 T_s = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
 V = Gaya geser dasar
 W = Beban angin
 W = Berat seismik efektif
 δ = Simpangan antar lantai
 δ_a = Simpangan antar lantai ijin
 δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan
 Ω_o = Faktor kuat lebih sistem

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak pada wilayah Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*), yang dikenal sebagai kawasan dengan aktivitas seismik tinggi. Kondisi ini menjadikan Indonesia sangat rentan terhadap bencana gempa bumi yang dapat menimbulkan kerugian signifikan, baik dari segi korban jiwa maupun kerusakan material. Risiko tersebut menjadi semakin besar pada kawasan perkotaan yang memiliki banyak bangunan bertingkat tinggi, termasuk rumah sakit. Bangunan rumah sakit memiliki fungsi vital dalam memberikan pelayanan kesehatan, khususnya pada saat terjadi bencana, sehingga keberlangsungan fungsi dan keamanan strukturalnya harus menjadi prioritas utama dalam perencanaan dan perancangan bangunan.

RS Columbia Asia Medan merupakan salah satu rumah sakit bertingkat di Kota Medan yang berlokasi di wilayah dengan potensi kegempaan. Sebagai fasilitas kesehatan publik, rumah sakit ini dituntut untuk tetap beroperasi pasca-gempa, sehingga sistem struktur bangunan harus memiliki performa seismik yang andal. Dalam konteks perancangan struktur tahan gempa, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sering diterapkan karena memiliki daktilitas tinggi serta kemampuan menyerap energi gempa secara efisien melalui sambungan kaku antar elemen struktur seperti balok dan kolom. Namun demikian, pada bangunan dengan tingkat risiko tinggi seperti rumah sakit, penggunaan SRPMK secara tunggal dapat dianggap kurang memadai untuk menjamin kestabilan struktur terhadap gaya lateral gempa yang besar.

Sebagai solusi, banyak perancang struktur menerapkan Sistem Ganda, yaitu kombinasi antara SRPMK dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK) atau yang lebih dikenal sebagai *shear wall* (dinding geser). Dinding geser memiliki kekakuan lateral yang tinggi dan berfungsi menahan sebagian besar gaya gempa, sehingga dapat membatasi simpangan antar lantai serta meningkatkan kekuatan dan kestabilan struktur. Penerapan sistem ganda sangat relevan untuk bangunan rumah

sakit, karena selain memberikan kapasitas struktural yang lebih tinggi, sistem ini juga mampu menjaga kinerja struktur selama dan setelah terjadinya gempa, yang sangat penting untuk mendukung operasional fasilitas medis tanpa gangguan.

Selain itu, *basement* sebagai bagian dari struktur bawah tanah juga memiliki peran penting dalam menunjang ketahanan bangunan terhadap gempa bumi. Basement tidak hanya difungsikan sebagai ruang parkir atau utilitas, tetapi juga dapat diintegrasikan sebagai elemen struktural yang memperkuat pondasi dan memberikan kontribusi terhadap kekakuan lateral bangunan, terutama bila dipadukan dengan dinding geser yang berkelanjutan hingga ke dasar pondasi. Dengan desain yang tepat, *basement* mampu mendistribusikan beban gempa secara lebih merata serta menurunkan pusat massa struktur, sehingga memperbaiki respons dinamik bangunan terhadap getaran gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang disajikan diatas, maka didapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku struktur pada RS Columbia Asia Medan yang dimodelkan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda menggunakan *basement*?
2. Bagaimana perbandingan volume beton dan volume tulangan struktur pada RS Columbia Asia Medan yang dimodelkan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda menggunakan *basement*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari perluasan masalah-masalah yang tidak terkait dengan Tugas Akhir ini, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Bangunan yang di evaluasi dalam Tugas Akhir ini adalah Rumah Sakit Columbia Asia yang terletak di Jl. Letda Soedjono – Medan, yang memiliki luas bangunan 20.739,8 m² dengan area yang dibangun yaitu *basement*, *ground floor*, dan 8 lantai di atasnya.
2. Struktur dianalisa dalam bentuk 3D dengan menggunakan data teknis gambar struktur dan *software* ETABS 22.

3. Semua perletakan memakai asumsi tumpuan jepit – jepit.
4. Data gempa menggunakan respon spektrum.
5. Tidak menganalisis pondasi.
6. Menggunakan *basement* sebagai perkuatan struktur dengan ada gaya tanah yang bekerja pada dinding *basement* dan menambahkan dinding geser (*shear wall*) dalam melakukan analisis.
7. Beban angin dan hujan tidak diperhitungkan.
8. Tangga, *void*, dan *lift* tidak dimodelkan dan tidak diinput sebagai beban.
9. Tidak membahas perancangan dimensi elemen struktur gedung, tidak membahas detail penulangan dan penyaluran elemen struktur gedung, dan tidak membahas biaya serta metode pelaksanaan konstruksi.
10. Perhitungan volume beton dan tulangan hanya pada elemen struktur utama yaitu balok, kolom, dinding *basement*, dan dinding geser.
11. Menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987 sebagai acuan data pembebanan terkait struktur bangunan Rumah Sakit.
12. ASCE/SEI 41-17 sebagai Paduan Teknis untuk Mengevaluasi dan Memperkuat Struktur Gedung.
13. Menggunakan SNI 2052:2017 sebagai Persyaratan Baja Tulangan Beton.
14. Menggunakan SNI 2847:2019 sebagai Persyaratan Beton Struktural Bangunan Gedung.
15. Menggunakan SNI 1726:2019 sebagai Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa.
16. Menggunakan SNI 1727:2020 sebagai Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perilaku struktur pada RS Columbia Asia Medan yang dimodelkan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda menggunakan *basement*.

2. Untuk mengetahui perbandingan volume beton dan volume tulangan struktur pada RS Columbia Asia Medan yang dimodelkan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda menggunakan *basement*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perbandingan kinerja struktur antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda pada bangunan RS Columbia Asia Medan, sehingga dapat menjadi referensi dalam pemilihan sistem struktur yang lebih efisien dan aman terhadap beban gempa. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat dalam memberikan gambaran mengenai perbandingan volume beton dan tulangan yang dibutuhkan dari masing-masing sistem, yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan perencanaan dari segi teknis maupun efisiensi biaya konstruksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyesuaikan dengan sistematika yang telah ditetapkan sebelumnya, adapun sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori yang berupa pengertian dan landasan teori dari penelitian sebelumnya dan metode metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dapat diuraikan mengenai tahapan penelitian, tentang bagaimana penelitian dilaksanakan, teknik pengumpulan data, metode analisis.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini membahas tentang data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan dan saran atas hasil penelitian yang sudah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa jurnal terkait penelitian yang dilakukan.

1. Syahidah (2017). Membandingkan sistem rangka gedung dan sistem ganda dengan fokus pada volume beton dan tulangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem ganda membutuhkan volume beton lebih besar (616,35 m³) dibanding sistem rangka gedung (527,26 m³), namun kebutuhan tulangannya lebih kecil (683,27 ton) dibanding sistem rangka gedung (714,9 ton). Dari perbandingan rasio tulangan terhadap beton, sistem ganda (1,109) lebih efisien dibanding sistem rangka gedung (1,356). Dengan demikian, untuk bangunan setinggi 38 m, sistem ganda dinilai lebih optimal dari segi struktural dan efisiensi material.
2. Prasetyo (2024). Melakukan perencanaan ulang (*remodelling*) struktur Gedung RSIA Lombok Dua Dua setinggi sembilan lantai yang terletak pada zona gempa kuat (KDS D) di Surabaya dengan kondisi tanah lunak. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK), sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Hasil menunjukkan periode waktu struktur sebesar 1,32 detik (masih dalam batas 1,20–1,68 detik), kontribusi sistem ganda arah X sebesar 37% dan arah Y sebesar 29%, gaya geser dasar RSx sebesar 2641,98 kN dan RSy sebesar 3218,97 kN, serta simpangan maksimum (*drift*) arah X sebesar 22,73 mm dan arah Y sebesar 9,48 mm yang telah memenuhi persyaratan batasan simpangan antar lantai.
3. Pradhani (2022). Dari hasil analisis Perbandingan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda pada Struktur Gedung Apartemen

- 15 Lantai, menunjukkan bahwa kedua sistem struktur memenuhi kriteria analisis berdasarkan SNI 1726:2019. Sistem Ganda mencapai partisipasi massa 96% (UX), 90% (UY, UZ), simpangan antar lantai maksimum 24,970 mm (X) dan 29,656 mm (Y), serta rasio P-Delta maksimum 0,052. Sementara itu, SRPMK menunjukkan partisipasi massa 92% di ketiga arah, simpangan maksimum 22,440 mm (X) dan 33,776 mm (Y), serta rasio P-Delta maksimum 0,087. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua sistem layak digunakan, namun Sistem Ganda memiliki kontrol simpangan dan deformasi lateral yang lebih baik pada arah X.
4. Winita dan Darmini (2021). Merancang struktur atas Apartemen Tower 35 lantai dengan Kombinasi Framing System, yaitu SRPMK pada arah X dan Sistem Ganda pada arah Y, mengacu pada SNI 03-1726-2010. Hasilnya menunjukkan bahwa SRPMK menahan beban gempa dominan sebesar 93,26% (RSXP) dan 33,62% (RSPY), sedangkan dinding geser mendominasi arah Y dengan kontribusi 66,38% (RSPY). Struktur direncanakan di Jakarta Selatan menggunakan beton bertulang, dengan berbagai tipe pelat, balok, dan kolom serta variasi diameter tulangan sesuai fungsi elemen struktur.
 5. Subagja (2023). Melakukan perancang ulang struktur RSUD Dr. R. Soedjono Selong menjadi 10 lantai menggunakan Sistem Ganda, yaitu gabungan SRPMK dan SSDK, sesuai SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan SNI 1727:2019. Hasil analisis dengan ETABS menunjukkan partisipasi gaya gempa SRPMK sebesar 25,82% (X) dan 25,53% (Y), melebihi batas minimum 25%. Partisipasi massa terpenuhi pada mode ke-10 dengan total >90%. Simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin, yakni 38,51 mm (X) dan 40,95 mm (Y), sehingga struktur dinyatakan memenuhi syarat kelayakan gempa.
 6. Pratama (2021). Membandingkan kinerja struktur gedung 8 lantai SRPMK dengan sistem ganda melalui penambahan dinding geser. Tiga konfigurasi dinding geser diuji, dan hasil simulasi ETABS menunjukkan bahwa konfigurasi SW3 (6 dinding geser sepanjang sisi gedung) paling efektif, dengan pengurangan periode getar hingga 62,55%, peningkatan gaya geser dasar hingga 86,34%, pengurangan perpindahan hingga 90,97%, dan pengurangan simpangan antar lantai hingga 89,58%. SW2 dinilai efisien secara struktural meskipun tidak seefektif SW3.

7. Widiati (2016). Melakukan perbandingan kinerja antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda (gabungan SRPMK dan dinding geser) pada Gedung Baru Uniyap yang terletak di Kota Jayapura, Papua. Analisis dilakukan secara 3 dimensi menggunakan perangkat lunak SAP2000 v14 dengan metode analisis respons dinamik. Hasil analisis menunjukkan bahwa Sistem Ganda memiliki berat struktur sebesar 328.405 kN atau sekitar 1% lebih besar dibanding SRPMK yang memiliki berat 334.343,065 kN. Dari sisi dinamika struktur, periode getar pada Sistem Ganda lebih kecil dibanding SRPMK yang memiliki periode 0,715 detik, yang menunjukkan bahwa Sistem Ganda memiliki kekakuan lebih baik. Selain itu, base shear yang dihasilkan oleh Sistem Ganda lebih besar dari SRPMK, yaitu pada arah gempa X sebesar 8% lebih besar dan pada arah Y sebesar 24% lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa Sistem Ganda lebih efektif dalam merespons gaya gempa lateral. Penelitian ini merekomendasikan bahwa untuk bangunan berlantai banyak di daerah rawan gempa, sistem ganda dapat menjadi pilihan yang lebih aman dan efisien dibandingkan sistem SRPMK tunggal.
8. Nursani (2023). Melakukan menganalisis pengaruh penambahan dinding geser terhadap perilaku struktur gedung 7 lantai dengan sistem ganda. Studi ini membandingkan kinerja struktur sebelum dan sesudah penambahan dinding geser di area lift. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penambahan dinding geser mampu mengurangi simpangan antar lantai, menurunkan gaya geser dasar, dan memperpendek waktu getar, sehingga meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktur terhadap beban gempa. Struktur dengan dinding geser terbukti lebih aman dan berpotensi mengurangi risiko keruntuhan.
9. Subaga (2022). Melakukan perbandingan perilaku struktur gedung 15 lantai dengan sistem SRPMK dan Sistem Ganda (SDSK) menggunakan dinding geser tipe *Side Wall*. Analisis dilakukan dengan ETABS V9.5.0 mengacu pada SNI 1726:2012. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan dinding geser menurunkan berat struktur sebesar 10%, mengurangi defleksi hingga 20%, simpangan antar lantai turun 25% (X) dan 20% (Y), serta menurunkan efek P-Delta secara signifikan. Periode struktur juga berkurang dari 3,332 detik

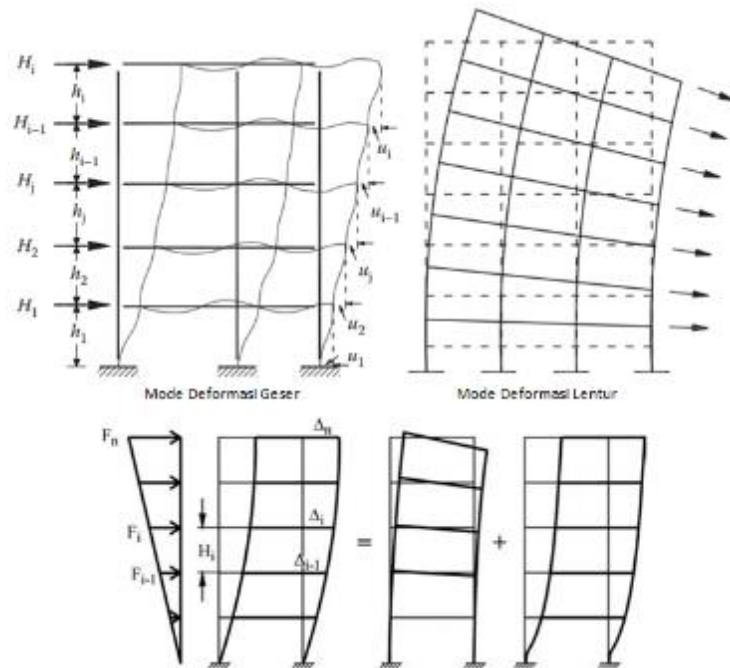
(SRPMK) menjadi 2,987 detik (SDSK), menjadikan tipe *Side Wall* efektif dalam meningkatkan kinerja seismik dan efisiensi struktur.

10. Majore (2015). Melakukan pembahasan pengaruh variasi tata letak dinding geser terhadap simpangan horizontal pada bangunan 25 lantai dengan struktur beton bertulang. Analisis dilakukan dengan ETABS menggunakan sembilan model (A–I) yang berbeda posisi *shear wall*-nya, baik di inti maupun di bagian luar bangunan. Hasil menunjukkan bahwa penempatan dinding geser di pusat massa bangunan menghasilkan simpangan horizontal yang lebih kecil dibanding penempatan di bagian luar. Model G (dinding di pusat massa) menunjukkan kinerja terbaik dengan simpangan minimum sebesar 60,9 mm, sedangkan Model I memiliki simpangan maksimum sebesar 736,5 mm.

2.2 Filosofi Bangunan Tahan Gempa

Suatu bangunan yang baik pada daerah yang terletak berdekatan dengan daerah pertemuan lempengan benua seperti di Indonesia hendaknya didesain terhadap kemungkinan beban gempa yang akan terjadi di masa yang akan datang yang waktunya tidak dapat diketahui secara pasti. Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa adalah:

1. Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit jatuh, kaca pecah dan sebagainya) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dan lainnya).
2. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
3. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ke tempat aman.



Gambar 2.1: Deformasi gedung akibat gempa.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan. Tingkat layanan dari struktur akibat gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu:

1. Kemampuan layan (*Serviceability*)

Jika gempa dengan intensitas (*intensity*) percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal di dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun elemen non-struktur yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan control dan batas simpangan yang dapat terjadi semasa gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis.

2. Kontrol kerusakan (*Damage Control*)

Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur (masa) rencana bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat menahan gempa

ringan (kecil) tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur ataupun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur masih dalam batas elastis.

3. Ketahanan (*Durability*)

Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem struktur gedung yang umum digunakan di Indonesia adalah Sistem Rangka Pemikul Momen, dimana beban horizontal akibat gempa akan dipikul terutama melalui mekanisme lentur. Pada saat terjadi gempa, rangka pemikul momen harus berperilaku sebagai rangka daktail sehingga keutuhannya terjaga sehingga bangunan terlindungi dari kemungkinan keruntuhan mendadak. Perilaku daktail ini hanya dapat dicapai jika selama pembentukan sendi plastis pada kolom-balok-plat mampu mentransfer efek beban lateral gempa tanpa kehilangan kekakuan dan kekuatannya.

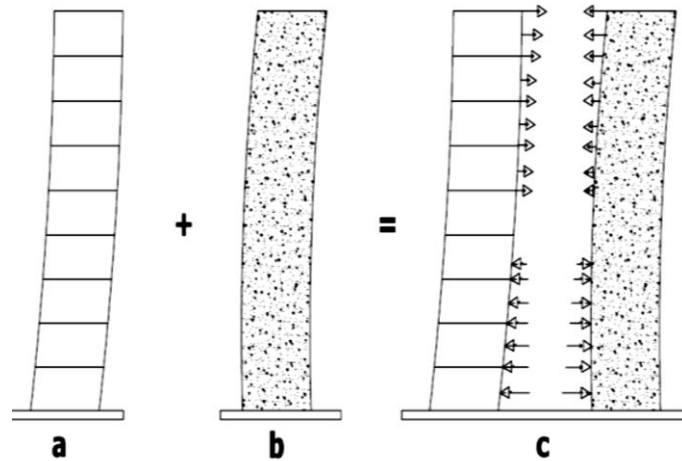
2.4 Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem Ganda (*Dual System*) adalah sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul penuh oleh *Space Frame* (Rangka), sedangkan beban lateral dipikul bersama oleh *Space Frame* dan *Shearwall* (Dinding Geser). Penggunaan Sistem Ganda (*Dual System*) sangat cocok untuk konstruksi struktur bangunan di daerah gempa kuat.

Secara umum menurut SNI 1726:2019 Pasal 3.50.1, Sistem Ganda adalah sistem stuktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi lengkap, sedangkan beban lateral akibat gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan rangka bresing yang diperkuat.

Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1, untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa rencana. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan

dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang sebanding dengan kekakuannya.



Gambar 2.2: Gabungan sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser.

2.5 Sistem Pembebanan

2.5.1 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020 yaitu Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban gravitasi dalam analisis bangunan Gedung 8 lantai ini meliputi beban mati sendiri (*Dead Load*), beban mati tambahan (*Super Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), dan beban atap.

1. Beban Mati Berat Sendiri (*Dead Load*)

Beban mati (*Dead Load*) adalah berat seluruh komponen elemen struktural bangunan yang terdiri atas kolom, balok, pelat, dan dinding struktural. Beban mati akan dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak ETABS dengan menggunakan jenis material beton bertulang 24 kN/m^3 .

2. Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan atau *Super Dead Load* adalah berat komponen non struktural (arsitek dan MEP) yang terdapat pada struktur bangunan. Berdasarkan

peraturan PPPURG 1987, berat sendiri bangunan dan komponen Gedung ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Berat sendiri bangunan dan komponen gedung.

No	Material	Berat	Keterangan
1	Baja	7850 kg/m ³	
2	Batu alam	2600 kg/m ³	
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500 kg/m ³	Batu tumpuk
4	Batu karang	700 kg/m ³	Batu tumpuk
5	Batu pecah	1450 kg/m ³	
6	Besi tuang	7250 kg/m ³	
7	Beton	2200 kg/m ³	
8	Beton bertulang	2400 kg/m ³	
9	Kayu	1000 kg/m ³	Kelas I
10	Kerikil koral	1650 kg/m ³	Kering udara sampai lembab, tanpa diayak
11	Pasangan bata merah	1700 kg/m ³	
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m ³	
13	Pasangan batu cetak	2200 kg/m ³	
14	Pasangan batu karang	1450 kg/m ³	
15	Pasir	1600 kg/m ³	Kering udara sampai Lembab
16	Pasir	1800 kg/m ³	Jenuh air
17	Pasir kerikil, koral	150 kg/m ³	Kering udara sampai Lembab
18	Tanah , lempung dan lanau	1700 kg/m ³	Kering udara sampai Lembab
19	Tanah, lempung dan lanau	2000 kg/m ³	Basah
20	Timah hitam	11400 kg/m ³	

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

No	Material	Berat	Keterangan
1	Adukan, per cm tebal: - dari semen - dari kapur,semen merah/tras	21 kg/m ² 17 kg/m ²	
2	Aspal, per cm tebal	14 kg/m ²	
3	Dinding pas.bata merah : - satu bata - setengah batu	450 kg/m ² 250 kg/m ²	
4	Dinding pas.batako berlubang - tebal dinding 20 cm (HB 20) - tebal dinding 10 cm (HB 10)	200 kg/m ² 120 kg/m ²	
	Tidak berluang - tebal dinding 15 cm - tebal dinding 10 cm	300 kg/m ² 200 kg/m ²	
5	Langit langit dan dinding - semen asbes eternit tebal maks 4 mm - kaca tebal 3-5mm	11 kg/m ² 10 kg/m ²	Termasuk rusuk rusuk tanpa penggantung atau pengaku
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu	40 kg/m ²	Tanpa langit langit, bentang maks. 5 cm beban hidup maks. 200 kg/m ²
7	Penggantung langit langit kayu	7 kg/m ²	Bentang maks. 5 m, jarak s.k.s min.0,80 m
8	Penutup atap genteng	50 kg/m ²	Dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap
9	Penutup atap sirap	40 kg/m ²	Dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

No	Material	Berat	Keterangan
10	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25)	10 kg/m ²	Tanpa usuk
11	Penutup lantai ubin/cm tebal	24 kg/m ²	Ubin semen portland, traso, dan beton, tanpa adukan
12	Semen asbes gelombang (5 mm)	11 kg/m ²	

3. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup atau *Live Load* adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan Gedung yang berasal dari orang atau barang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Berdasarkan SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1 beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan Gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan.

2.5.2 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726:2019 bahwa komponen elemen struktur atas maupun bawah harus di desain hingga kuat rencana atau bahkan melebihi dari pembebanan terfaktor dengan kombinasi-kombinasi yang sesuai dengan Persamaan 2.1 sampai dengan Persamaan 2.7 dan untuk penjabarannya dapat dilihat pada Tabel 2.2 kombinasi pembebanan analisis struktur.

$$1. 1,4D \quad (2.1)$$

$$2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

$$3. 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.3)$$

$$4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.4)$$

$$5. 0,9D + 1,0W \quad (2.5)$$

$$6. 1,2D + Ev + Eh + L \quad (2.6)$$

$$7. 0,9D - Ev + Eh \quad (2.7)$$

Untuk Pers. 2.5 dan Pers. 2.7 dengan beban gempa diatur oleh SNI 1726:2019 Pasal 7.4, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati total, beban hidup nominal dan beban gempa nominal, yaitu sebagai berikut:

$$1. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0L \pm 1,0E_x \pm 0,3E_y \quad (2.8)$$

$$2. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0L \pm 0,3E_x \pm 1,0E_y \quad (2.9)$$

$$3. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,0L \pm 1,0E_x \pm 0,3E_y \quad (2.10)$$

$$4. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,0L \pm 0,3E_x \pm 1,0E_y \quad (2.11)$$

Tabel 2.2: Kombinasi pembebanan analisis struktur.

No.	Kombinasi Pembebanan	Keterangan
1	1,4 D	Kombinasi pembebanan akibat beban mati, beban hidup, beban angin dan beban hujan
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 L _r	
3	1,2 D + 1,6 L + 0,5 R	
4	1,2 D + 1,6 L _r + 1,0 L	
5	1,2 D + 1,6 L _r + 0,5 W	
6	1,2 D + 1,6 L _r + 0,5 W	
7	1,2 D + 1,6 R + 1,0 L	
8	1,2 D + 1,6 R + 0,5 W	
9	1,2 D + 1,6 R + 0,5 W	
10	1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 L _r	
11	1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 R	
12	0,9 D + 1,0 W	
13	0,9 D + 1,0 W	
14	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L + 1,0 E _x + 0,3 E _y	Kombinasi pembebanan sementara (akibat beban mati, beban hidup, dan beban gempa)
15	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L + 1,0 E _x - 0,3 E _y	
16	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L - 1,0 E _x + 0,3 E _y	
17	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L - 1,0 E _x - 0,3 E _y	
18	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L + 0,3 E _x + 1,0 E _y	
19	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L + 0,3 E _x - 1,0 E _y	
20	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L - 0,3 E _x + 1,0 E _y	
21	(1,2 D + 0,2 S _{DS}) + 1,0 L - 0,3 E _x - 1,0 E _y	
22	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) + 1,0 E _x + 0,3 E _y	
23	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) + 1,0 E _x - 0,3 E _y	
24	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) + 1,0 E _x + 0,3 E _y	
25	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) + 1,0 E _x - 0,3 E _y	
26	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) + 0,3 E _y + 1,0 E _x	
27	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) + 0,3 E _y - 1,0 E _x	
28	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) - 0,3 E _y + 1,0 E _x	
29	(0,9 D - 0,2 S _{DS}) - 0,3 E _y - 1,0 E _x	

Dimana:

- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
- E = Beban gempa
- L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan
- Lr = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

2.6 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Dalam prosedur perencanaan beban gempa untuk desain sebagai gempa kuat berdasarkan SNI Gempa struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya oleh direncanakan terhadap beban yang direduksi dengan suatu faktor modifikasi respon struktur (R), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang dimiliki struktur.

Dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan Gedung dan non Gedung serta berbagai bagian dan peralatan secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan mungkin terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2.6.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan Tabel 2.3 kemudian harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) menurut Tabel 2.4.

Tabel 2.3: Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan stuktur kecil lainnya	I
Semua Gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katagori resiko I, II, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Tabel 2.4: Faktor keutamaan gempa.

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

2.6.2 Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.1, bahwa dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus dilakukan klasifikasi terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus dilakukan klasifikasi sesuai dengan Tabel 2.5 klasifikasi situs berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Tabel 2.5: Klasifikasi situs.

Kelas Situs	Vs (m/s)	N atau N _{ch}	S _u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, angat padat dan batuan lunak)	350-750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau settiap profil tanah mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	1. Indeks plastisitas, PI > 20		
	2. kadar air, w ≥ 40%		
	3. Kuat Geser nilarir S _u < 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plastisitas PI > 75).		

2.6.3 Koefisien Situs dan Parameter Respons Gempa Maksimum

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2, bahwa untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) merupakan faktor yang berkaitan dengan amplifikasi. Faktor amplifikasi F_a dan F_v bisa di lihat pada Tabel 2.6 Koefisien situs F_a dan Tabel 2.7 Koefisien situs F_v . Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13.

$$S_{MS} = F_a S_5 \quad (2.12)$$

$$S_{M1} = F_a S_1 \quad (2.13)$$

Dimana:

- S_{MS} = Parameter percepatan respon spektral MCE_R pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
- S_{M1} = Parameter percepatan respon spektral MCE_R pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
- S_S = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek dilihat pada Gambar 2.2
- S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik dilihat pada Gambar 2.3

Tabel 2.6: Koefisien Situs F_a .

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) tertetapan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,25$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,25$
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)					

CATATAN:

- (a) Untuk nilai nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisa respons situs-spesifikasi

Tabel 2.7: Koefisien Situs F_v .

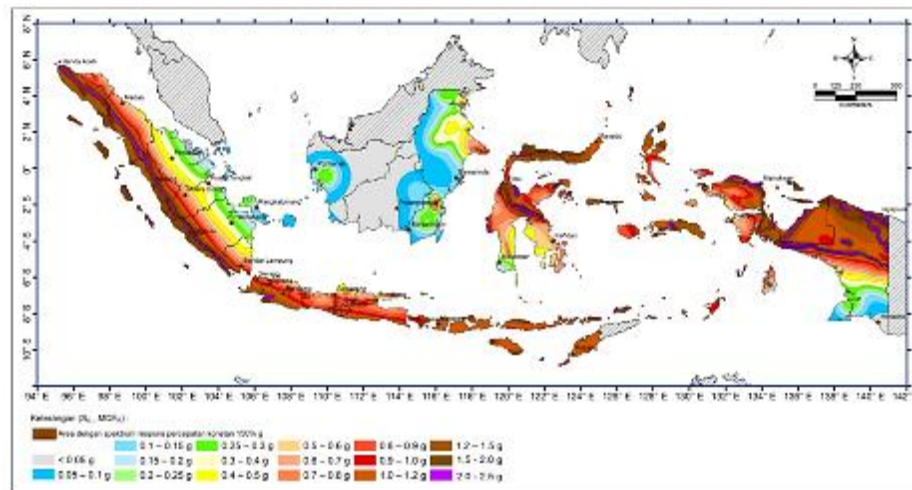
Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) tertetapan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5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

CATATAN:

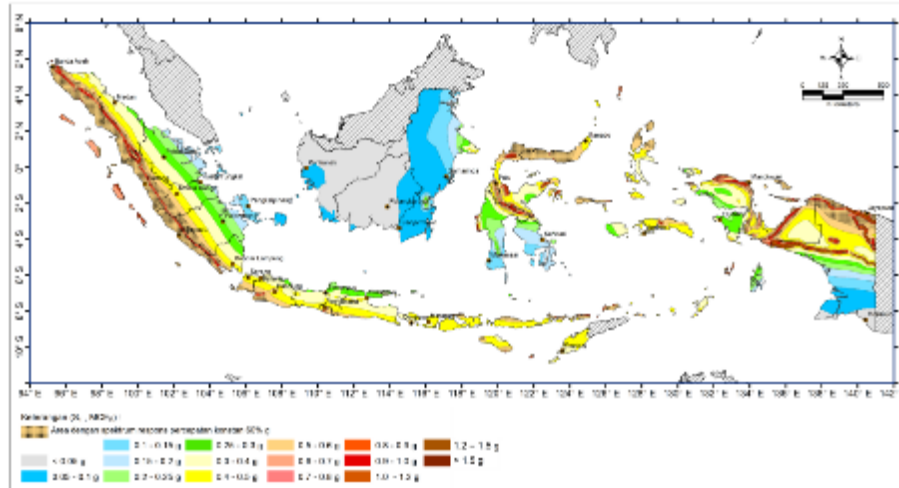
(c) Untuk nilai nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier

(d) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisa respons situs-spesifikasi

Untuk menentukan nilai S_S dan S_I sebagai parameter pergerakan tanah bisa dilihat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2.3: Parameter S_I periode pendek.



Gambar 2.4: Parameter S_s periode 1 detik.

2.6.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui Persamaan 2.14 dan Persamaan 2.15.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.14)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.15)$$

Dimana:

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

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

2.6.5 Spektrum Respons Desain

Berikut adalah ketentuan dalam spektrum respons desain berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4 sebagai berikut.

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) harus diambil dari Persamaan 2.16.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.16)$$

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .

- c. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain S_a , diambil berdasarkan Persamaan 2.17.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.17)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain S_a , diambil berdasarkan Persamaan 2.18.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.18)$$

Maka nilai dari T_0 dapat kita hitung menggunakan Persamaan 2.19 dan nilai T_s menggunakan Persamaan 2.20.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.19)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.20)$$

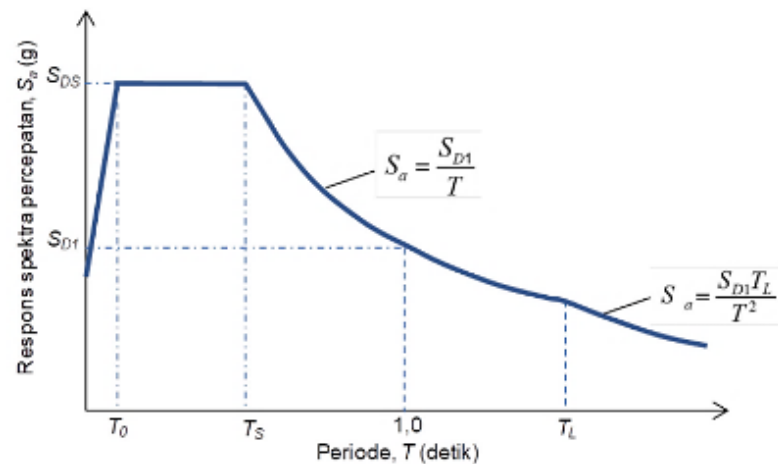
Dimana:

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

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

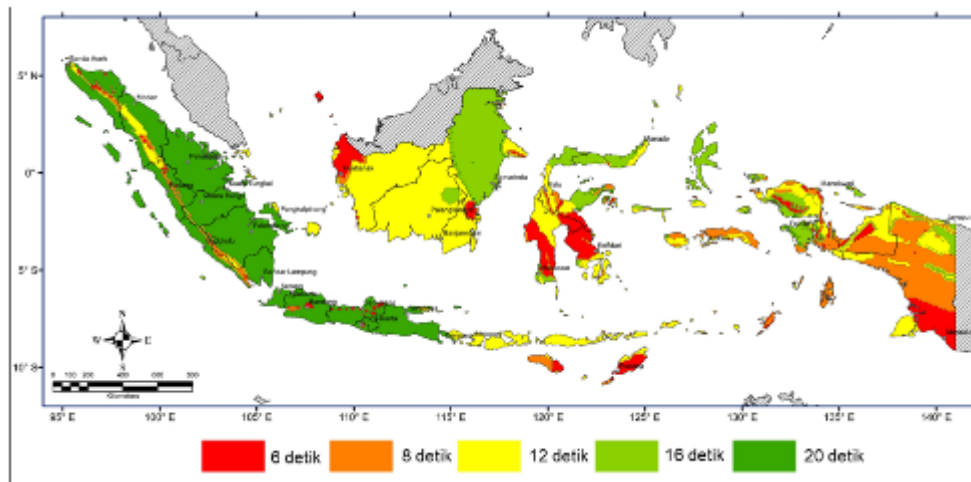
T = Periode getar fundamental struktur

T_L = Transisi periode panjang



Gambar 2.5: Spektrum respons desain.

Kemudian untuk mendapatkan nilai T_L , dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Peta transisi periode panjang.

2.6.6 Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1), lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang diklasifikasikan sebagai risiko IV yang parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1), lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{Ds} dan S_{D1} . Tiap bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur (T). Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75 kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.8 saja, di mana berlaku semua ketentuan sebagai berikut.

- Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode getar alami (T_a), kurang dari $0,8T_s$.
- Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode getar alami struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s .

- c. Persamaan (2.14) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismi (C_s).
- d. Diafragma struktural adalah kaku/ *rigid* untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Tabel 2.8: Kategori desain seismik periode pendek.

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	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

Tabel 2.9: Kategori desain seismik periode 1 detik.

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

2.6.7 Menentukan Sistem Struktur

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.10. Setiap sistem pemikul gaya seismik yang dipilih harus didesain sesuai dengan Tabel 2.10 untuk nilai R (koefisien modifikasi respons), Ω_0 (faktor kuat lebih sistem) dan C_d (faktor pembesaran defleksi).

Tabel 2.10: Koefisien Faktor R , Cd , dan Ω_o .

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_o	Faktor pembesaran defleksi, Cd	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3 ½	3	3 ½	10	10	10	10	10

* TB = Tidak Dibatasi, TI = Tidak Diijinkan

2.6.8 Menentukan Periode Fundamental Struktur

Periode getar struktur merupakan properti yang sangat penting untuk diketahui dalam proses perancangan struktur, khususnya dalam struktur bangunan tahan gempa. Periode getar struktur menentukan besarnya beban gempa yang akan diaplikasikan dalam perancangan struktur. Selain itu periode getar struktur disebut juga properti dinamik dari suatu struktur. Periode getar (T) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya.

Perioda fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, harus ditentukan dari Persamaan 2.21 sebagai berikut.

$$T_a = C_t x h_n^x \quad (2.21)$$

Dimana:

- h_n = Ketinggian struktur dalam satuan meter
- C_t = Dari tabel koefisien parameter periode pendekatan
- x = Dari tabel koefisien parameter periode pendekatan

Kemudian untuk koefisien parameter periode pendekatan C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11: Parameter periode pendekatan C_t dan x .

No	Tipe Struktur	C_t	x
1	Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
	a. Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
	b. Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
2	Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
3	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
4	Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Apabila dalam analisis struktur digunakan bantuan *software* untuk mendapatkan nilai periode fundamental struktur yang akurat sesuai massa dan kekakuan struktur, maka harus dilakukan pengecekan dengan Persamaan 2.22 terhadap batas atas periode dan untuk menentukan nilai C_u mengacu pada Tabel 2.12.

$$T = C_U \times T_a \quad (2.22)$$

Tabel 2.12: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

No	Parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
1	$\geq 0,4$	1,4
2	0,3	1,4
3	0,2	1,5
4	0,15	1,6
5	$\leq 0,1$	1,7

Maka periode desain yang digunakan harus memenuhi persyaratan pada Persamaan 2.23 sampai Persamaan 2.25.

$$\text{Jika } T_c < T_a, T = T_a \quad (2.23)$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u T_a, T = T_c \quad (2.24)$$

$$\text{Jika } T_c > C_u T_a, T = C_u T_a \quad (2.25)$$

Dimana:

T = Periode desain

T_c = Periode hasil analisa *software*

T_a = Batas bawah/minimum periode

$C_u T_a$ = Batas atas/maksimum periode

2.6.9 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) merupakan pengganti/penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur

bangunan gedung. Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.26.

$$V = C_s \times W \quad (2.26)$$

Dimana:

- V = Gaya geser dasar seismik
- C_s = Koefisien respons seismik
- W = Berat seismik efektif

Kemudian untuk mendapatkan nilai koefisien respon seismik C_s , harus sesuai dengan Persamaan 2.27.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.27)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 2.27, tidak boleh kurang dari batas minimum sesuai dengan Persamaan 2.28 dan Persamaan 2.29, serta tidak boleh melebihi batas maksimum sesuai dengan Persamaan 2.30 dan Persamaan 2.31.

1. Batas Minimum

$$C_s = 0,044 S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \quad (2.28)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana $S_1 \geq 0,6g$, maka C_s harus tidak kurang dari Persamaan 2.29.

$$C_s = \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.29)$$

2. Batas Maksimum

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.30)$$

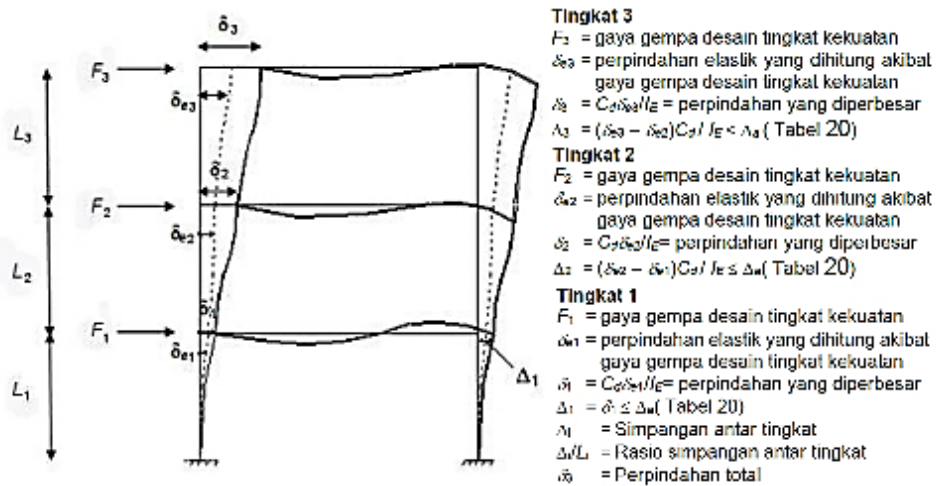
Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.31)$$

2.6.10 Penentuan Serta Batasan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan dan batasan simpangan antar lantai tercantum dalam Pasal 7.8.6 Standar Nasional Indonesia 1726:2019. Penetapan simpangan (Δ) wajib dikalkulasi

sebagai perbedaan simpangan pada suatu pusat massa di atas serta di bawah tingkat yang diperiksa. Bila sebuah pusat massa tak sehaluan pada arah yang vertikal, diijinkan untuk meninjau hitungan simpangan pada dasar tingkat menurut proyeksi arah vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Bilamana tegangan izin dipergunakan, (Δ) wajib dihitung memakai gaya seismik desain tanpa memakai reduksi pada desain tegangan izinnya.



Gambar 2.7: Penentuan simpangan antar lantai.

Penentuan simpangan lantai atau *story drift* desain harus dihitung sebagai selisih terbesar dari titik-titik diatas dan dibawah tingkat di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa ditingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.32.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.32)$$

Dimana:

C_d = Faktor pembesaran defleksi

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

I_e = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar lantai (δ) berdasarkan pasal 7.12.1 tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (δ_a) seperti ditetapkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13: Simpangan antar lantai izin (δa).

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah di desain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua stuktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

* h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

2.6.11 Pengaruh P-Delta

Menurut Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, pengaruh P-Delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang dihasilkan tidak perlu diperhitungkan jika koefisien stabilitas (θ) yang ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_X \Delta I_e}{V_X H_{SX} C_d} \quad (2.33)$$

Keterangan:

- P_X = Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat-x, (kN); bila menghitung faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0
- Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_X (mm)
- I_e = Faktor keutamaan gempa
- V_X = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x-1(kN)
- H_{SX} = Tinggi tingkat dibawah tingkat (mm)
- C_d = Faktor pembesaran defleksi

2.6.12 Ketidakberaturan Struktur

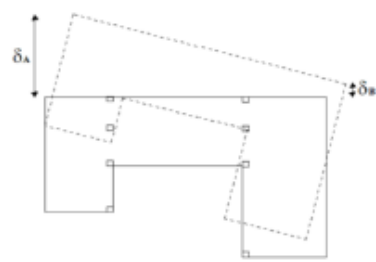
Klasifikasi struktur beraturan dan ketidakberaturan struktur tercantum pada SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2. Klasifikasi struktur bangunan wajib didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan.

2.6.12.1 Ketidakberaturan Horizontal

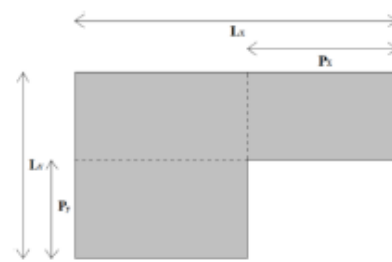
Mengacu pada Pasal 7.3.2.1 pada SNI 1726:2019. Struktur yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan wajib dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Ketidakberaturan horizontal pada struktur.

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



(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b



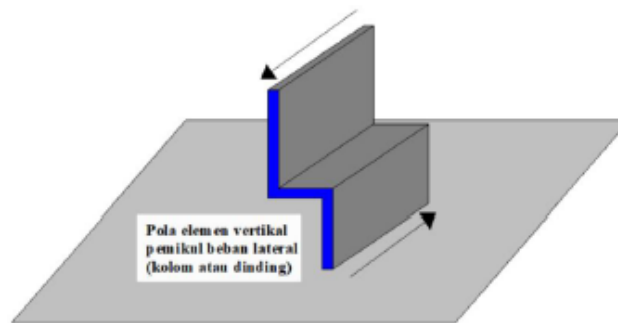
(b) Ketidakberaturan 2



(c) Ketidakberaturan 3



(d) Ketidakberaturan 4



(e) Ketidakberaturan 5

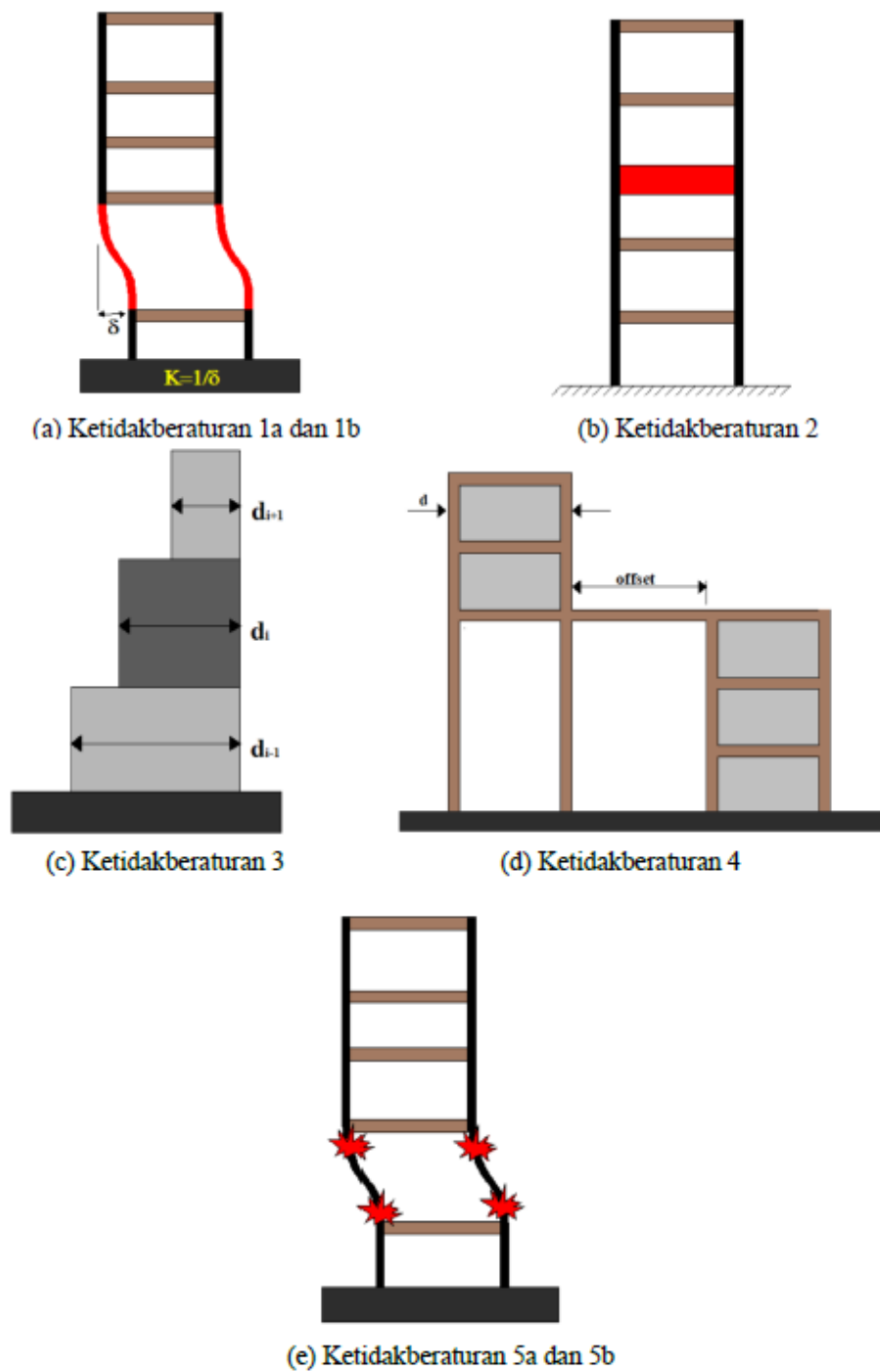
Gambar 2.8: Ketidakberaturan horizontal.

2.6.12.2 Ketidakberaturan Vertikal

Sesuai dengan Pasal 7.3.2.2 SNI 1726;2019. Struktur yang memiliki satu atau lebih tipe ketidak beraturan wajib dinyatakan memiliki ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik yang ada pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Ketidakberaturan vertikal pada struktur.

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



Gambar 2.9: Ketidakberaturan vertikal.

BAB 3

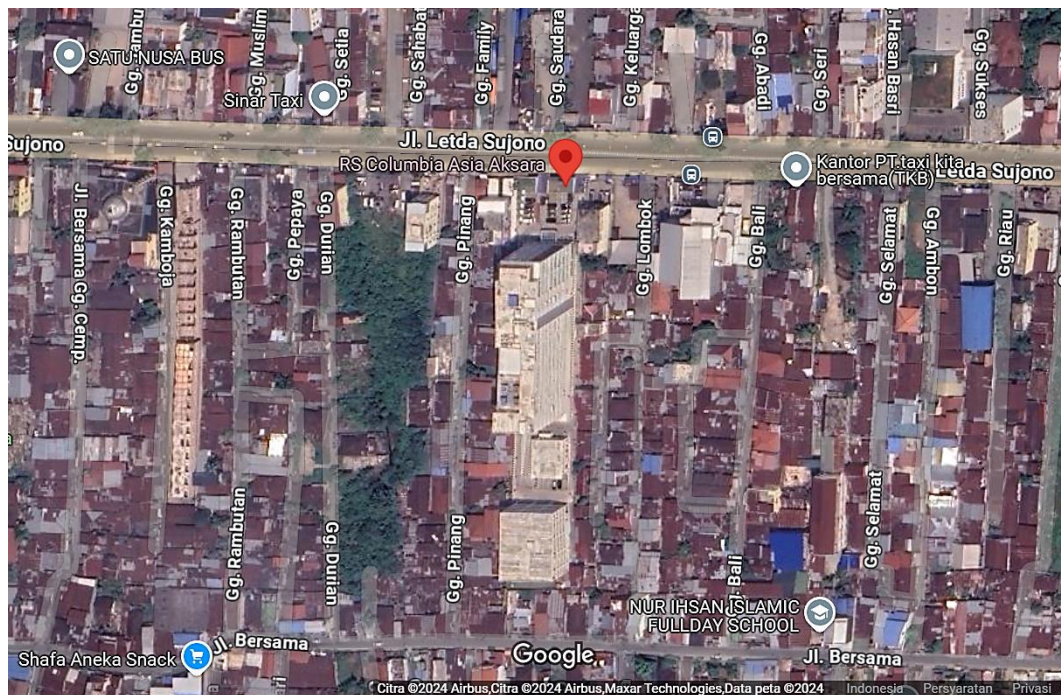
METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan oleh Penulis adalah pendekatan kuantitatif. Dipilihnya pendekatan ini karena penelitian yang dikerjakan melibatkan angka atau bilangan. Tujuan dari pendekatan kuantitatif adalah untuk menjawab masalah penelitian terkait dengan data-data seperti angka maupun program statistik. Data kuantitatif yang dipakai adalah data yang diperoleh dari hasil analisis struktur gedung dengan bantuan program ETABS V22.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada Gedung baru Rumah Sakit Columbia Asia Aksara yang berada di Jl. Letda Sujono, Lk.X No.90 Kelurahan Bandar Selamat, Tembung, Kec. Medan Tembung, Kota Medan, Sumatera Utara, 20223.



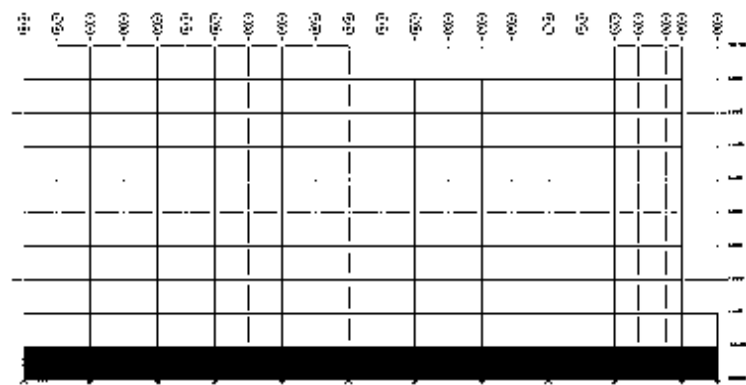
Gambar 3.1: Lokasi penelitian.

3.3 Data Penelitian

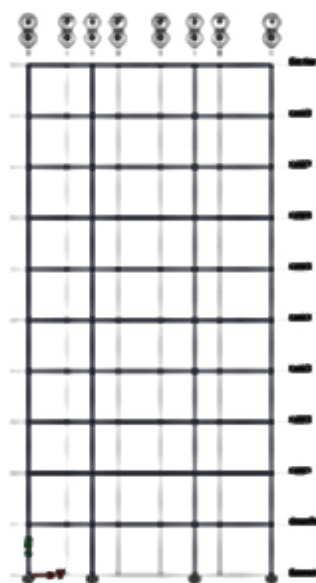
Dalam Tugas Akhir ini memakai data penelitian berupa *Shop Drawing* dari Rumah Sakit Columbia Asia Medan, yang didalamnya terdapat gambar denah, tampak, potongan, serta detail-detail dari elemen struktur.

3.3.1 Luas Bangunan

Luas lahan pada Rumah Sakit Columbia Asia adalah 20.739,8 m², dengan luas bangunan yaitu 12.065 m². Struktur terdiri dari *basement*, *ground floor*, dan 8 lantai di atasnya.



Gambar 3.2: Tampak portal memanjang.



Gambar 3.3: Tampak portal melintang.

3.3.2 Ketinggian Bangunan

Adapun ketinggian bangunan antar lantai pada Rumah Sakit Columbia Asia dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Ketinggian antar lantai pada rumah sakit columbia asia.

Lantai	Ketinggian/Elevasi (meter)	Perbedaan Ketinggian dari Lantai di Bawahnya (meter)
Dak Atap	+ 35.95	-
Lantai 8	+ 31.95	4.00
Lantai 7	+ 27.95	4.00
Lantai 6	+ 23.95	4.00
Lantai 5	+ 19.95	4.00
Lantai 4	+ 15.95	4.00
Lantai 3	+ 11.95	4.00
Lantai 2	+ 7.95	4.00
Lantai 1	+ 3.95	4.00
Ground Floor	- 0.05	4.00
Basement	- 4.05	4.00

3.3.3 Pile Cap

Gedung Rumah Sakit Columbia Asia menggunakan *pile cap* dengan tipe yang berbeda-beda, yaitu ada 23 tipe *pile cap* dengan ketebalan yang bervariasi mulai dari 700 mm sampai 1000 mm. Penggunaan tulangan untuk *pile cap* yaitu tulangan baja D19, D22, D25 dengan jarak Sengkang 150 mm. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' 29$ MPa.

3.3.4 Kolom

Pada Gedung Rumah Sakit Columbia Asia menggunakan kolom struktur dengan dimensi yang berbeda-beda. Digunakan tulangan baja D16, D19, D22, dan D25 dengan mutu beton yang digunakan adalah $f_c' 29$ MPa, sedangkan diameter tulangan sengkang kolom struktur dan kolom praktis yang digunakan adalah D13-100 mm, D13-150 mm, dan D13-200 mm.

Tabel 3.2: Tipe dan dimensi kolom.

No.	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	500 x 800
2	K1	600 x 900
3	K1	600 x 1200
4	K2	500 x 800
5	K2	600 x 900
6	K2	600 x 1200
7	K3	500 x 800
8	K3	600 x 900
9	K3	600 x 1200
10	K4	500 x 700
11	K4	600 x 800
12	K4	600 x 1000
13	K5	500 x 700
14	K5	600 x 800
15	K5	600 x 1000
16	K6	500 x 700
17	K6	600 x 800
18	K6	600 x 1000
19	K6	600 x 1200
20	K7	500 x 700
21	K7	600 x 800
22	K7	600 x 1000
23	K8	300 x 600
24	K9	500 x 500
25	K10	500 x 800
26	K10	600 x 900
27	K10	600 x 1900
28	K11	500 x 800
29	K11	600 x 900
30	K11	600 x 1900
31	K12	500 x 700
32	K12	600 x 800
33	K12	600 x 1800
34	K13	500 x 700
35	K13	600 x 800
36	K13	600 x 1800
37	K14	400 x 400
38	K15	650 x 500
39	K15	750 x 500
40	K15	750 x 1500

3.3.5 Balok

Pada Gedung Rumah Sakit Columbia Asia menggunakan balok struktur dengan dimensi yang berbeda-beda. Terdapat balok induk dan balok anak dalam struktur ini. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' 29$ MPa. Secara umum diameter tulangan utama yang digunakan adalah D13, D16, D22, dan D25 dengan sengkang D13. Jarak sengkang yang digunakan adalah 100 mm pada daerah tumpuan dan 150 mm pada daerah lapangan.

Tabel 3.3: Tipe dan dimensi balok.

No.	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1	400 x 600
2	B2	400 x 600
3	B3	400 x 600
4	B3	500 x 600
5	B3A	250 x 600
6	B4	500 x 600
7	B4A	250 x 600
8	B5	500 x 600
9	B5A	150 x 300
10	B5A	250 x 600
11	B6	250 x 600
12	B6	500 x 600
13	B6A	250 x 600
14	B7	500 x 500
15	B7	500 x 600
16	B7A	150 x 300
17	B7A	250 x 600
18	B7T	400 x 600
19	B8A	250 x 600
20	B9A	150 x 300
21	B9A	250 x 600
22	B10A	150 x 300
23	B12	400 x 1000

3.3.6 Pelat

Pada Gedung Rumah Sakit Columbia Asia memiliki tebal 300 mm untuk pelat dinding *basement*, 120 dan 150 mm untuk lantai 1-8, dan 150 mm untuk lantai

atap. Tulangan yang digunakan adalah D16-200 untuk tebal pelat 300 mm, dan D19-150 mm untuk tebal pelat 120 mm dan 150 mm. Mutu beton yang direncanakan untuk pelat lantai adalah $f_c' = 29$ MPa.

Tabel 3.4: Tipe, dimensi, dan penulangan pelat.

No	Tipe Pelat	Tebal (mm)	Tulangan X	Tulangan Y
1	S1 (Pelat Lantai)	$t = 120$	D19-150	D19-150
2	S2 (Pelat Atap)	$t = 150$	D19-150	D19-150
3	S3 (Pelat Dinding <i>Basement</i>)	$t = 300$	D19-200	D19-200

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam studi ini yaitu sistem struktur yang akan digunakan. Salah satu gedung tinjauan menggunakan sistem rangka gedung sedangkan sebagai pembanding menggunakan sistem ganda. Perbedaan kedua sistem terletak pada pembagian persentase gaya lateral yang dipikul pada dinding geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Kemudian membandingkan rasio volume beton dan volume tulangan kedua sistem.

3.4.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur, dimana sumber dapat berasal dari buku, jurnal maupun peraturan yang berlaku. Peraturan yang digunakan dalam studi ini adalah SNI 2847:2019 sebagai Persyaratan Beton Struktural Bangunan Gedung, SNI 1727:2020 sebagai Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1726:2019 sebagai Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa, SNI 2052:2017 sebagai Persyaratan Baja Tulangan Beton, dan PPPURG 1987 sebagai acuan data pembebanan terkait struktur bangunan Rumah Sakit.

3.4.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data serta informasi Gedung Rumah Sakit Columbia Asia, baik data primer maupun data sekunder dilakukan dengan teliti. Data yang diperoleh

adalah *Shop Drawing* Rumah Sakit. Data ini dipakai untuk pemodelan struktur 3D yang kemudian dianalisis dengan bantuan ETABS V22.

Shop Drawing digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada. Semua struktur yang dimodelkan disesuaikan dengan *Shop Drawing*, untuk bangunan non struktural tidak dimodelkan karena tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada pemodelan 3D ini.

Data tanah digunakan untuk penentuan besarnya gaya tanah yang menekan dinding *basement*. Besarnya gaya tekan tanah berpengaruh pada struktur bangunan yang akan dianalisis, oleh karena itu, dalam pemodelan 3D besarnya gaya tekan tanah ini harus diperhatikan.

3.4.3 Pemodelan 3D

Pada tahap ini gedung tinjauan akan disimulasikan pada dua model yang berkaitan dengan *Shop Drawing* dari RS Columbia Asia Medan, yaitu:

- a. Model 1: Sistem Struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan *basement*
- b. Model 2: Sistem Struktur menggunakan Sistem Ganda (*Dual System*) dengan *basement*

3.4.4 Perhitungan Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur direncanakan berdasarkan Peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2020 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2019. Pembebanan yang digunakan antara lain:

- a. Beban Mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang berdasarkan PPPURG 1987.
- b. Beban Hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati, berdasarkan SNI 1727:2020.

- c. Beban Gempa adalah beban yang terjadi akibat gaya gempa. Analisa pembebanan gempa pada gedung ini mengacu pada SNI 1726:2019, dengan tinjauan lokasi gempa di daerah Medan. Adapun langkah-langkahnya, yaitu:
1. Menetapkan kategori risiko bangunan berdasarkan Tabel 2.3
 2. Menentukan faktor keutamaan gempa berdasarkan Tabel 2.4
 3. Menentukan klasifikasi situs berdasarkan Tabel 2.5
 4. Menentukan parameter percepatan gempa terpetakan (S_S dan S_I) berdasarkan Gambar 2.3 dan Gambar 2.4
 5. Menentukan koefisien situs (F_a dan F_v) berdasarkan Tabel 2.6 dan Tabel 2.7
 6. Menghitung parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dengan Pers 2.12 dan Pers 2.13
 7. Menghitung percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) dengan Pers 2.14 dan Pers 2.15
 8. Menentukan kategori desain seismik berdasarkan Tabel 2.8 dan Tabel 2.9
 9. Menentukan koefisien modifikasi respon (R), faktor pembesaran defleksi (C_d), faktor kuat lebih sistem (Ω_0) dan batasan tinggi struktur berdasarkan Tabel 2.10
 10. Menentukan nilai periode alami getar struktur berdasarkan Pasal 7.8.2.1 pada SNI 1726:2019.

3.5 Analisa struktur

Analisa struktur dalam perencanaan gedung tersebut bertujuan untuk mengetahui respon seismik RS Columbia Asia akibat beban yang bekerja. Gaya tersebut adalah gaya geser, gaya aksial, momen lentur. Selain itu juga digunakan untuk mengetahui besarnya pergeseran lateral. Analisa struktur dilakukan menggunakan program bantuan ETABS.

3.6 Kontrol Desain

Setelah melakukan pemodelan, tahap selanjutnya adalah *running* sistem struktur dengan menggunakan program bantuan ETABS. Setelah itu dilakukan kontrol desain pada tiap pemodelan dengan mengkontrol dimensi elemen struktur meliputi penampang balok, kolom, dan dinding geser. Hal ini dilakukan agar dapat

mengetahui apakah desain yang direncanakan sudah memenuhi persyaratan yang berlaku menurut studi literatur. Kontrol desain meliputi kontrol periode struktur, kontrol gaya geser dasar, kontrol simpangan, kontrol P-Delta, kontrol ketidakberaturan struktur, dan kontrol sistem ganda yang digunakan yaitu dengan membandingkan prosentase gaya lateral yang dipikul oleh rangka maupun dinding geser.

3.7 Perbandingan Volume Beton dan Volume Tulangan

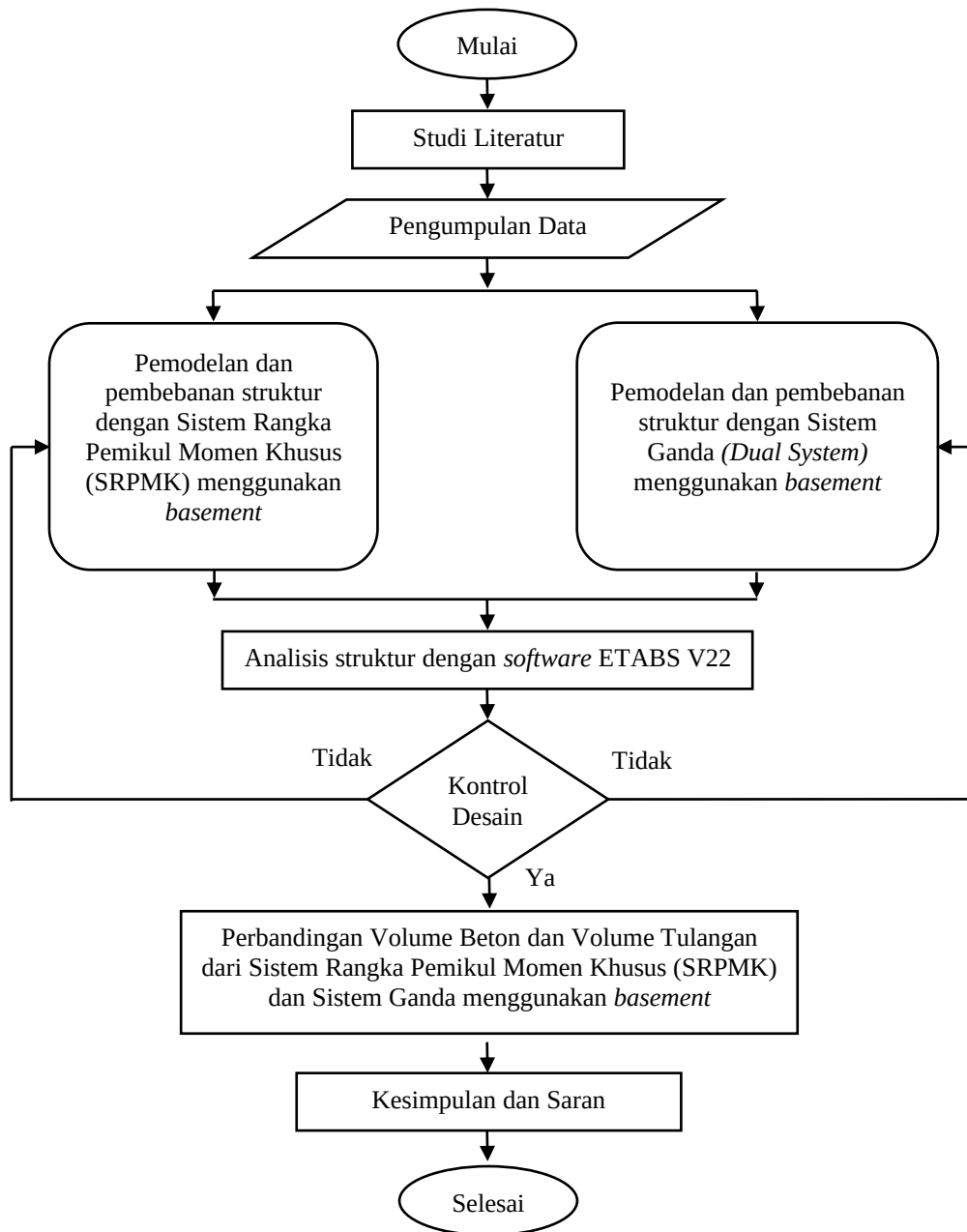
Kebutuhan volume beton dari Sistem Rangka Gedung dibandingkan dengan Sistem Ganda. Begitu pula kebutuhan tulangan kedua sistem struktur tersebut. Perbandingan kebutuhan tersebut disajikan dalam bentuk tabel, dibandingkan kuantitas volume beton dan volume tulangan dari kedua sistem struktur tersebut mana yang lebih efisien.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil perbandingan kebutuhan volume beton dan volume tulangan kedua sistem struktur tersebut, disimpulkan sistem struktur mana yang lebih optimal digunakan yaitu dilihat dari kebutuhan volume yang lebih kecil.

3.9 Diagram Alir Penelitian

Proses atau langkah-langkah dalam penulisan laporan ini digambarkan secara ringkas dan jelas untuk memudahkan penulis dan pembaca dalam memahami tahapan pengerjaan laporan. Diagram alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Diagram alir penelitian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konfigurasi Bangunan

Bangunan gedung Rumah Sakit Columbia Asia terdiri dari *basement*, *ground floor*, lantai 1 – 8, dan dak atap. Data konfigurasi gedung Rumah Sakit Columbia Asia yang dianalisis sebagai berikut.

1. Jenis Bangunan : Gedung Bertingkat
2. Sistem Struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK)
Sistem Ganda (*Dual System*)
3. Fungsi Bangunan : Rumah Sakit
4. Lokasi : Medan
5. Tinggi Bangunan : 35,95 meter
6. Jumlah Lantai : 8 lantai
7. Jenis Tanah : SD (Tanah Sedang)
8. Mutu Beton (f_c') : 29 MPa
9. Mutu Baja :
 - a. Tulangan Pokok : BJTD-40 (f_y 400 MPa, f_u 570 MPa)
 - b. Tulangan Transversal : BJTP-24 (f_y 240 MPa, f_u 390 MPa)

4.2 Pembebanan Struktur

Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan, maka digunakan pembebanan sebagai berikut:

4.2.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri elemen struktur dan berat sendiri tambahan. ETABS digunakan untuk menghitung secara otomatis berat sendiri dari elemen struktur (*self weight*). Sementara untuk berat sendiri tambahan (*superimposed dead load*) terdiri dari beban merata pada pelat serta berat dinding

pada balok struktur. Berikut adalah beban mati pada pelat lantai *ground floor*, lantai 1-8, pelat atap dan balok pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3.

Tabel 4.1: Beban mati tambahan pada lantai *ground floor*, lantai 1-8.

Beban Mati Tambahan Pada Lantai (SDL) <i>Ground Floor</i>, Lantai 1-8			
▪ Berat pasir setebal 1cm	=	0,16	kN/m ²
▪ Berat spesi setebal 3cm	=	0,63	kN/m ²
▪ Berat keramik setebal 1cm	=	0,24	kN/m ²
▪ Berat plafon & penggantung	=	0,20	kN/m ²
▪ Berat instalasi ME	=	0,20	kN/m ²
▪ Berat instalasi Plumbing	=	0,10	kN/m ²
▪ Total beban mati tambahan pada lantai	=	1,53	kN/m²

Tabel 4.2: Beban mati tambahan pada lantai atap.

Beban Mati Tambahan Pada Lantai Atap (SDL)			
▪ Berat <i>waterproofing</i>	=	0,30	kN/m ²
▪ Berat plafon & penggantung	=	0,20	kN/m ²
▪ Berat instalasi ME	=	0,20	kN/m ²
▪ Berat instalasi Plumbing	=	0,10	kN/m ²
▪ Total beban mati tambahan pada lantai atap	=	0,80	kN/m²

Tabel 4.3: Beban mati tambahan dinding pada balok.

Beban Mati Tambahan Dinding Pada Balok			
▪ Beban dinding tinggi 4,00 m	=	8,50	kN/m

4.2.2 Beban Hidup

Beban hidup atau *life load* pada struktur bangunan tahan gempa merujuk pada beban yang disebabkan oleh kegiatan manusia, peralatan, atau perabotan yang ada di dalam atau di atas bangunan. Nilai beban hidup pada Rumah Sakit Columbia Asia merujuk pada SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1.

Tabel 4.4: Beban hidup pada lantai.

Beban Hidup Pada Lantai <i>Ground Floor</i>, Lantai 1-8			
▪ Ruang operasi, laboratorium	=	2,87	kN/m ²
▪ Ruang pasien	=	1,92	kN/m ²
▪ Koridor diatas lantai pertama	=	3,83	kN/m ²
Beban Hidup Pada Lantai Atap			
▪ Beban orang dan perlengkapan	=	1,50	kN/m ²

4.2.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban dinamis akibat aktivitas seismik yang dapat menyebabkan deformasi atau kerusakan struktur bangunan. Perencanaan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 dengan data respons spektrum dari <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Permodelan dilakukan di ETABS untuk arah X dan Y. Evaluasi mencakup waktu getar alami, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan partisipasi massa.

4.3 Analisis Gempa

4.3.1 Menentukan Kategori Resiko Bangunan Gedung

Pada Tugas Akhir ini, bangunan yang terdiri dari *basement*, *ground floor*, dan 8 lantai diatasnya berfungsi sebagai rumah sakit. Berdasarkan Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2 menunjukkan bahwa struktur termasuk kategori IV. Dapat dilihat pada Tabel 2.3.

4.3.2 Menentukan Faktor Keutamaan Gedung

Berdasarkan dari kategori resiko bangunan gedung yang termasuk kategori IV, maka faktor keutamaan gedung (I_e) adalah 1,50 berdasarkan SNI 1726:2019. Dapat dilihat pada Tabel 2.4.

4.3.3 Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata ($\bar{N}$) seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Data N-SPT.

Kedalaman (d)	Ketebalan Lapisan (di)	N-SPT	di/N
meter	meter		
2	2	14	0.14285714
4	2	17	0.11764706
6	2	17	0.11764706
8	2	23	0.08695652
10	2	23	0.08695652
12	2	43	0.04651163
14	2	16	0.12500000
16	2	42	0.04761905
8	2	47	0.04255319
20	2	44	0.04545455
22	2	51	0.03921569
24	2	56	0.03571429
26	2	56	0.03571429
28	2	57	0.03508772
30	2	58	0.03448276
Jumlah	30		1.03941745

$$\bar{N} = \frac{30}{1,03941745} = 28,862$$

Sehingga berdasarkan Tabel 2.5, nilai $\bar{N}$ termasuk kategori tanah sedang (SD) karena berada diantara $15 < \bar{N} < 50$.

4.3.4 Menentukan Parameter Percepatan Gempa Terpetakan

Percepatan terpetakan terdiri dari 2 parameter yaitu parameter S_s dan S_1 . S_s adalah parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek, yaitu 0,2 detik. Sementara S_1 adalah parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode 1,0 detik. Dari situs <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, didapatkan nilai 0,639595 g untuk S_s dan 0,354287 g untuk S_1 .

4.3.5 Menentukan Koefisien Situs

F_a adalah faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek dan F_v adalah faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran

periode 1 detik yang dapat dilihat pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12. Dari situs <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, didapatkan nilai 1,288324 untuk F_a dan 1,945713 untuk F_v .

4.3.6 Menghitung Parameter Respons Spektral Percepatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2, untuk parameter percepatan spektra untuk periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) ditentukan menggunakan Pers. 2.12 dan Pers. 2.13. Maka didapatkan nilai 0,824006 g untuk S_{MS} dan 0,689340 g untuk S_{M1} .

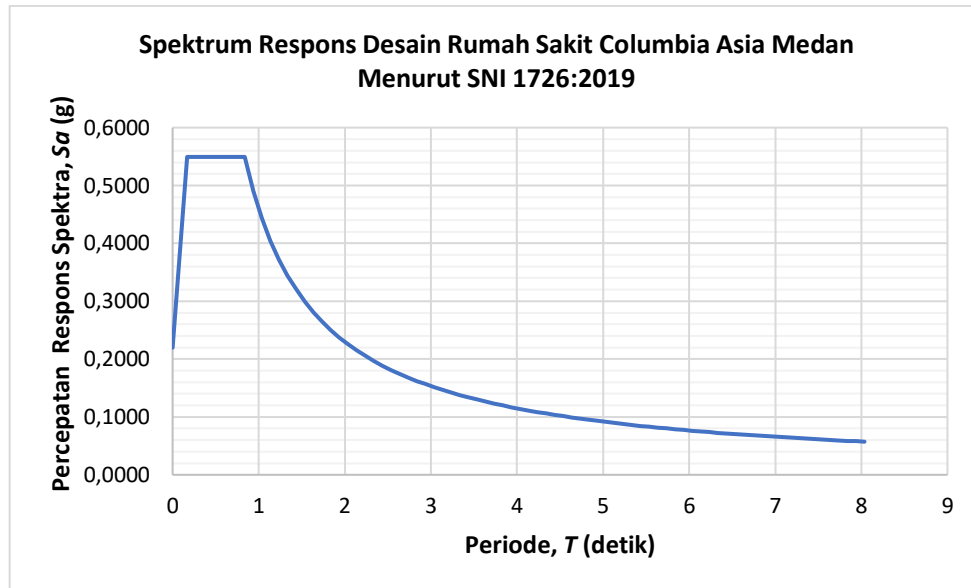
4.3.7 Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3, untuk parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan menggunakan Pers. 2.14 dan Pers. 2.15. Maka didapatkan nilai 0,549337 g untuk S_{DS} dan 0,459560 g untuk S_{D1} .

4.3.8 Menghitung Spektrum Respons Desain

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) diambil dari Pers. 2.16 dengan hasil 0,220 g. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} , yaitu sebesar 0,549337 g. Nilai dari T_0 dapat dihitung menggunakan Pers. 2.19 sebesar 0,167314 detik dan nilai T_s menggunakan Pers. 2.20 sebesar 0,836572 detik.

Berdasarkan parameter dari perhitungan diatas dapat dibuat grafik respon spektrum menurut SNI 1726:2019, ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Grafik respon spektrum.

4.3.9 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5, dengan nilai S_{DS} sebesar 0,549337 g dan nilai S_{D1} sebesar 0,459560 g dan kategori resiko IV, maka struktur tergolong KDS D yang dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9.

4.3.10 Menentukan Sistem Struktur Terhadap Tingkat Resiko Gempa

Berdasarkan Tabel 2.10 yang mengacu pada SNI 1726:2019, sistem struktur Rumah Sakit Columbia Asia akan di desain menggunakan tipe D. Menggunakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Dari tabel tersebut juga di dapat nilai-nilai sebagai berikut.

Koefisien modifikasi respons, R = 8

Faktor kuat lebih sistem, Ω_o = 3

Faktor pembesaran defleksi, C_d = 5,5

4.3.11 Menentukan Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur bangunan (T) membandingkan hasil analisa program atau *software* ETABS V22 dengan peraturan yang ada pada Pasal 7.8.2 SNI 1726:2019. Penentuan perioda memiliki periode minimum atau periode

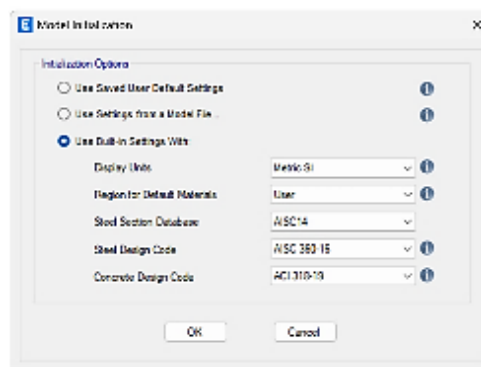
fundamental pendekatan (T_a) dengan adanya faktor C_t , h_n dan x yang terdapat pada Pers. 2.21 yang mengacu pada Tabel 18 SNI 1726:2019 dengan h_n sebesar 35,95 m. Perhitungan periode fundamental pendekatan (T_a) didapatkan sebesar 1,1709 detik. Kemudian untuk menentukan nilai periode maksimal (T_{Max}) diambil pada Pers. 2.22 dengan nilai sebesar 1,6392 detik.

4.4 Pemodelan Struktur

4.4.1 Pemodelan Geometrik Struktur Rumah Sakit Columbia Asia

Pada awal pembuatan desain bangunan yang dibuat, maka yang pertama yang harus dilakukan adalah memodelkan bentuk bangunan terlebih dahulu. Pada tahap awal pemodelan ini dilakukan saat awal pembukaan aplikasi atau juga dapat dilakukan dengan menekan perintah *New Model* atau dengan menekan perintah di keyboard yaitu *Control-N*.

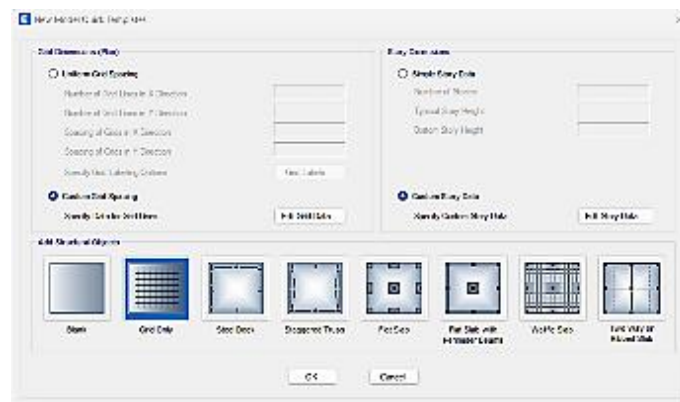
Setelah melakukan perintah *new model* akan muncul *Model Initialization*, pada windows tersebut pilih *Use-Built-in settings with* untuk mengatur ketentuan sesuai dengan peraturan yang kita jadikan acuan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2.



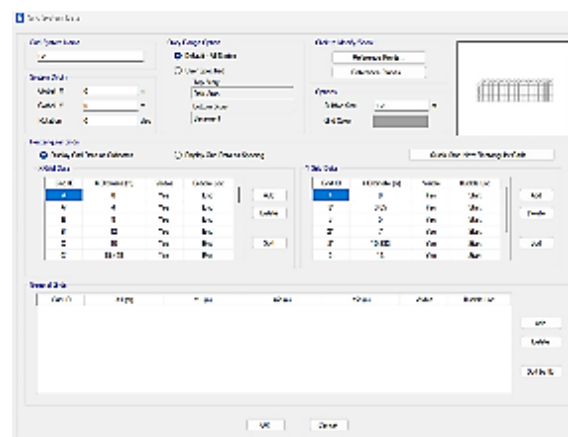
Gambar 4.2: Pengaturan standar awal model bangunan.

Setelah dilakukan pengaturan seperti gambar di atas lalu tekan OK, kemudian akan beralih ke pengaturan selanjutnya yaitu *New Model Quick Templates*. Pada pengaturan ini akan membuat *grid* pada bangunan yang akan kita bangun, dengan menentukan jarak pada setiap *grid line* x dan juga jarak setiap *grid line* y pada

bagian *Grid Dimentions* begitu pun dengan pengaturan jumlah tinggi tiap lantai bangunan pada bagian *Story Dimentions*. Bangunan yang digunakan dalam penelitian ini bukanlah bangunan yang simetris, oleh karena itu cara menentukan jarak sesuai dengan bangunan yang diteliti dengan memilih *Custom Grid Spacing* dan klik *Edit Grid Data* untuk menentukan ukuran *grid* bangunan arah x dan y, begitupun dengan jumlah tingkat yaitu dengan memilih *Custom Story Data* dan klik *Edit Story Data* untuk menentukan ukuran tinggi dari setiap lantai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.



Gambar 4.3: New model quick templates.



Gambar 4.4: Permodelan grid pada bangunan gedung.

Material Property Define Data

Material Name and Type

Material Name: Default Fc 20 MPa

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade:

Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'_c : 20 MPa

☐ Lightweight Concrete

Allow Strength Reduction Factor:

OK Cancel

Gambar 4.7: Material property data beton.

4.4.2.2 Baja

Klik menu *Define > Materials properties > Add New Materials*. Isi spesifikasi material baja yang digunakan sesuai dengan apa yang telah di tentukan seperti pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11.

Material Property Data

General Data

Material Name: KFTL43

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: Change ...

Material Notes: Modify/Show Notes ...

Material Weight and Mass

☒ Specific Weight Density ☐ Specific Mass Density

Weight per Unit Volume: 7850 kg/m³

Mass per Unit Volume: 7850 kg/m³

Material Property Data

Modulus of Elasticity, E : 200000000 N/m²

Coefficient of Thermal Expansion, A : 12.0E-6 /°C

Design Property Data

Modify Group Material Property Design Data

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data ...

Material Damping Properties ...

Time Dependent Properties ...

OK Cancel

Gambar 4.8: Spesifikasi material baja tulangan BJTD-40.

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: BJTD 40

Material Type: Rebar, Uniaxial

Grade:

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, f_y : 420 MPa

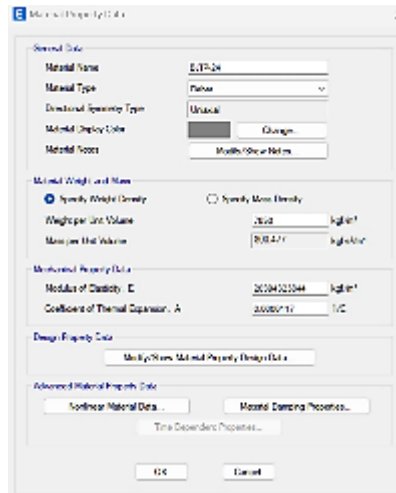
Minimum Tensile Strength, f_u : 570 MPa

Expected Yield Strength, f_{yE} : 420 MPa

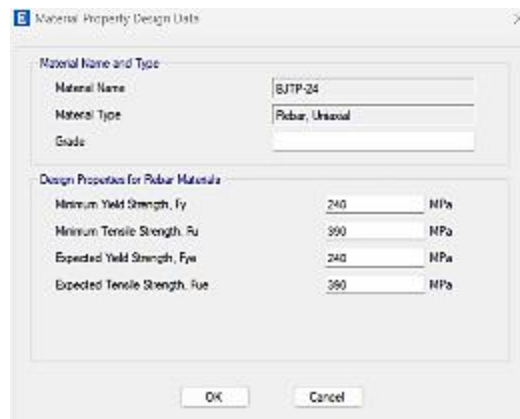
Expected Tensile Strength, f_{uE} : 570 MPa

OK Cancel

Gambar 4.9: Material property design data baja BJTD-40.



Gambar 4.10: Spesifikasi material baja tulangan BJTP-24.



Gambar 4.11: Material property design data baja BJTP-24.

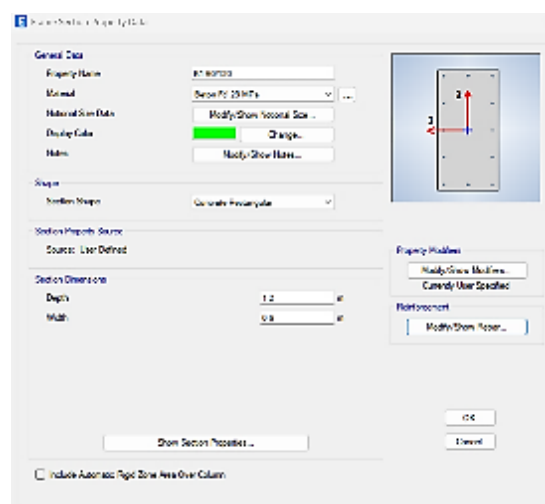
4.4.3 Mendefinisikan Penampang Struktur

Pendefinisian struktur bangunan ini dilakukan dengan memasukkan data dimensi dari struktur balok, kolom, pelat lantai, dan dinding geser ke dalam ETABS sesuai dengan data dimensi struktur bangunan yang telah dimiliki.

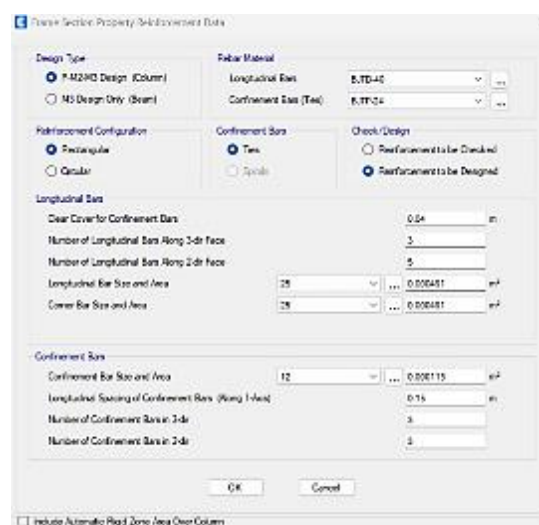
4.4.3.1 Mendefinisikan Penampang Kolom

Pendefinisian penampang kolom dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Frame Section* setelah muncul tampilan *frame Section* kemudian pilih *Add New Property*. Setelah memilih *Add New Property* akan muncul tampilan dari *Frame Property Shape Type*, kemudian pada tampilan itu

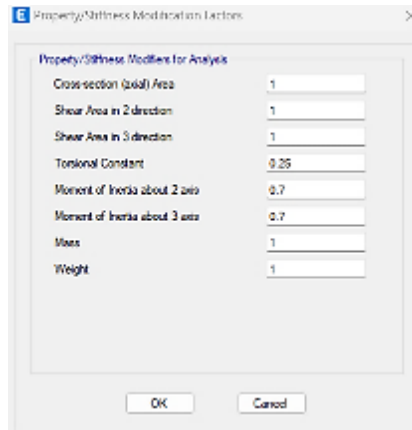
pada pilihan *Concrete* pilih *Rectangular Concrete*. Pada layer *Rectangular Concrete* masukkan data dimensi dan material yang digunakan. Untuk pendefinisian kolom rubah penggunaan tipe *frame* menjadi *Coloumn* dengan cara klik *Modify / Show Rebar*, setelah muncul tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada bagian *Design Type* pilih *P-M2-M3 Design (Column)*, kemudian klik *Modify / Show Modifiers* dan isi data tulangan sesuai dengan yang telah di tentukan sebelumnya, untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 4.12, 4.13, dan Gambar 4.14.



Gambar 4.12: Pendefinisian *frame section* K1.



Gambar 4.13: Pendefinisian tulangan pada K1.

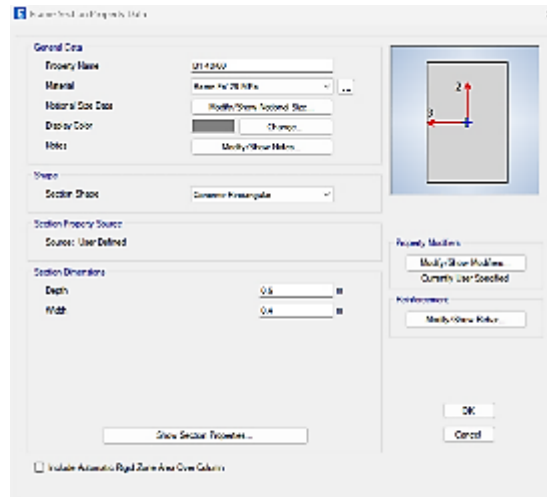


Gambar 4.14: *Input set modifiers K1.*

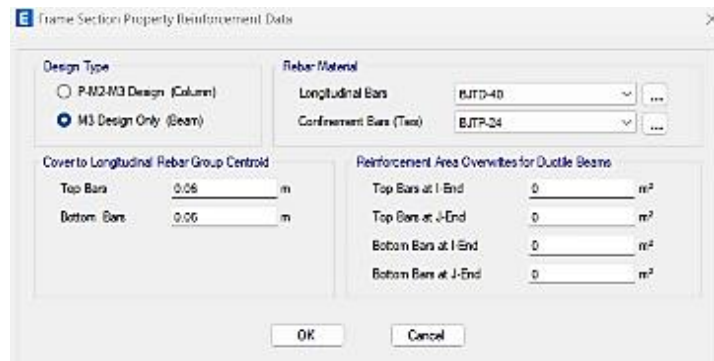
Lakukan cara yang sama untuk membuat semua dari penampang kolom yang diperlukan untuk permodelan bangunan yang akan diteliti.

4.4.3.2 Mendefinisikan Penampang Balok

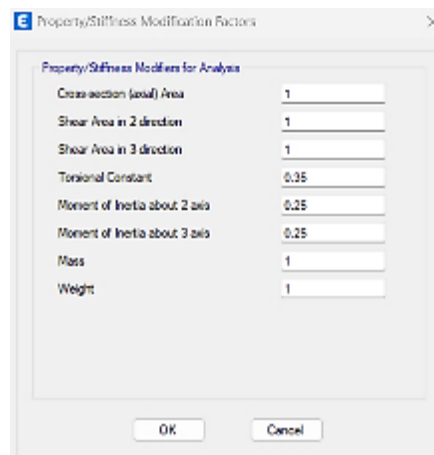
Pendefinisian penampang balok dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Frame Section* setelah muncul tampilan *frame Section* kemudian pilih *Add New Property*. Setelah memilih *Add New Property* akan muncul tampilan dari *Frame Property Shape Type*, kemudian pada tampilan itu pada pilihan *Concrete* pilih *Rectangular Concrete*. Pada layer *Rectangular Concrete* masukkan data dimensi dan material yang digunakan. Untuk pendefinisian balok menggunakan tipe frame *Beam* dengan cara klik *Modify / Show Rebar*, setelah muncul tampilan *Frame Section Property Reinforcement Data* pada bagian *Design Type* pilih *M3 Design Only (Beam)*, kemudian klik *Modify / Show Modifiers* dan isi data tulangan sesuai dengan yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.15, Gambar 4.16, dan Gambar 4.17.



Gambar 4.15: Pendefinisian *frame section* B1.



Gambar 4.16: Pendefinisian tulangan pada B1.

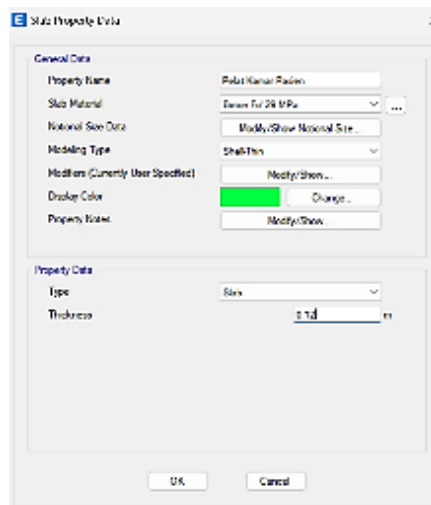


Gambar 4.17: *Input set modifiers* B1.

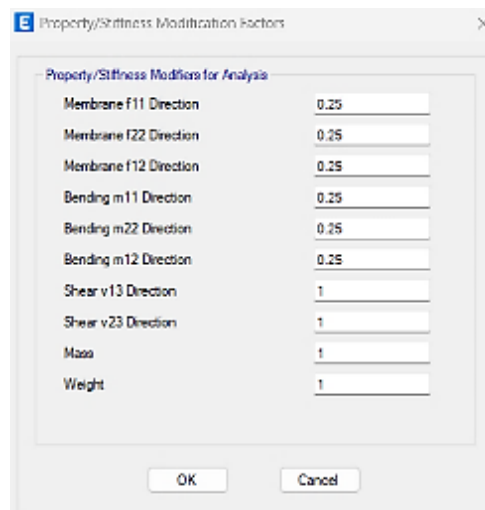
Lakukan cara yang sama untuk membuat semua dari penampang balok yang diperlukan untuk permodelan bangunan yang akan diteliti.

4.4.3.3 Mendefinisikan Penampang Pelat

Pendefinisian pelat lantai dilakukan dengan cara klik *Define > Section Properties > Slab Section* setelah muncul tampilan *Slab Section* kemudian pilih *Add New Property*. Pada tampilan *Slab Property Data* isi data pelat lantai sesuai dengan yang telah ditentukan, kemudian klik *Modify / Show Modifiers* dan isi data seperti Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.



Gambar 4.18: Pendefinisian *slab property data* pelat kamar pasien.

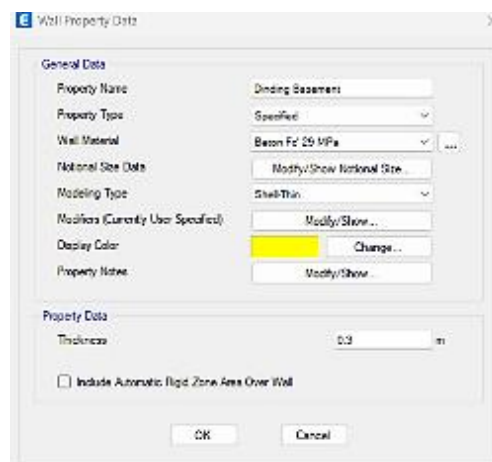


Gambar 4.19: *Input set modifiers* pelat kamar pasien.

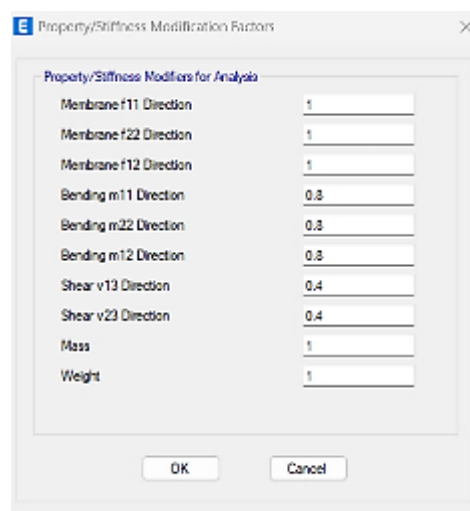
Lakukan cara yang sama untuk membuat semua dari penampang pelat yang diperlukan untuk permodelan bangunan yang akan diteliti.

4.4.3.4 Mendefinisikan Dinding *Basement*

Pendefinisian dinding *basement* dilakukan dengan cara klik *Define* > *Section Properties* > *Wall Section* setelah muncul tampilan *Wall Section* kemudian pilih *Add New Property*. Pada tampilan *Wall Property Data* isi data dinding *basement* sesuai dengan yang telah ditentukan, kemudian klik *Modify / Show Modifiers* dan isi data seperti Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



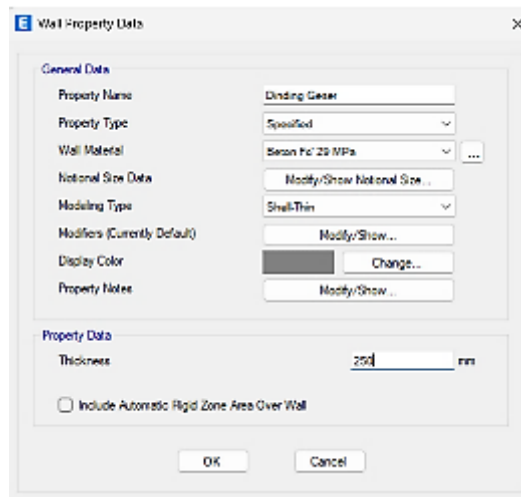
Gambar 4.20: Pendefinisian *wall property data* dinding *basement*.



Gambar 4.21: *Input set modifiers* dinding *basement*.

4.4.3.5 Mendefinisikan Dinding Geser (*Shear Wall*)

Pemodelan pada dinding geser dapat dilakukan dengan cara klik *define > section properties > wall section* kemudian pilih *add new properties* lalu isi data dinding geser sesuai dengan Gambar 4.22.

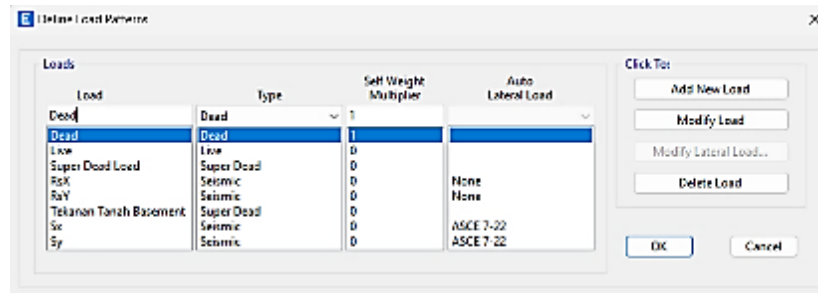


Gambar 4.22: *Wall property* data dinding geser.

4.4.4 Menetapkan Pembebanan Pada Struktur

Pembebanan pada bangunan dilakukan untuk pengaplikasian beban pada struktur bangunan secara nyata untuk di analisis. Pembebanan yang akan diberikan pada bangunan yang akan di teliti berupa beban mati (*Dead Load*), beban mati tambahan (*Super Imposed Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), dan beban lateral atau beban gempa. Pendefinisian pembebanan dapat dilihat sebagai berikut.

Pendefinisian pembebanan pada *Load Patterns* dilakukan dengan cara klik *Define - Load patterns*. Setelah muncul tampilan *Define Load Patterns* kemudian isi data-data pembebanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23: Pembebanan bangunan pada *Load Patterns*.

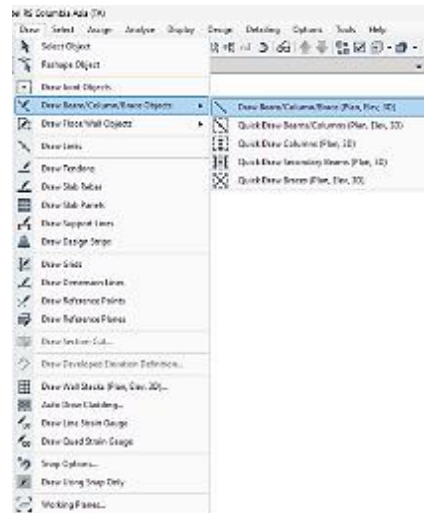
Jika diperhatikan pada Gambar 4.23 terdapat beban gempa arah x (RsX) dan beban arah y (RsY) tidak memiliki *Auto Lateral Load* sendiri, dikarenakan menggunakan data respon spektrum yang akan diinput ke *software*. Pembebanan gempa ini harus sesuai dengan data yang telah didapatkan pada situs <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.

4.4.5 Pemodelan Struktur Bangunan

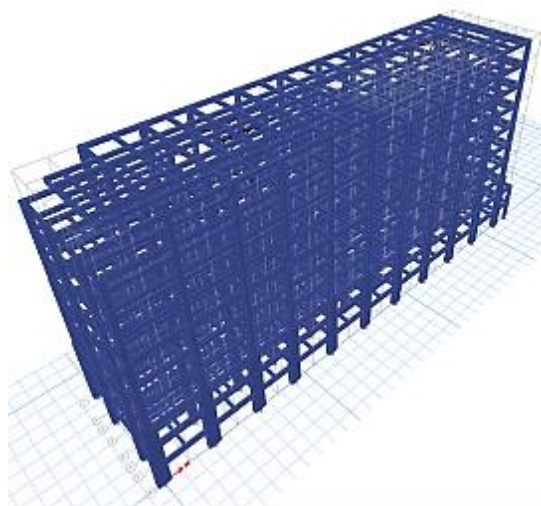
Pembuatan model struktur bangunan yang dianalisis dilakukan setelah selesainya pendefinisian dari struktur balok, kolom, plat lantai dan juga dinding *basement*. Pemodelan struktur bangunan dilakukan sesuai dengan gambar acuan pemodelan bangunan.

4.4.5.1 Pemodelan Kolom dan Balok

Permodelan balok dan kolom dapat dilakukan dengan cara klik *Draw > Draw Beam/Column/Brace Objects >* kemudian pilih *tools* yang sesuai dengan keperluan permodelan yang akan dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan gambar 4.25.



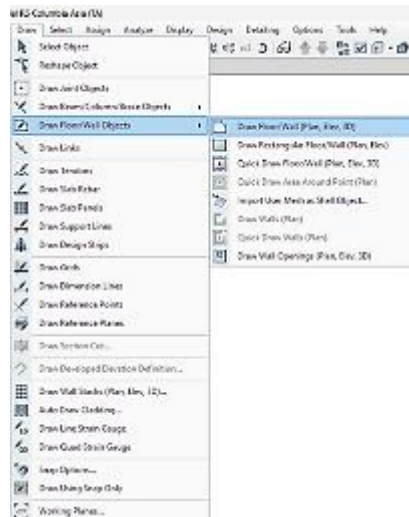
Gambar 4.24: Cara melakukan permodelan kolom dan balok.



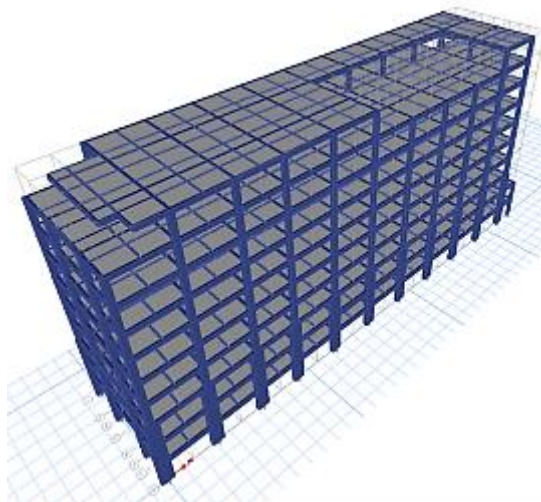
Gambar 4.25: Hasil dari pemodelan struktur kolom dan balok.

4.4.5.2 Pemodelan Pelat Lantai dan Pelat Atap

Permodelan pelat lantai dan plat atap dapat dilakukan dengan cara klik *Draw* > *Draw Floor/Wall Objects* > kemudian pilih *tools* yang sesuai dengan keperluan permodelan yang akan dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27.



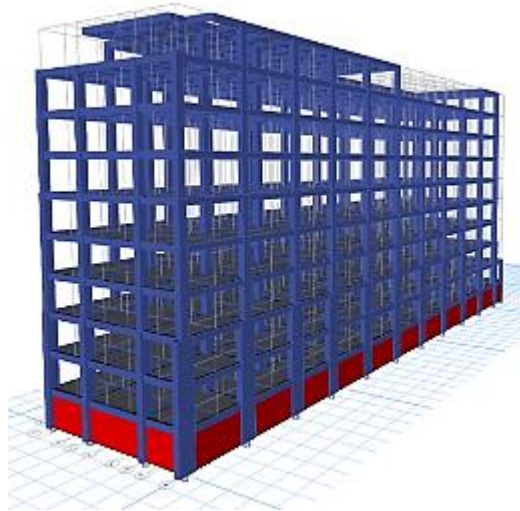
Gambar 4.26: Cara melakukan permodelan pelat lantai dan pelat atap.



Gambar 4.27: Hasil dari pemodelan pelat lantai dan pelat atap.

4.4.5.3 Pemodelan Dinding *Basement*

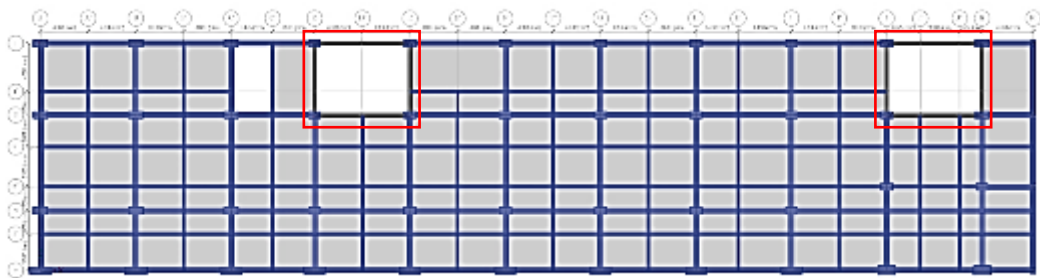
Permodelan pada dinding *basement* sama halnya dengan permodelan dari permodelan pelat. Permodelan dinding *basement* dapat dilakukan dengan cara klik *Draw – Draw Floor/Wall Objects* – kemudian pilih *tools* yang sesuai dengan keperluan permodelan yang akan dilakukan. Hasil dari permodelan dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.28.



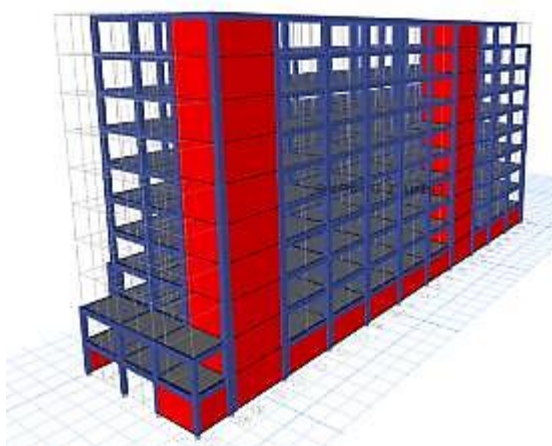
Gambar 4.28: Hasil dari pemodelan dinding *basement*.

4.4.5.4 Pemodelan Dinding Geser (*Shear Wall*)

Pemodelan dinding geser dilakukan dengan cara klik *quick draw walls* > pada *type of area* pilih *pier* dan pada *property* pilih dinding geser > kemudian gambarkan pada tepi-tepi *core lift* yang dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.



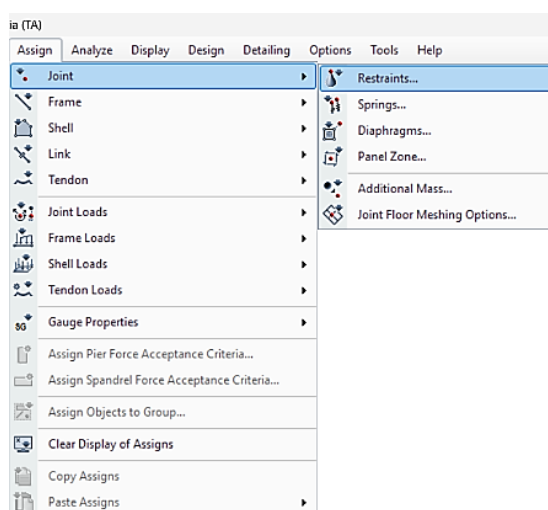
Gambar 4.29: Tampak atas posisi dinding geser.



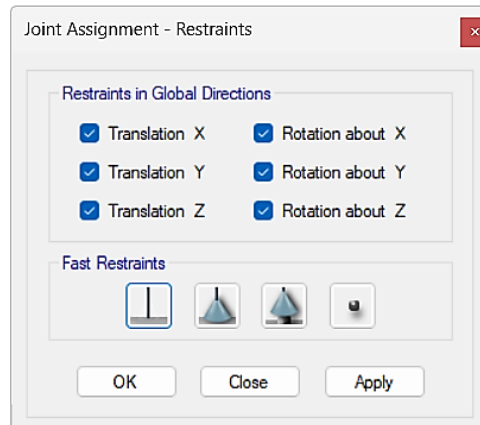
Gambar 4.30: Hasil dari pemodelan dinding geser.

4.4.5.5 Membuat *Joint Restraint*

Setelah semua permodelan struktur telah dilakukan maka selanjutnya adalah menentukan jenis dari *Joint Restraint* yang digunakan pada bangunan yang akan diteliti. Menentukan *joint Restrain* dilakukan dengan cara *Select* semua *joint* pada bagian paling bawah permodelan struktur kemudian klik *Assign –Joint – Restraints*. Setelah muncul tampilan *Joint Assignmnet-Restraint* kemudian pilih perlekatan jepit. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32.



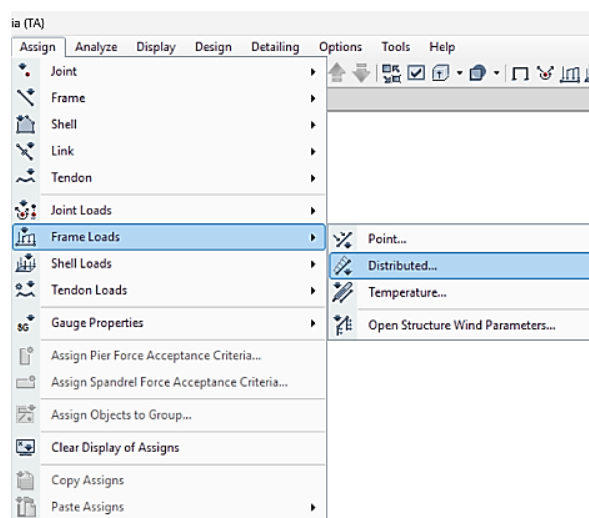
Gambar 4.31: Cara menentukan *joint restraints*.



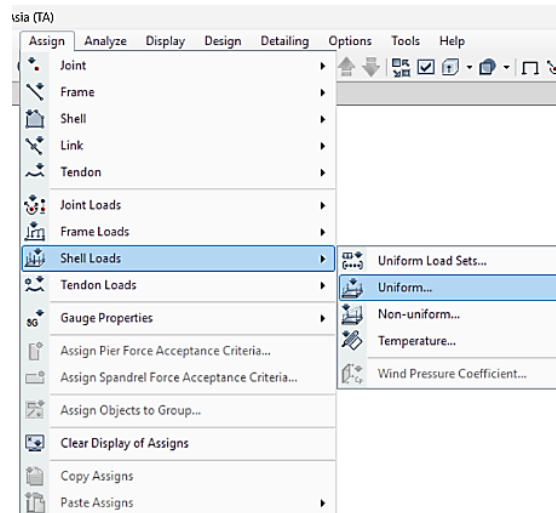
Gambar 4.32: Pilihan dari *joint restraints*.

4.4.6 Input Pembebanan

Langkah untuk menginput beban pada balok dengan cara pilih menu *assign* > *frame loads* > *distributed* dan langkah untuk input beban pada pelat lantai dengan cara pilih menu *assign* > *shell loads* > *uniform* dan isi beban yang digunakan sesuai dengan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, dan Tabel 4.3.



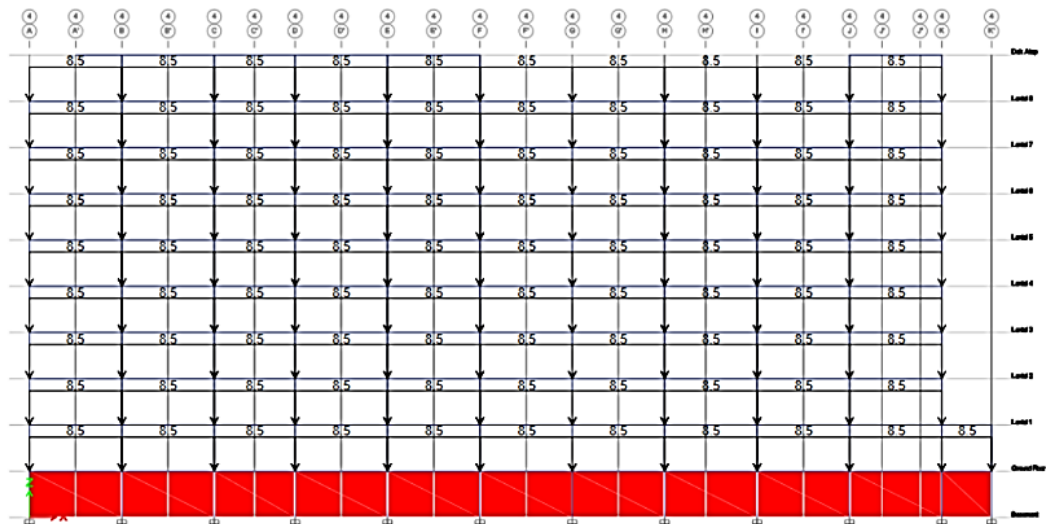
Gambar 4.33: Cara memasukkan beban mati tambahan pada balok.



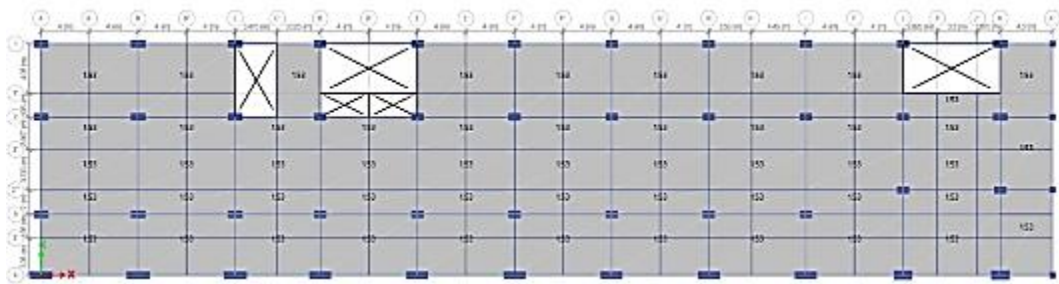
Gambar 4.34: Cara memasukkan beban mati tambahan pada pelat lantai.

4.4.6.1 Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Input beban mati tambahan pada balok dan pelat lantai dapat dilihat pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36.



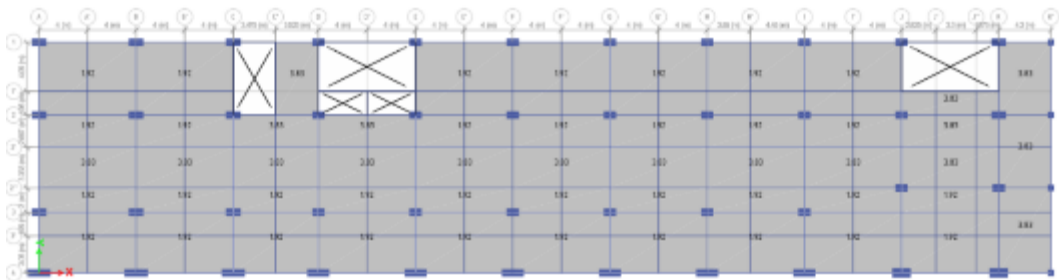
Gambar 4.35: Input beban mati tambahan pada balok.



Gambar 4.36: Input beban mati tambahan pada pelat lantai.

4.4.6.2 Beban Hidup (*Live Load*)

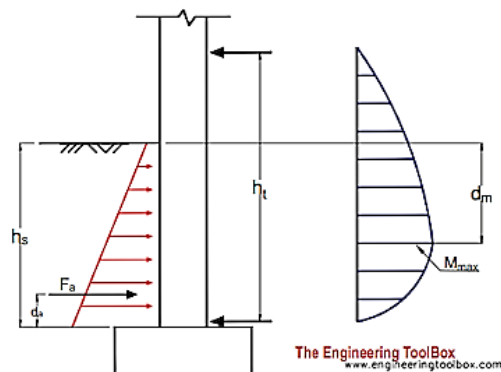
Input beban hidup pada pelat lantai dapat dilihat pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37: Input beban hidup pada pelat lantai.

4.4.6.3 Beban Tekanan Tanah Pada Dinding *Basement*

Ilustrasi gaya yang bekerja pada pada dinding *basement* di Rumah Sakit *Columbia Asia* dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 4.38.



Gambar 4.38: Ilustrasi gaya yang bekerja pada dinding *basement*.

Adapun data yang diketahui adalah sebagai berikut.

Berat jenis tanah, γ	= 15 kN/m ³
Sudut geser tanah, ϕ	= 30°
Tinggi dinding <i>basement</i> , H	= 3,40 m
Koefisien gempa horizontal, k_h	= 0,30
Koefisien gempa vertikal, k_v	= 0,15

Perhitungan yang akan digunakan untuk menghitung tekanan dinding *basement* pada ETABS V22 adalah sebagai berikut.

- Menghitung K_A :

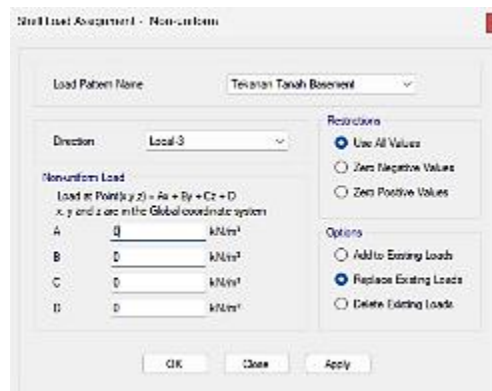
$$K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$$K_A = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30}$$

$$K_A = 0,333$$

- Menghitung nilai C dan D pada *software* ETABS V22

Nilai C dan D pada ETABS V22 dapat dicari dengan cara yang ditunjukkan pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39: Data tekanan tanah pada ETABS.

Dari Gambar 4.39 didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$(X, Y, Z), P = A_X + B_Y + C_Z + D$$

$$A + B = 0$$

$$P = C_Z + D$$

$Z = 0 = K_A \cdot \gamma \cdot H = C \cdot 0 + D$, maka didapatkan nilai D sebagai berikut.

$$D = K_A \cdot \gamma \cdot H$$

$Z = 0 = C_Z + K_A \cdot \gamma_Z$, maka didapatkan nilai C sebagai berikut

$$C = -K_A \cdot \gamma$$

Kemudian substitusikan data yang diketahui diatas kedalam persamaan nilai C dan D sebagai berikut.

$$C = -K_A \cdot \gamma$$

$$C = -0,333 \times 15 \text{ kN/m}^3$$

$$C = -4,995 \text{ kN/m}^3$$

$$D = K_A \cdot \gamma \cdot H$$

$$D = 0,333 \times 15 \text{ kN/m}^3 \times 3,40 \text{ m}$$

$$D = 16,983 \text{ kN/m}^2$$

Setelah melakukan perhitungan nilai C dan D secara manual, kemudian input nilai C dan D kedalam parameter seperti pada Gambar 4.39.

Kemudian hitungan tekanan tanah dinamis menggunakan metode *Mononobe-Okabe* sebagai berikut.

$$\Delta K_{AD} = 0,75 \times k_v$$

$$\Delta K_{AD} = 0,75 \times 0,15$$

$$\Delta K_{AD} = 0,112$$

$$K_{AD} = K_A + \Delta K_{AD}$$

$$K_{AD} = 0,333 + 0,112$$

$$K_{AD} = 0,455$$

Hitung P_D (*uniform dynamic pressure*)

$$P_D = \frac{1}{2}[(1 - k_v)K_{AD} - K_A]\gamma H$$

$$P_D = \frac{1}{2}[(1 - 0,15) \times 0,455 - 0,333] \times 15 \text{ kN/m}^3 \times 3,40 \text{ m}$$

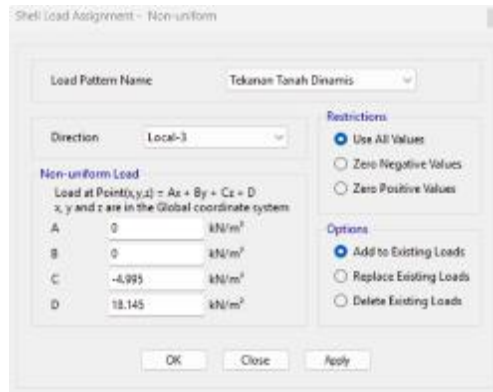
$$P_D = 1,162 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga,

$$D = 16,983 \text{ kN/m}^2 + 1,162 \text{ kN/m}^2$$

$$D = 18,145 \text{ kN/m}^2$$

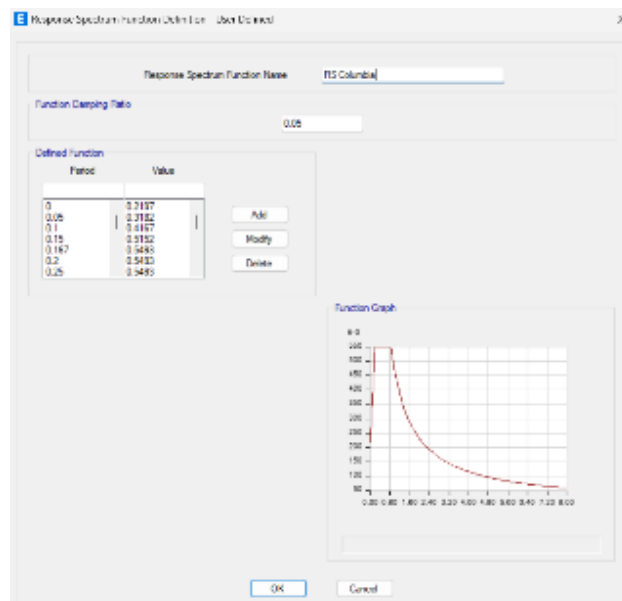
Kemudian masukkan data tekanan tanah dinamis menggunakan parameter C dan D pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40: Data tekanan tanah dinamis pada ETABS.

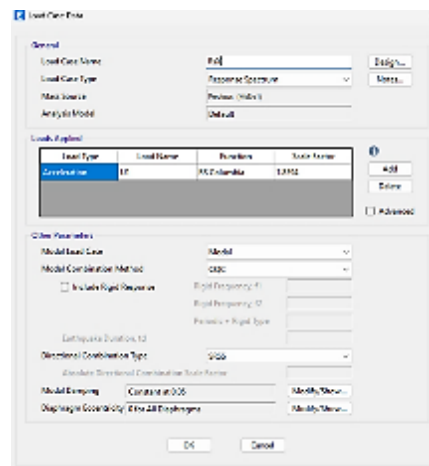
4.4.6.4 Beban Gempa Dari Respon Spektrum

Untuk menginput Respon Spektrum dilakukan dengan cara klik *Define > Function > Response Spectrum*. Setelah muncul tampilan dari *Define Response Spectrum Function* pada pilihan *Choose Function Tipe to Add* pilih *From File* lalu Klik *Add New Function*. Setelah memilih *Add New Function* kemudian klik *Browse* lalu pilih file dalam format (.txt) dari *software Notepad* yang berisi data spektrum dari Rumah Sakit Columbia Asia. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.40.



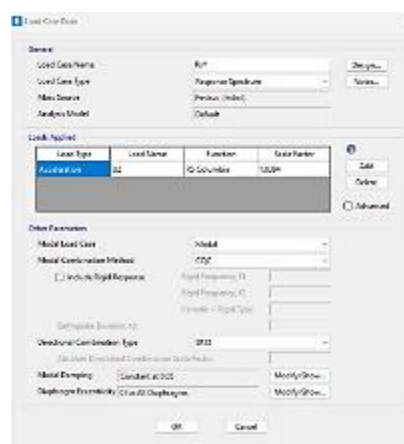
Gambar 4.41: Penginputan data respons spektrum.

Setelah selesai input respon spektrum dari *function*, maka pembebanan pada struktur dilakukan dengan *load cases*. Pilih menu *define > load cases > add new case >* pada *load cases name* beri nama RsX > pilih *response spectrum* pada *load case type >* pada bagian *loads type*, pilih *acceleration*, lalu pada *load name* pilih U1 > pada *function* pilih RS Columbia > pada *scale factor* isi dengan angka 1,8394 (didapatkan dari $g \cdot I/R$) > klik tombol *add >* klik *ok*.



Gambar 4.42: Load case data gempa respon spektrum arah x.

Kembali ke kotak dialog *analysis case*, pilih RsX yang didefinisikan sebelumnya lalu klik tombol *add copy of load cases >* pada *load cases name* ubah menjadi RsY > pada *load name* ubah menjadi U2 > klik tombol *modify >* klik *ok*.

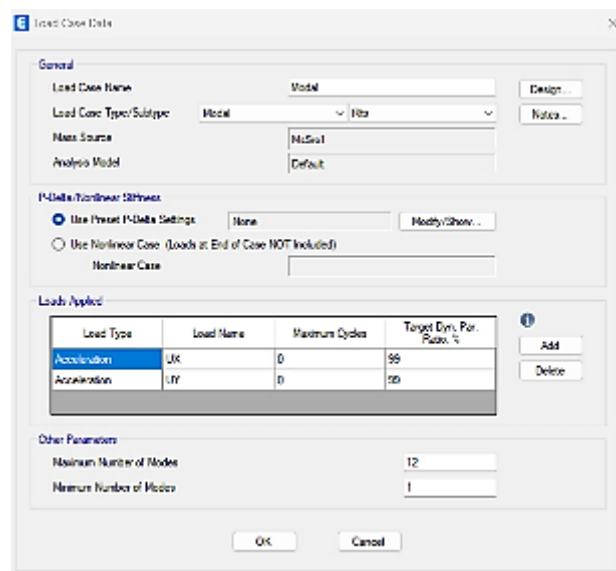


Gambar 4.43: Load case data gempa respon spektrum arah y.

4.4.7 Menentukan Analisis Modal

Analisis modal diperlukan untuk penentuan *mode* atau ragam vibrasi, juga untuk mengetahui waktu getar fundamental alami struktur. Langkahnya dengan cara klik *define* > *load cases* > pilih *modal* pada *cases* lalu klik tombol *modify/show case*.

Pada *load case type/subtype*, rubah *eigen* menjadi pilih *ritz* > kemudian pada *load type* pilih *acceleration*, karena input respons spektrum dalam satuan *g* atau percepatan gravitasi) > selanjutnya pada *load name* pilih UX (percepatan arah X) > klik *add*. Lakukan hal yang sama untuk UY (percepatan arah Y) dan klik *ok*.

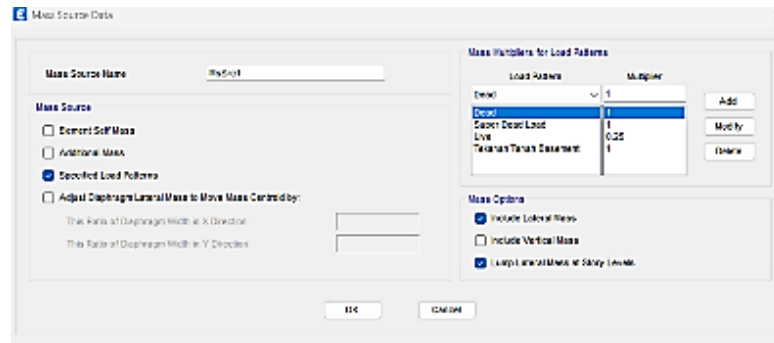


Gambar 4.44: *Load case data* untuk modal.

4.4.8 Menentukan Massa Struktur

Untuk percepatan gempa telah dimasukkan lewat *function* dan diberi faktor pengali lewat *analysis case* selanjutnya mendefinisikan massa struktur yang akan digunakan dalam analisis, karena apabila tidak tepat maka gaya atau beban yang dihasilkan juga bisa terlalu kecil atau bahkan terlalu besar. Definisi massa ini perlu diperhatikan, terutama untuk massa dari beban mati.

Langkah menentukannya dengan klik *define* > *mass source* > klik *modify/show mass source* kemudian sesuaikan parameter-parameter dengan mengikuti Gambar 4.44.

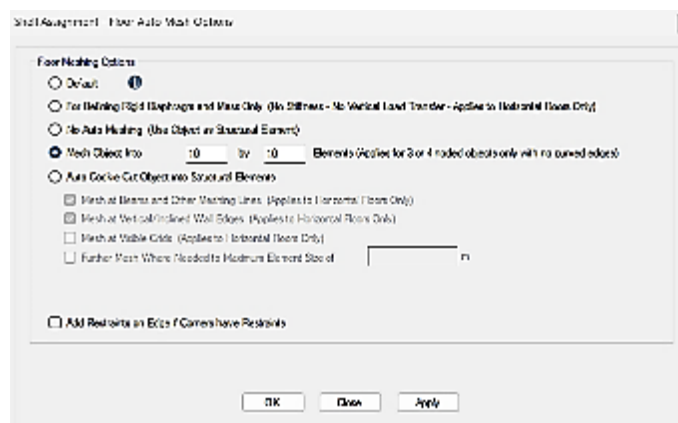


Gambar 4.45: Mass source data struktur.

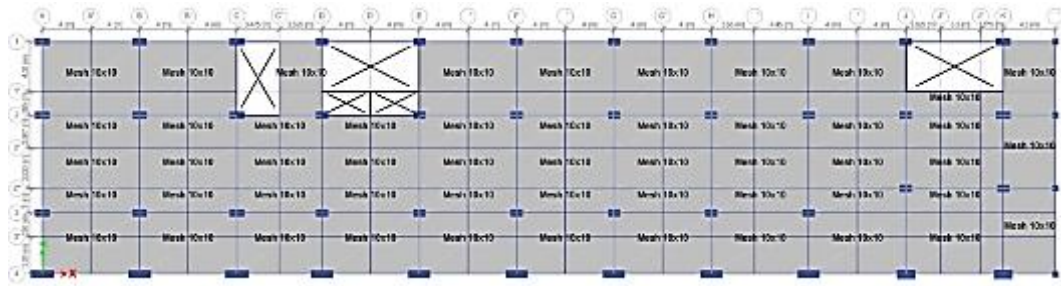
Berikan tanda centang pada *specified load patterns*, karena massa yang terhitung adalah dari beban mati tambahan (*Super Dead Load*) dan juga termasuk dari berat sendiri (*Dead*). Kemudian pada *load pattern* tambahkan beban *Dead*, *Super Dead Load*, Tekanan Tanah Basement dan *Live*. Kemudian pada *multiplier* isikan *Dead* 1, *Super Dead Load* 1, Tekanan Tanah Basement 1 dan *Live* 0,25.

4.4.9 Meshing Pelat Lantai

Dengan melakukan *meshing* pada pelat lantai maka beban yang bekerja akan dibagi rata sesuai dengan luasan meshing yang akan digunakan, sehingga membuat piasan beban menyeluruh terhadap *frame*. Langkahnya dengan pilih seluruh elemen pelat pada struktur > pilih menu *assign > shell > floor auto mesh options > pilih mesh object into > kemudian isi angka 10 pada kolom elements*.



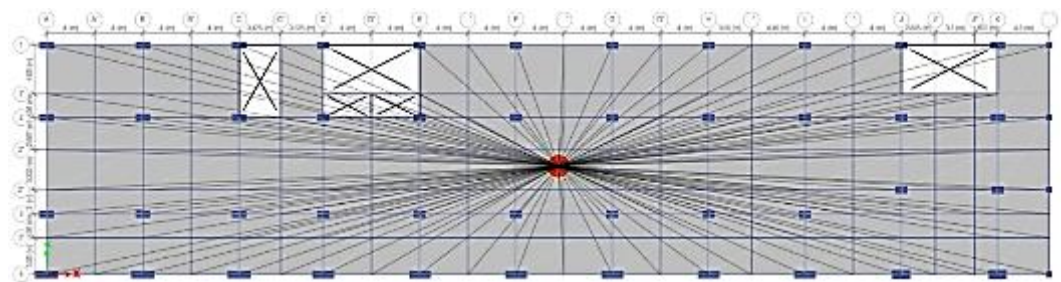
Gambar 4.46: Floor auto mesh option pelat lantai.



Gambar 4.47: Tampilan sesudah melakukan meshing pelat lantai.

4.4.10 Membuat Struktur Sebagai Diafragma

Dengan mendefinisikan sebagai diafragma maka struktur memiliki tingkat kekakuannya sendiri. Langkahnya dengan menyeleksi seluruh struktur yang dilakukan dengan cara pilih menu *select > select > all*. Kemudian pilih menu *assign > join > diaphragms* > pada *diaphragms assignments* pilih D1 > klik *apply* dan *ok*.



Gambar 4.48: Tampilan sesudah melakukan diafragma pada struktur.

4.4.11 Menambahkan Kombinasi Pembebanan

Untuk menambahkan kombinasi pembebanan pada ETABS, langkahnya klik menu *define > load combination > add new combo >* isi semua jenis kombinasi yang digunakan menurut SNI 1726:2019 yang mengacu pada Tabel 2.2 sebelumnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6: Kombinasi gempa biasa atau nominal untuk struktur atas.

Komb. 1	1.4	D	+	1.4	SDL	+	1.4	TTB			
Komb. 2	1.2	D	+	1.2	SDL	+	1.2	TTB	+	1.6	L
Komb. 3	1.310	D	+	1.000	L	+	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y

Tabel 4.6: *Lanjutan.*

Komb. 4	1.310	D	+	1.000	L	+	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y
Komb. 5	1.310	D	+	1.000	L	-	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y
Komb. 6	1.310	D	+	1.000	L	-	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y
Komb. 7	1.310	D	+	1.000	L	+	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y
Komb. 8	1.310	D	+	1.000	L	+	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y
Komb. 9	1.310	D	+	1.000	L	-	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y
Komb. 10	1.310	D	+	1.000	L	-	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y
Komb. 11	0.790	D	+	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y			
Komb. 12	0.790	D	+	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y			
Komb. 13	0.790	D	-	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y			
Komb. 14	0.790	D	-	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y			
Komb. 15	0.790	D	+	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y			
Komb. 16	0.790	D	+	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y			
Komb. 17	0.790	D	-	1.300	EQ _X	-	0.390	EQ _Y			
Komb. 18	0.790	D	-	1.300	EQ _X	+	0.390	EQ _Y			

Tabel 4.7: Kombinasi gempa kuat atau ultimit untuk struktur bawah.

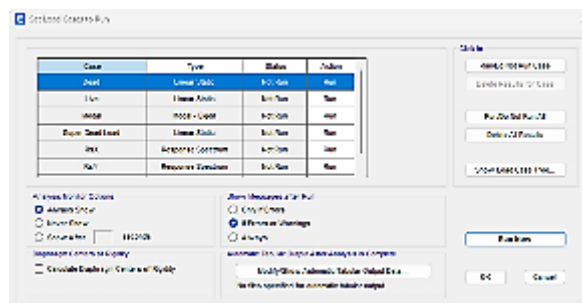
Komb. 1	1,4	D, SDL, TTB									
Komb. 2	1,2	D, SDL, TTB	+	1,6	L						
Komb. 3	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	+	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y
Komb. 4	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	+	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y
Komb. 5	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	-	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y
Komb. 6	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	-	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y
Komb. 7	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	+	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y
Komb. 8	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	+	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y
Komb. 9	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	-	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y
Komb. 10	1,310	D, SDL, TTB	+	1,000	L	-	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y
Komb. 11	0,790	D, SDL, TTB	+	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y			
Komb. 12	0,790	D, SDL, TTB	+	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y			
Komb. 13	0,790	D, SDL, TTB	-	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y			
Komb. 14	0,790	D, SDL, TTB	-	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y			
Komb. 15	0,790	D, SDL, TTB	+	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y			
Komb. 16	0,790	D, SDL, TTB	+	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y			
Komb. 17	0,790	D, SDL, TTB	-	3,000	EQ _X	+	0,900	EQ _Y			
Komb. 18	0,790	D, SDL, TTB	-	3,000	EQ _X	-	0,900	EQ _Y			

Pada kombinasi pembebanan, digunakan faktor redudansi (ρ) sebesar 1,30. Dikarenakan struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi.

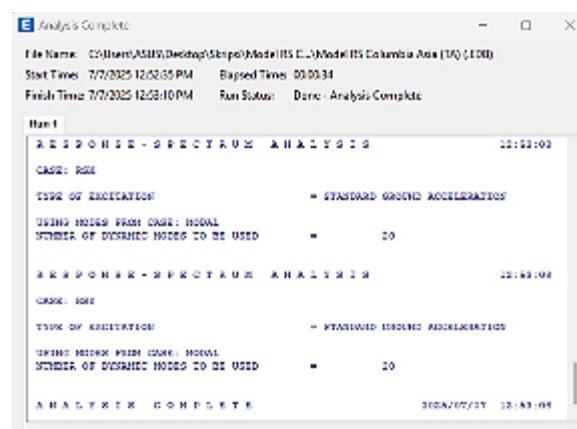
4.5 Melakukan Analisis Struktur

Setelah melakukan pemodelan dan memasukkan semua jenis pembebanan, langkah selanjutnya dapat mulai dilakukan analisis (*running*). Pilih menu *analyze > run analysis*.

Untuk analisis gempa respon spektrum ini membutuhkan analisis Modal, sehingga perlu diaktifkan terlebih dahulu. Agar lebih mudah, semua tipe analisis diaktifkan dengan cara klik *analyze > set load cases to run > pilih run/do not run all* sampai kolom *action* terbaca status *run* untuk semua tipe analisis. Selanjutnya klik *run now* untuk memulai analisis.



Gambar 4.49: Set load cases to run.



Gambar 4.50: ETABS analysis monitor.

4.6 Kontrol Analisis Dinamik Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, hasil analisa struktur harus dikontrol dengan batasan-batasan tertentu. Kontrol-kontrol tersebut antara lain:

- a. Kontrol Periode Struktur
- b. Kontrol *Base Shear*
- c. Kontrol Partisipasi Massa
- d. Kontrol Simpangan
- e. Kontrol P-Delta
- f. Kontrol Ketidakberaturan Struktur
- g. Kontrol Sistem Ganda

4.6.1 Kontrol Periode Struktur

Nilai waktu fundamental struktur awal bangunan (T_a) yang didapat dari hasil analisis model program struktur tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.12 dan periode fundamental pendekatan T_a yang ditentukan dari Pers. 2.21 dimana (h_n) adalah 35,95 m dan C_t dan x dapat diperoleh pada Tabel 2.11. Sehingga dapat dihitung sebagai berikut.

➤ SRPMK

$C_t = 0,466$ (untuk rangka beton pemikul momen)

$x = 0,9$ (untuk rangka beton pemikul momen)

Sehingga berdasarkan Pers. 2.21, maka didapatkan nilai T_a sebesar 1,1709 detik.

Berdasarkan pada SNI 1726:2019, periode getar struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan periode getar yang dihitung (C_u) seperti pada Tabel 2.12 didapat nilai sebagai berikut.

$C_u = 1,4$ (Tabel 2.12)

Sehingga berdasarkan Pers. 2.22 didapatkan nilai T_{Max} sebesar 1,639 detik.

Setelah dilakukan analisis, didapatkan nilai periode arah x dan y berdasarkan partisipasi massa terbesar yang terjadi pada ragam 1 dan 2 adalah:

$T_{CX} = 2,689 \text{ detik} > T_{Max} = 1,639 \text{ detik}$

$T_{CY} = 2,508 \text{ detik} > T_{Max} = 1,639 \text{ detik}$

Karena periode getar struktur gedung yang didapat dari hasil perhitungan T_{cx} dan T_{cy} lebih besar dari T_{Max} maka untuk perhitungan beban gempa pada struktur digunakan periode getar 1,639 detik

➤ Sistem Ganda

$C_t = 0,466$ (untuk rangka beton pemikul momen)

$\alpha = 0,75$ (untuk semua sistem struktur lainnya)

Sehingga berdasarkan Pers. 2.21, maka didapatkan nilai T_a sebesar 0,684 detik.

Berdasarkan pada SNI 1726:2019, perioda getar struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan perioda getar yang dihitung (C_u) seperti pada Tabel 2.12 didapat nilai sebagai berikut.

$C_u = 1,4$ (Tabel 2.12)

Sehingga berdasarkan Pers. 2.22 didapatkan nilai T_{Max} sebesar 0,957 detik.

Setelah dilakukan analisis, didapatkan nilai periode arah x dan y berdasarkan partisipasi massa terbesar yang terjadi pada ragam 1 dan 2 adalah:

$T_{CX} = 1,014 > T_{Max} = 0,957$ detik

$T_{CY} = 1,002 > T_{Max} = 0,957$ detik

Karena periode getar struktur gedung yang didapat dari hasil perhitungan T_{cx} lebih besar dari T_{Max} maka untuk perhitungan beban gempa pada struktur digunakan periode getar 0,957 detik.

4.6.2 Kontrol Base Shear

Perhitungan nilai gaya geser desain dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 dengan menghitung nilai koefisien respons seismik (C_s) terlebih dahulu sebagai berikut.

➤ SRPMK

Menghitung nilai C_s berdasarkan Pers. 2.27 dan didapatkan nilai sebesar 0,103 g.

Menghitung nilai C_{sMax} berdasarkan Pers. 2.30 dan didapatkan nilai sebesar 0,053 g.

Menghitung nilai C_{sMin} berdasarkan Pers. 2.28 dan didapatkan nilai sebesar 0,036 g.

Dari perhitungan untuk menentukan nilai koefisien respons seismik (C_s), maka digunakan nilai 0,053 g.

Untuk nilai K , jika nilai $T \leq 0,5$ maka distribusi gempanya 1, jika $T \geq 2,5$ maka distribusi gempanya 2, jika $0,5 < T < 2,5$ maka di interpolasikan. Nilai T pada struktur (SRPMK) gedung Rumah Sakit Columbia Asia Medan ini yaitu 1,639 detik, jadi harus di interpolasikan. Dan didapat nilai interpolasi sebesar 1,57.

Tabel 4.8: Distribusi gaya gempa statik arah x dan y (SRPMK).

Lantai	h_i	W_i	K	$W_i \times h_i^k$	C_{vxy}	F_x	F_y
ke -	(m)	(kg)		(kg.m)		(kg)	(kg)
Dak Atap	40.00	40890.37	1.57	13373580.54	0.124	5689.05	5689.05
Lantai 8	36.00	84297.65		23367928.59	0.216	9940.59	9940.59
Lantai 7	32.00	80929.04		18647433.86	0.172	7932.52	7932.52
Lantai 6	28.00	80941.02		15123697.93	0.140	6433.54	6433.54
Lantai 5	24.00	86130.07		12634645.16	0.117	5374.71	5374.71
Lantai 4	20.00	88848.13		9789759.24	0.090	4164.51	4164.51
Lantai 3	16.00	88848.13		6896997.06	0.064	2933.94	2933.94
Lantai 2	12.00	93664.64		4628933.91	0.043	1969.12	1969.12
Lantai 1	8.00	102786.44		2688095.15	0.025	1143.50	1143.50
Ground Floor	4.00	128998.48		1136555.03	0.010	483.48	483.48
Basement	0.00	0.00		0.00	0.000	0.00	0.00
Total		876333.97		108287626.48	1.000	46064.96	46064.96

Tabel 4.8 merupakan distribusi gaya gempa statik arah x dan y pada struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan, untuk gaya geser statik arah x dan y sebesar 46064,96kg atau sebesar 451,90 kN.

Tabel 4.9: Gaya geser statik (SRPMK).

Story (Lantai)	Statik	
	V _x	V _y
	(kN)	(kN)
Dak Atap	55.81	55.81
Lantai 8	153.33	153.33
Lantai 7	231.14	231.14
Lantai 6	294.26	294.26
Lantai 5	346.98	346.98
Lantai 4	387.84	387.84
Lantai 3	416.62	416.62
Lantai 2	435.94	435.94
Lantai 1	447.15	447.15
Ground Floor	451.90	451.90
Basement	0.00	0.00

Tabel 4.9 merupakan hasil perhitungan gaya geser statik untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Tabel 4.10: Gaya geser statik nominal (SRPMK).

Story (Lantai)	85% Statik	
	V _x	V _y
	(kN)	(kN)
Dak Atap	47.44	47.44
Lantai 8	130.33	130.33
Lantai 7	196.47	196.47
Lantai 6	250.12	250.12
Lantai 5	294.94	294.94
Lantai 4	329.66	329.66
Lantai 3	354.13	354.13
Lantai 2	370.55	370.55
Lantai 1	380.08	380.08
Ground Floor	384.11	384.11
Basement	0.00	0.00

Tabel 4.10 merupakan hasil perhitungan gaya geser statik nominal untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Tabel 4.11: Geser dinamik (SRPMK).

Story (Lantai)	Dinamik	
	VD _x	VD _y
	(kN)	(kN)
Dak Atap	864.21	762.40
Lantai 8	1641.91	1515.56
Lantai 7	2098.25	1992.82
Lantai 6	2403.14	2312.52
Lantai 5	2686.69	2578.83
Lantai 4	2098.25	1992.82
Lantai 3	2403.14	2312.52
Lantai 2	2686.69	2578.83
Lantai 1	3007.47	2863.27
Ground Floor	3347.01	3171.54
Basement	0.00	0.00

Tabel 4.11 merupakan hasil perhitungan *output* dari ETABS gaya geser dinamik untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.1, hasil akhir gaya geser dinamik struktur terhadap pembebanan nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam satu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85% dari nilai respons ragam pertama atau dapat disimpulkan $V_{\text{dinamik}} \geq 0,85 V_{\text{statik}}$. Nilai perbandingan $V_{\text{dinamik}} \geq 0,85 V_{\text{statik}}$ dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Nilai perbandingan gaya gempa (SRPMK).

Gaya Gempa	V _x	V _y
	(kN)	(kN)
Statik	451.90	451.90
85% Statik	384.11	384.11
Dinamik	3347.01	3171.54
Keterangan	OK	OK

Nilai V_{dinamik} telah memenuhi lebih dari 85% V_{statik} , sehingga tidak perlu dilakukan pembesaran gaya gempa.

➤ Sistem Ganda

Menghitung nilai C_s berdasarkan Pers. 2.27 dan didapatkan nilai sebesar 0,103 g.

Menghitung nilai C_{sMax} berdasarkan Pers. 2.30 dan didapatkan nilai sebesar 0,090 g.

Menghitung nilai C_{sMin} berdasarkan Pers. 2.28 dan didapatkan nilai sebesar 0,036 g.

Dari perhitungan untuk menentukan nilai koefisien respons seismik (C_s), maka digunakan nilai 0,090 g.

Untuk nilai K , jika nilai $T \leq 0,5$ maka distribusi gempanya 1, jika $T \geq 2,5$ maka distribusi gempanya 2, jika $0,5 < T < 2,5$ maka di interpolasikan. Nilai T pada struktur sistem ganda Rumah Sakit Columbia Asia Medan ini yaitu 0,958 detik, jadi harus di interpolasikan. Dan didapat nilai interpolasi sebesar 1,23.

Tabel 4.13: Distribusi gaya gempa statik arah x dan y sistem ganda.

Lantai	h_i	W_i	K	$W_i \times h_i^k$	C_{vxy}	F_x	F_y
ke -	(m)	(kg)		(kg.m)		(kg)	(kg)
Dak Atap	40.00	49113.37	1.23	4570826.52	0.11	9926.45	9926.45
Lantai 8	36.00	94981.17		7766055.10	0.19	16865.51	16865.51
Lantai 7	32.00	91612.56		6481206.92	0.16	14075.21	14075.21
Lantai 6	28.00	91624.55		5501049.70	0.14	11946.61	11946.61
Lantai 5	24.00	96516.98		4794745.36	0.12	10412.73	10412.73
Lantai 4	20.00	99285.15		3942204.29	0.10	8561.27	8561.27
Lantai 3	16.00	99285.15		2996711.89	0.07	6507.95	6507.95
Lantai 2	12.00	103925.27		2202636.40	0.05	4783.46	4783.46
Lantai 1	8.00	113031.10		1455521.00	0.04	3160.95	3160.95
Ground Floor	4.00	137495.60		755386.38	0.02	1640.47	1640.47
Basement	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Total		976870.90		40466343.54	1.00	87880.61	87880.61

Tabel 4.13 merupakan distribusi gaya gempa statik arah x dan y pada struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan, untuk gaya geser statik arah x dan y sebesar 87880,61 kg atau sebesar 862,11 kN.

Tabel 4.14: Gaya geser statik sistem ganda.

Story (Lantai)	Statik	
	V _x	V _y
	(kN)	(kN)
Dak Atap	97.38	97.38
Lantai 8	262.83	262.83
Lantai 7	400.91	400.91
Lantai 6	518.10	518.10
Lantai 5	620.25	620.25
Lantai 4	704.24	704.24
Lantai 3	768.08	768.08
Lantai 2	815.01	815.01
Lantai 1	846.02	846.02
Ground Floor	862.11	862.11
Basement	0.00	0.00

Tabel 4.14 merupakan hasil perhitungan gaya geser statik untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan Sistem Ganda.

Tabel 4.15: Gaya geser statik nominal sistem ganda.

Story (Lantai)	85% Statik	
	V _x	V _y
	(kN)	(kN)
Dak Atap	94.77	94.77
Lantai 8	255.79	255.79
Lantai 7	390.16	390.16
Lantai 6	504.22	504.22
Lantai 5	603.63	603.63
Lantai 4	685.37	1678.01
Lantai 3	747.50	747.50
Lantai 2	793.17	793.17
Lantai 1	823.34	823.34
Ground Floor	839.01	839.01
Basement	0.00	0.00

Tabel 4.15 merupakan hasil perhitungan gaya geser statik nominal untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan Sistem Ganda.

Tabel 4.16: Gaya geser dinamik sistem ganda.

Story (Lantai)	Dinamik	
	VD _x	VD _y
	(kN)	(kN)
Dak Atap	1291.83	1185.87
Lantai 8	3061.35	2707.46
Lantai 7	4447.44	3879.01
Lantai 6	5551.48	4798.18
Lantai 5	6459.97	5566.97
Lantai 4	4447.44	3879.01
Lantai 3	5551.48	4798.18
Lantai 2	6459.97	5566.97
Lantai 1	7194.81	6214.63
Ground Floor	7760.38	6743.60
Basement	0.00	0.00

Tabel 4.16 merupakan hasil perhitungan *output* dari ETABS gaya geser dinamik untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan Sistem Ganda.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.1, hasil akhir gaya geser dinamik struktur terhadap pembebanan nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam satu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85% dari nilai respons ragam pertama atau dapat disimpulkan $V_{\text{dinamik}} \geq 0,85 V_{\text{statik}}$. Nilai perbandingan $V_{\text{dinamik}} \geq 0,85 V_{\text{statik}}$ dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Nilai perbandingan gaya gempa sistem ganda.

Gaya Gempa	V _x	V _y
	(kN)	(kN)
Statik	862.11	862.11
85% Statik	732.79	732.79
Dinamik	7760.38	6743.60
Keterangan	OK	OK

Nilai V_{dinamik} telah memenuhi lebih dari 85% V_{statik} , sehingga tidak perlu dilakukan pembesaran gaya gempa.

4.6.3 Kontrol Partisipasi Massa

Pada SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1 jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus mencakup partisipasi massa 100% digunakan 20 pola ragam getar dalam analisis dinamik yang dilakukan dengan partisipasi massa yang di sumbungkan oleh pola ragam getar masing-masing. Hasil partisipasi bangunan bisa dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.20.

➤ SRPMK

Tabel 4.18: Nilai partisipasi massa bangunan (SRPMK).

Ragam	Periode	UX	UY	SUM UX	SUM UY	RZ	SUM RZ
Modal	detik	%	%	%	%	%	%
1	2.689	0.00%	66.72%	0.00%	66.72%	0.02%	0.02%
2	2.508	10.81%	0.00%	10.81%	66.72%	52.85%	52.87%
3	2.349	50.42%	0.00%	61.22%	66.72%	10.18%	63.05%
4	0.906	0.00%	10.19%	61.22%	76.91%	0.05%	63.10%
5	0.834	0.44%	0.05%	61.67%	76.97%	9.68%	72.78%
6	0.755	10.61%	0.00%	72.27%	76.97%	0.52%	73.30%
7	0.496	0.00%	4.36%	72.27%	81.33%	0.01%	73.31%
8	0.456	0.04%	0.05%	72.31%	81.38%	4.55%	77.86%
9	0.407	5.70%	0.00%	78.01%	81.38%	0.08%	77.94%
10	0.328	0.00%	2.51%	78.01%	83.89%	0.01%	77.95%
11	0.300	0.00%	0.04%	78.01%	83.94%	2.73%	80.68%
12	0.258	3.02%	0.00%	81.03%	83.94%	0.00%	80.68%
13	0.234	0.00%	1.76%	81.03%	85.69%	0.00%	80.68%
14	0.213	0.01%	0.01%	81.05%	85.71%	1.88%	82.56%
15	0.178	0.34%	1.16%	81.39%	86.87%	0.02%	82.58%
16	0.177	1.56%	0.26%	82.96%	87.12%	0.02%	82.60%
17	0.159	0.05%	0.00%	83.00%	87.12%	1.45%	84.05%
18	0.140	0.00%	0.80%	83.01%	87.92%	0.00%	84.05%
19	0.130	1.08%	0.00%	84.09%	87.92%	0.20%	84.25%
20	0.124	0.38%	0.00%	84.47%	87.93%	0.62%	84.87%
21	0.115	0.00%	1.05%	84.47%	88.98%	0.02%	84.89%
22	0.103	0.19%	0.01%	84.66%	88.99%	0.72%	85.61%
23	0.098	0.69%	0.00%	85.35%	88.99%	0.24%	85.85%
24	0.091	0.00%	0.91%	85.35%	89.90%	0.02%	85.87%
25	0.082	0.31%	0.02%	85.66%	89.92%	0.46%	86.33%
26	0.077	0.66%	0.00%	86.31%	89.92%	0.42%	86.75%
27	0.056	2.54%	0.06%	88.85%	89.98%	0.17%	86.92%
28	0.052	0.02%	9.71%	88.87%	99.70%	0.43%	87.35%
29	0.031	0.01%	0.30%	88.88%	99.99%	12.60%	99.95%

Tabel 4.18: *Lanjutan.*

Ragam	Periode	UX	UY	SUM UX	SUM UY	RZ	SUM RZ
Modal	detik	%	%	%	%	%	%
30	0.023	11.02%	0.00%	99.91%	100.00%	0.00%	99.95%
31	0.012	0.01%	0.00%	99.91%	100.00%	0.00%	99.95%
32	0.01	0.00%	0.00%	99.91%	100.00%	0.00%	99.96%
33	0.009	0.06%	0.00%	99.97%	100.00%	0.00%	99.96%
34	0.008	0.00%	0.00%	99.97%	100.00%	0.00%	99.96%
35	0.007	0.03%	0.00%	100.00%	100.00%	0.00%	99.96%

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 4.18 menunjukkan pada ragam ke-35, syarat partisipasi massa telah terpenuhi sebesar 100%. Karena terdapat mode dengan perbedaan frekuensi $\leq 15\%$ yang signifikan, maka sesuai SNI 1726:2019 penggabungan respons dilakukan dengan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*). bukan dengan metode SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*).

➤ Sistem Ganda

Tabel 4.19: Nilai partisipasi massa bangunan sistem ganda.

Ragam	Periode	UX	UY	SUM UX	SUM UY	RZ	SUM RZ
Modal	detik	%	%	%	%	%	%
1	1.014	2.34%	47.98%	2.34%	47.98%	12.74%	12.74%
2	0.758	42.35%	9.56%	44.68%	57.53%	9.60%	22.34%
3	0.622	16.64%	5.42%	61.32%	62.95%	39.94%	62.28%
4	0.239	0.98%	12.58%	62.30%	75.54%	4.95%	67.23%
5	0.172	9.44%	6.65%	71.75%	82.19%	4.10%	71.33%
6	0.144	8.89%	2.25%	80.63%	84.44%	9.27%	80.60%
7	0.112	0.32%	3.20%	80.96%	87.65%	2.23%	82.83%
8	0.082	2.38%	3.30%	83.34%	90.95%	1.06%	83.89%
9	0.073	0.73%	1.15%	84.07%	92.09%	0.91%	84.80%
10	0.069	2.39%	0.75%	86.46%	92.85%	3.55%	88.35%
11	0.056	0.01%	1.49%	86.47%	94.33%	0.37%	88.72%
12	0.053	1.63%	0.63%	88.10%	94.97%	0.59%	89.31%
13	0.046	0.80%	1.27%	88.89%	96.24%	0.23%	89.54%
14	0.046	0.10%	0.00%	88.99%	96.24%	1.77%	91.31%
15	0.041	0.65%	0.75%	89.64%	96.99%	0.11%	91.42%
16	0.04	0.77%	0.00%	90.41%	96.99%	0.34%	91.76%
17	0.037	0.10%	0.78%	90.51%	97.77%	0.01%	91.77%
18	0.036	0.02%	0.41%	90.53%	98.18%	0.63%	92.40%
19	0.034	0.00%	0.03%	90.54%	98.21%	0.32%	92.72%

Tabel 4.19: *Lanjutan.*

Ragam	Periode	UX	UY	SUM UX	SUM UY	RZ	SUM RZ
Modal	detik	%	%	%	%	%	%
20	0.033	1.24%	0.12%	91.77%	98.32%	0.09%	92.82%
21	0.032	0.02%	1.29%	91.79%	99.61%	0.29%	93.11%
22	0.029	0.28%	0.29%	92.07%	99.90%	1.25%	94.36%
23	0.028	0.47%	0.06%	92.55%	99.96%	1.58%	95.93%
24	0.027	0.50%	0.02%	93.04%	99.99%	1.19%	97.13%
25	0.025	0.08%	0.00%	93.12%	99.99%	0.22%	97.35%
26	0.024	0.56%	0.00%	93.68%	99.99%	0.01%	97.35%
27	0.022	0.75%	0.00%	94.44%	99.99%	0.35%	97.70%
28	0.02	5.46%	0.00%	99.90%	99.99%	0.08%	97.79%
29	0.016	0.00%	0.00%	99.90%	99.99%	1.63%	99.42%
30	0.011	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	0.00%	99.42%

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 4.19 menunjukkan pada ragam ke-30, syarat partisipasi massa telah terpenuhi sebesar 100%. Karena terdapat mode dengan perbedaan frekuensi $\leq 15\%$ yang signifikan, maka sesuai SNI 1726:2019 penggabungan respons dilakukan dengan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*). bukan dengan metode SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*).

4.6.4 Kontrol Simpangan

Berdasarkan SNI 1726:2019 kontrol simpangan dan syarat simpangan harus ditentukan berdasarkan Pasal 7.8.6. Sedangkan untuk syarat simpangan antar lantai ijin pada Pasal 7.12.1 SNI 1726:2019, dengan mengacu pada Tabel 2.13 untuk nilai Δ merupakan selisih antara defleksi yang ditunjukkan pada analisis struktur dengan defleksi akibat pembesaran.

Berdasarkan analisis *software* ETABS, didapat simpangan arah X dan Y untuk struktur Rumah Sakit Columbia Asia Medan dengan SRPMK dapat dilihat pada Tabel 4.20 untuk SRPMK. Kemudian Tabel 4.21 dan Gambar 4.51 untuk SRPMK dan sistem ganda.

➤ SRPMK

Tabel 4.20: Simpangan arah x dan arah y (SRPMK).

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
Dak Atap	67.01	78.70	4.04	3.86	4000	14.82	14.15	60.00	OK
Lantai 8	62.97	74.84	6.06	6.11	4000	22.23	22.39	60.00	OK
Lantai 7	56.91	68.73	8.07	8.36	4000	29.58	30.65	60.00	OK
Lantai 6	48.84	60.37	9.80	9.97	4000	35.95	36.54	60.00	OK
Lantai 5	39.04	50.40	10.49	10.21	4000	38.46	37.45	60.00	OK
Lantai 4	28.55	40.19	10.64	11.29	4000	39.02	41.39	60.00	OK
Lantai 3	17.90	28.90	9.05	11.84	4000	33.18	43.43	60.00	OK
Lantai 2	8.85	17.06	5.82	10.44	4000	21.35	38.28	60.00	OK
Lantai 1	3.03	6.62	2.96	6.30	4000	10.86	23.09	60.00	OK
Ground Floor	0.07	0.32	0.07	0.32	4000	0.25	1.18	60.00	OK
Basement	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	OK

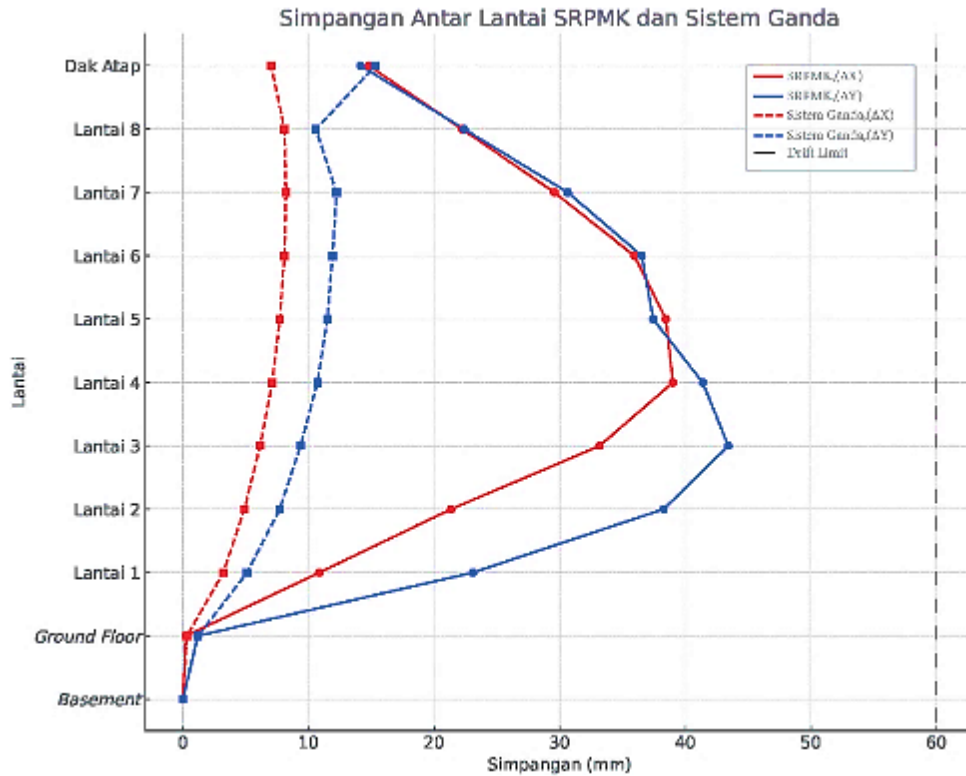
➤ Sistem Ganda

Tabel 4.21: Simpangan arah x dan arah y sistem ganda.

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
Dak Atap	16.59	26.09	1.92	4.18	4000	7.03	15.31	60.00	OK
Lantai 8	14.68	21.92	2.21	2.89	4000	8.09	10.60	60.00	OK
Lantai 7	12.47	19.03	2.24	3.34	4000	8.22	12.23	60.00	OK
Lantai 6	10.23	15.69	2.21	3.25	4000	8.09	11.91	60.00	OK
Lantai 5	8.02	12.44	2.11	3.14	4000	7.72	11.50	60.00	OK
Lantai 4	5.92	9.31	1.94	2.92	4000	7.11	10.71	60.00	OK
Lantai 3	3.98	6.39	1.68	2.56	4000	6.15	9.37	60.00	OK
Lantai 2	2.30	3.83	1.34	2.10	4000	4.90	7.71	60.00	OK
Lantai 1	0.96	1.73	0.88	1.39	4000	3.22	5.11	60.00	OK
Ground Floor	0.09	0.33	0.09	0.33	4000	0.32	1.22	60.00	OK

Tabel 4.21: Lanjutan.

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
Basement	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	OK



Gambar 4.51: Grafik simpangan antar lantai SRPMK dan sistem ganda.

4.6.5 Kontrol P-Delta

Berdasarkan Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, pengaruh efek P-Delta dapat diabaikan terhadap geser tingkat, momen elemen struktur, dan simpangan antar tingkat, apabila koefisien stabilitas (θ) yang dihitung sesuai persamaan pada pasal tersebut tidak melebihi 0,10 yang dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Tabel 4.23 untuk SRPMK, kemudian Tabel 4.24 dan Tabel 4.25 untuk sistem ganda.

➤ SRPMK

Tabel 4.22: P-Delta arah x (SRPMK).

Story	h	Δ_x	P	V_x	θ_x	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
Dak Atap	4000	14.82	9202.74	1292.49	0.0072	0.0909	OK
Lantai 8	4000	22.23	11111.64	3061.46	0.0055	0.0909	OK
Lantai 7	4000	29.58	23264.30	4447.63	0.0106	0.0909	OK
Lantai 6	4000	35.95	35779.97	5551.47	0.0158	0.0909	OK
Lantai 5	4000	38.46	53527.56	6460.04	0.0217	0.0909	OK
Lantai 4	4000	39.02	60442.07	4447.63	0.0362	0.0909	OK
Lantai 3	4000	33.18	69356.57	5551.47	0.0283	0.0909	OK
Lantai 2	4000	21.35	87198.42	6460.04	0.0196	0.0909	OK
Lantai 1	4000	10.86	107060.30	7194.68	0.0110	0.0909	OK
Ground Floor	4000	0.25	126585.05	7760.24	0.0003	0.0909	OK
Basement	4000	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0909	OK

Tabel 4.23: P-Delta arah y (SRPMK).

Story	h	Δ_y	P	V_y	θ_y	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
Dak Atap	4000	14.15	9202.74	762.40	0.0116	0.0909	OK
Lantai 8	4000	22.39	11111.64	1515.56	0.0112	0.0909	OK
Lantai 7	4000	30.65	23264.30	1992.82	0.0244	0.0909	OK
Lantai 6	4000	36.54	35779.97	2312.52	0.0385	0.0909	OK
Lantai 5	4000	37.45	53527.56	2578.83	0.0530	0.0909	OK
Lantai 4	4000	41.39	60442.07	1992.82	0.0856	0.0909	OK
Lantai 3	4000	43.43	69356.57	2312.52	0.0888	0.0909	OK
Lantai 2	4000	38.28	87198.42	2578.83	0.0883	0.0909	OK
Lantai 1	4000	23.09	107060.30	2863.27	0.0589	0.0909	OK
Ground Floor	4000	1.18	126585.05	3171.54	0.0032	0.0909	OK
Basement	4000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.0909	OK

➤ Sistem Ganda

Tabel 4.24: P-Delta arah x sistem ganda.

Story	h	Δ_x	P	V_x	θ_x	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
Dak Atap	4000	7.029	9202.74	1369.53	0.0032	0.0909	OK
Lantai 8	4000	8.085	27012.21	3139.05	0.0047	0.0909	OK
Lantai 7	4000	8.224	45065.44	4525.14	0.0056	0.0909	OK
Lantai 6	4000	8.089	63481.68	5629.18	0.0062	0.0909	OK
Lantai 5	4000	7.722	82101.30	6537.67	0.0066	0.0909	OK
Lantai 4	4000	7.113	100892.67	4525.14	0.0108	0.0909	OK
Lantai 3	4000	6.145	119684.03	5629.18	0.0089	0.0909	OK
Lantai 2	4000	4.902	138385.78	6537.67	0.0071	0.0909	OK
Lantai 1	4000	3.216	159106.02	7272.51	0.0048	0.0909	OK
Ground Floor	4000	0.319	179769.21	7838.08	0.0005	0.0909	OK
Basement	4000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.0909	OK

Tabel 4.25: P-Delta arah y sistem ganda.

Story	h	Δ_y	P	V_y	θ_y	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
Dak Atap	4000	15.308	9202.74	1263.01	0.0076	0.0909	OK
Lantai 8	4000	10.600	27012.21	2785.07	0.0070	0.0909	OK
Lantai 7	4000	12.228	45065.44	3956.56	0.0095	0.0909	OK
Lantai 6	4000	11.913	63481.68	4875.87	0.0106	0.0909	OK
Lantai 5	4000	11.495	82101.30	5644.66	0.0114	0.0909	OK
Lantai 4	4000	10.714	100892.67	3956.56	0.0186	0.0909	OK
Lantai 3	4000	9.368	119684.03	4875.87	0.0157	0.0909	OK
Lantai 2	4000	7.715	138385.78	5644.66	0.0129	0.0909	OK
Lantai 1	4000	5.108	159106.02	6292.33	0.0088	0.0909	OK
Ground Floor	4000	1.225	179769.21	6821.45	0.0022	0.0909	OK
Basement	4000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.0909	OK

4.6.6 Kontrol Ketidakberaturan Struktur

Ketidakberaturan struktur yang ditinjau pada RS Columbia Asia Medan adalah ketidakberaturan struktur horizontal dan ketidakberaturan struktur vertikal.

4.6.6.1 Ketidakberaturan Horizontal

➤ SRPMK

Tabel 4.26: Ketidakberaturan horizontal arah X (SRPMK).

Story	dA	dA _i	dB	dB _i	d _{MAX}	d _{AVG}	1,2d _{AVG}	1,4d _{AVG}	Ketidakberaturan Torsi
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak Atap	45.32	3.21	30.15	2.14	3.21	2.68	3.21	3.75	Torsi A
Lantai 8	42.11	4.05	28.01	3.22	4.05	3.64	4.36	5.09	-
Lantai 7	38.06	4.28	24.79	3.41	4.28	3.85	4.61	5.38	-
Lantai 6	33.78	5.67	21.38	4.02	5.67	4.85	5.81	6.78	-
Lantai 5	28.11	5.22	17.36	3.57	5.22	4.40	5.27	6.15	-
Lantai 4	22.89	6.04	13.79	3.29	6.04	4.67	5.60	6.53	Torsi A
Lantai 3	16.85	4.97	10.50	3.12	4.97	4.05	4.85	5.66	Torsi A
Lantai 2	11.88	3.98	7.38	2.64	3.98	3.31	3.97	4.63	Torsi A
Lantai 1	7.90	3.72	4.74	2.01	3.72	2.87	3.44	4.01	Torsi A
Ground Floor	4.18	4.18	2.73	2.73	4.18	3.46	4.15	4.84	Torsi A

Tabel 4.27: Ketidakberaturan horizontal arah Y (SRPMK).

Story	dA	dA _i	dB	dB _i	d _{MAX}	d _{AVG}	1,2d _{AVG}	1,4d _{AVG}	Ketidakberaturan Torsi
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak Atap	52.34	2.47	33.20	2.15	2.47	2.31	2.77	3.23	-
Lantai 8	49.87	3.75	31.05	2.61	3.75	3.18	3.82	4.45	-
Lantai 7	46.12	4.37	28.44	3.14	4.37	3.76	4.51	5.26	-
Lantai 6	41.75	5.25	25.30	3.50	5.25	4.38	5.25	6.13	Torsi A
Lantai 5	36.50	5.22	21.80	3.55	5.22	4.39	5.26	6.14	-
Lantai 4	31.28	5.17	18.25	3.15	5.17	4.16	4.99	5.82	Torsi A
Lantai 3	26.11	5.56	15.10	3.35	5.56	4.46	5.35	6.24	Torsi A
Lantai 2	20.55	5.52	11.75	3.65	5.52	4.59	5.50	6.42	Torsi A
Lantai 1	15.03	7.43	8.10	4.60	7.43	6.02	7.22	8.42	Torsi A
Ground Floor	7.60	7.60	3.50	3.50	7.60	5.55	6.66	7.77	Torsi A

➤ Sistem Ganda

Tabel 4.28: Ketidakberaturan horizontal arah X (sistem ganda).

Story	dA	dA _i	dB	dB _i	d _{MAX}	d _{AVG}	1,2d _{AVG}	1,4d _{AVG}	Ketidakberaturan Torsi
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak Atap	38.42	2.95	25.18	2.11	2.95	2.53	3.04	3.54	-
Lantai 8	35.47	3.34	23.07	2.45	3.34	2.90	3.47	4.05	-
Lantai 7	32.13	3.01	20.62	2.27	3.01	2.64	3.17	3.70	-
Lantai 6	29.12	3.27	18.35	2.54	3.27	2.91	3.49	4.07	-
Lantai 5	25.85	3.42	15.81	2.39	3.42	2.91	3.49	4.07	-
Lantai 4	22.43	3.56	13.42	2.68	3.56	3.12	3.74	4.37	Torsi A
Lantai 3	18.87	3.98	10.74	2.65	3.98	3.32	3.98	4.64	Torsi A
Lantai 2	14.89	3.77	8.09	2.49	3.77	3.13	3.76	4.38	-
Lantai 1	11.12	4.20	5.60	2.85	4.20	3.53	4.23	4.94	Torsi A
Ground Floor	6.92	6.92	2.75	2.75	6.92	4.84	5.80	6.77	Torsi B

Tabel 4.29: Ketidakberaturan horizontal arah Y (sistem ganda).

Story	dA	dA _i	dB	dB _i	d _{MAX}	d _{AVG}	1,2d _{AVG}	1,4d _{AVG}	Ketidakberaturan Torsi
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Dak Atap	41.27	3.05	27.34	2.17	3.05	2.61	3.13	3.65	-
Lantai 8	38.22	3.49	25.17	2.66	3.49	3.08	3.69	4.31	-
Lantai 7	34.73	3.83	22.51	2.91	3.83	3.37	4.04	4.72	Torsi A
Lantai 6	30.90	3.85	19.60	2.82	3.85	3.34	4.00	4.67	Torsi A
Lantai 5	27.05	3.61	16.78	2.54	3.61	3.08	3.69	4.31	-
Lantai 4	23.44	3.55	14.24	2.65	3.55	3.10	3.72	4.34	Torsi A
Lantai 3	19.89	3.99	11.59	2.72	3.99	3.36	4.03	4.70	Torsi A
Lantai 2	15.90	3.78	8.87	2.62	3.78	3.20	3.84	4.48	-
Lantai 1	12.12	4.12	6.25	2.75	4.12	3.44	4.12	4.81	Torsi A
Ground Floor	8.00	8.00	3.50	3.50	8.00	5.75	6.90	8.05	Torsi B

4.6.6.2 Ketidakberaturan Vertikal

➤ SRPMK

Tabel 4.30: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah X – SRPMK).

Story	h_{sx}	h	d_e	Δ	Story Drift	70%	Ket	80%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	69.22	253.82	0.063	0.044	Oke	0.051	0.048	Oke
Lantai 8	36000	4000	64.83	237.72	0.059	0.042	Oke	0.048	0.045	Oke
Lantai 7	32000	4000	58.52	214.57	0.054	0.038	Oke	0.043	0.040	Oke
Lantai 6	28000	4000	50.13	183.82	0.046	0.032	Oke	0.037	0.034	Oke
Lantai 5	24000	4000	39.95	146.49	0.037	0.026	Oke	0.029	0.027	Oke
Lantai 4	20000	4000	29.08	106.62	0.027	0.019	Oke	0.021	0.020	Oke
Lantai 3	16000	4000	18.11	66.40	0.017	0.012	Oke	0.013	0.012	Oke
Lantai 2	12000	4000	9.14	33.52	0.008	0.006	Oke	0.007	0.006	Oke
Lantai 1	8000	4000	3.12	11.45	0.003	0.002	Oke	0.002	0.002	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.08	0.28	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

Tabel 4.31: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah Y – SRPMK).

Story	h_{sx}	h	d_e	Δ	Story Drift	70%	Ket	80%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	78.77	288.82	0.072	0.051	Oke	0.058	0.054	Oke
Lantai 8	36000	4000	75.18	275.66	0.069	0.048	Oke	0.055	0.052	Oke
Lantai 7	32000	4000	69.32	254.16	0.064	0.044	Oke	0.051	0.048	Oke
Lantai 6	28000	4000	61.01	223.69	0.056	0.039	Oke	0.045	0.042	Oke
Lantai 5	24000	4000	50.92	186.70	0.047	0.033	Oke	0.037	0.035	Oke
Lantai 4	20000	4000	40.48	148.43	0.037	0.026	Oke	0.030	0.028	Oke
Lantai 3	16000	4000	28.95	106.16	0.027	0.019	Oke	0.021	0.020	Oke
Lantai 2	12000	4000	17.17	62.96	0.016	0.011	Oke	0.013	0.012	Oke
Lantai 1	8000	4000	6.65	24.37	0.006	0.004	Oke	0.005	0.005	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.38	1.39	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

Tabel 4.32: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah X – SRPMK).

Story	h_{sx}	h	d_e	Δ	Story Drift	60%	Ket	70%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	69.22	253.82	0.063	0.038	Oke	0.044	0.041	Oke
Lantai 8	36000	4000	64.83	237.72	0.059	0.036	Oke	0.042	0.039	Oke
Lantai 7	32000	4000	58.52	214.57	0.054	0.032	Oke	0.038	0.035	Oke
Lantai 6	28000	4000	50.13	183.82	0.046	0.028	Oke	0.032	0.030	Oke
Lantai 5	24000	4000	39.95	146.49	0.037	0.022	Oke	0.026	0.024	Oke
Lantai 4	20000	4000	29.08	106.62	0.027	0.016	Oke	0.019	0.017	Oke
Lantai 3	16000	4000	18.11	66.40	0.017	0.010	Oke	0.012	0.011	Oke
Lantai 2	12000	4000	9.14	33.52	0.008	0.005	Oke	0.006	0.005	Oke
Lantai 1	8000	4000	3.12	11.45	0.003	0.002	Oke	0.002	0.002	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.08	0.28	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

Tabel 4.33: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah Y – SRPMK).

Story	h_{sx}	h	d_e	Δ	Story Drift	70%	Ket	80%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	78.77	288.82	0.072	0.051	Oke	0.058	0.054	Oke
Lantai 8	36000	4000	75.18	275.66	0.069	0.048	Oke	0.055	0.052	Oke
Lantai 7	32000	4000	69.32	254.16	0.064	0.044	Oke	0.051	0.048	Oke
Lantai 6	28000	4000	61.01	223.69	0.056	0.039	Oke	0.045	0.042	Oke
Lantai 5	24000	4000	50.92	186.70	0.047	0.033	Oke	0.037	0.035	Oke
Lantai 4	20000	4000	40.48	148.43	0.037	0.026	Oke	0.030	0.028	Oke
Lantai 3	16000	4000	28.95	106.16	0.027	0.019	Oke	0.021	0.020	Oke
Lantai 2	12000	4000	17.17	62.96	0.016	0.011	Oke	0.013	0.012	Oke
Lantai 1	8000	4000	6.65	24.37	0.006	0.004	Oke	0.005	0.005	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.38	1.39	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

➤ Sistem Ganda

Tabel 4.34: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah X – sistem ganda).

Story	h_{sx}	h	de	Δ	Story Drift	70%	Ket	80%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	19.11	70.08	0.018	0.012	Oke	0.014	0.013	Oke
Lantai 8	36000	4000	16.70	61.22	0.015	0.011	Oke	0.012	0.011	Oke
Lantai 7	32000	4000	14.21	52.10	0.013	0.009	Oke	0.010	0.010	Oke
Lantai 6	28000	4000	11.68	42.84	0.011	0.007	Oke	0.009	0.008	Oke
Lantai 5	24000	4000	9.19	33.68	0.008	0.006	Oke	0.007	0.006	Oke
Lantai 4	20000	4000	6.79	24.91	0.006	0.004	Oke	0.005	0.005	Oke
Lantai 3	16000	4000	4.58	16.79	0.004	0.003	Oke	0.003	0.003	Oke
Lantai 2	12000	4000	2.65	9.72	0.002	0.002	Oke	0.002	0.002	Oke
Lantai 1	8000	4000	1.11	4.08	0.001	0.001	Oke	0.001	0.001	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.11	0.40	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

Tabel 4.35: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1a (arah Y – sistem ganda).

Story	h_{sx}	h	de	Δ	Story Drift	70%	Ket	80%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	44.34	#####	0.041	0.028	Oke	0.033	0.030	Oke
Lantai 8	36000	4000	39.84	#####	0.037	0.026	Oke	0.029	0.027	Oke
Lantai 7	32000	4000	34.14	#####	0.031	0.022	Oke	0.025	0.023	Oke
Lantai 6	28000	4000	28.30	#####	0.026	0.018	Oke	0.021	0.019	Oke
Lantai 5	24000	4000	22.46	82.34	0.021	0.014	Oke	0.016	0.015	Oke
Lantai 4	20000	4000	16.83	61.69	0.015	0.011	Oke	0.012	0.012	Oke
Lantai 3	16000	4000	11.54	42.30	0.011	0.007	Oke	0.008	0.008	Oke
Lantai 2	12000	4000	6.84	25.09	0.006	0.004	Oke	0.005	0.005	Oke
Lantai 1	8000	4000	2.99	10.96	0.003	0.002	Oke	0.002	0.002	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.36	1.31	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

Tabel 4.36: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah X – sistem ganda).

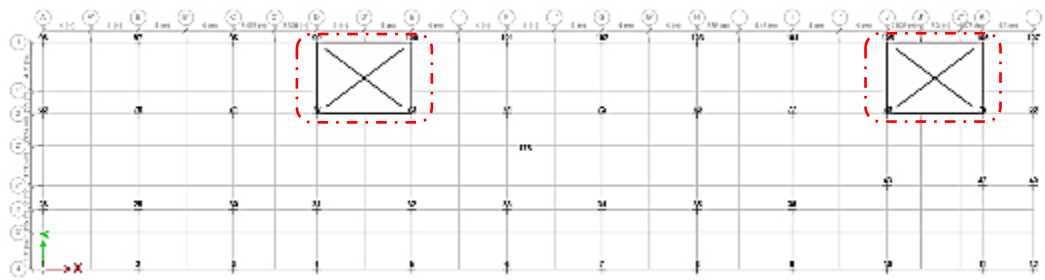
Story	h_{sx}	h	de	Δ	Story Drift	60%	Ket	70%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	19.11	70.08	0.018	0.011	Oke	0.012	0.011	Oke
Lantai 8	36000	4000	16.70	61.22	0.015	0.009	Oke	0.011	0.010	Oke
Lantai 7	32000	4000	14.21	52.10	0.013	0.008	Oke	0.009	0.008	Oke
Lantai 6	28000	4000	11.68	42.84	0.011	0.006	Oke	0.007	0.007	Oke
Lantai 5	24000	4000	9.19	33.68	0.008	0.005	Oke	0.006	0.005	Oke
Lantai 4	20000	4000	6.79	24.91	0.006	0.004	Oke	0.004	0.004	Oke
Lantai 3	16000	4000	4.58	16.79	0.004	0.003	Oke	0.003	0.003	Oke
Lantai 2	12000	4000	2.65	9.72	0.002	0.001	Oke	0.002	0.002	Oke
Lantai 1	8000	4000	1.11	4.08	0.001	0.001	Oke	0.001	0.001	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.11	0.40	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

Tabel 4.37: Cek ketidakberaturan kekakuan tipe 1b (arah Y – sistem ganda).

Story	h_{sx}	h	de	Δ	Story Drift	70%	Ket	80%	Rata-rata diatas tingkat	Ket
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)						
Dak Atap	40000	4000	78.77	288.82	0.072	0.051	Oke	0.058	0.054	Oke
Lantai 8	36000	4000	75.18	275.66	0.069	0.048	Oke	0.055	0.052	Oke
Lantai 7	32000	4000	69.32	254.16	0.064	0.044	Oke	0.051	0.048	Oke
Lantai 6	28000	4000	61.01	223.69	0.056	0.039	Oke	0.045	0.042	Oke
Lantai 5	24000	4000	50.92	186.70	0.047	0.033	Oke	0.037	0.035	Oke
Lantai 4	20000	4000	40.48	148.43	0.037	0.026	Oke	0.030	0.028	Oke
Lantai 3	16000	4000	28.95	106.16	0.027	0.019	Oke	0.021	0.020	Oke
Lantai 2	12000	4000	17.17	62.96	0.016	0.011	Oke	0.013	0.012	Oke
Lantai 1	8000	4000	6.65	24.37	0.006	0.004	Oke	0.005	0.005	Oke
Ground Floor	4000	4000	0.38	1.39	0.000	0.000	Oke	0.000	0.000	Oke

4.6.7 Kontrol Sistem Ganda

Sistem Ganda merupakan sistem struktur dimana beban lateral gempa dipikul bersama oleh dinding geser dan rangka dengan persyaratan sekurang-kurangnya 25% beban lateral dipikul oleh rangka. Oleh sebab itu, diperlukan pengecekan persentase pada reaksi perletakan kolom maupun dinding geser akibat gaya gempa.



Gambar 4.52: Joint label dinding geser pada basement.

Tabel 4.38: Joint reaction akibat gaya gempa dinamik pada dinding geser.

Story	Label	Gempa Arah X	Gempa Arah Y
		kN	kN
Basement	72	213.85	349.11
Basement	73	256.52	316.85
Basement	78	180.05	142.28
Basement	79	352.45	207.26
Basement	99	236.50	234.15
Basement	100	251.51	183.67
Basement	105	195.27	157.87
Basement	106	282.66	221.49
Total		1968.81	1812.68

Dari tabel diatas dapat ditentukan distribusi gaya gempa yang ditahan dinding geser dan SRPMK sebagai berikut.

- Gempa arah X

$$V_{X-Dinding Geser} = \frac{1968.81}{7760.38} \times 100\% = 25.37\%$$

$$V_{X-SRPMK} = 100\% - 25.37\% = 74.63\%$$

- Gempa arah Y

$$V_{Y-Dinding Geser} = \frac{1812.68}{6743.60} \times 100\% = 26.88\%$$

$$V_{Y-SRPMK} = 100\% - 26.88\% = 73.12\%$$

Syarat untuk sistem ganda nilai V_x atau V_y pada SRPMK $\geq 25\%$

$$V_X = 25.37\% \geq 25\% \text{ (Ok)}$$

$$V_Y = 26.88\% \geq 25\% \text{ (Ok)}$$

4.7 Perhitungan Volume

Berdasarkan gambar *shop drawing*, dilakukan perhitungan volume sebagai bahan perbandingan. Perhitungan mencakup volume beton dan volume penulangan pada seluruh elemen struktur utama, yaitu kolom, balok, dinding *basement*, dan dinding geser.

4.7.1 Perhitungan Volume Beton

Untuk menghitung volume beton dilakukan secara otomatis dengan *software* ETABS V22 ini. Hasil dari hitungan volume beton dapat dilihat pada Tabel 4.39 untuk SRPMK dan Tabel 4.41 untuk sistem ganda.

➤ SRPMK

Tabel 4.39: Perhitungan volume beton SRPMK.

Section	Object Type	Number Pieces	Length	Weight	Volume
			m	kN	m ³
K1 50/80	Kolom	9.00	36.00	338.92	14.12
K1 60/120	Kolom	9.00	36.00	610.05	25.42
K1 60/90	Kolom	9.00	36.00	457.54	19.06
K2 50/80	Kolom	24.00	96.00	903.78	37.66
K2 60/120	Kolom	18.00	72.00	1220.10	50.84
K2 60/90	Kolom	18.00	72.00	915.08	38.13
K4 50/70	Kolom	16.00	64.00	527.21	21.97
K4 60/80	Kolom	12.00	48.00	542.27	22.59
K4 60/100	Kolom	15.00	60.00	847.29	35.30
K5 50/70	Kolom	60.00	240.00	1977.02	82.38
K5 60/80	Kolom	45.00	180.00	2033.51	84.73
K5 60/100	Kolom	43.00	172.00	2428.91	101.20
K6 50/70	Kolom	8.00	32.00	263.60	10.98
K6 60/80	Kolom	6.00	24.00	271.13	11.30
K6 60/100	Kolom	1.00	4.00	56.49	2.35
K6 60/120	Kolom	4.00	16.00	271.13	11.30
K7 50/70	Kolom	9.00	36.00	296.55	12.36
K7 60/80	Kolom	9.00	36.00	406.70	16.95
K7 60/100	Kolom	9.00	36.00	508.38	21.18
K9 50/50	Kolom	8.00	32.00	188.29	7.85
K10 50/80	Kolom	3.00	12.00	112.97	4.71
K10 60/90	Kolom	3.00	12.00	152.51	6.35

Tabel 4.39: *Lanjutan.*

Section	Object Type	Number Pieces	Length	Weight	Volume
			m	kN	m ³
K10 60/190	Kolom	3.00	12.00	321.97	13.42
K11 50/80	Kolom	8.00	32.00	301.26	12.55
K11 60/90	Kolom	6.00	24.00	305.03	12.71
K11 60/190	Kolom	6.00	24.00	643.94	26.83
K12 50/70	Kolom	12.00	48.00	395.40	16.48
K12 60/80	Kolom	9.00	36.00	406.70	16.95
K12 60/180	Kolom	9.00	36.00	915.08	38.13
K13 50/70	Kolom	9.00	36.00	296.55	12.36
K13 60/80	Kolom	9.00	36.00	406.70	16.95
K13 60/180	Kolom	9.00	36.00	915.08	38.13
K15 65/50	Kolom	8.00	32.00	244.77	10.20
K15 75/50	Kolom	6.00	24.00	211.82	8.83
K15 75/150	Kolom	6.00	24.00	635.47	26.48
B1 40/60	Balok	244.00	1813.50	9076.08	378.17
B2 40/60	Balok	295.00	2169.00	11063.97	461.00
B3 40/60	Balok	25.00	161.20	828.23	34.51
B3A 25/60	Balok	86.00	629.95	2218.68	92.44
B4 50/60	Balok	106.00	600.00	3783.17	157.63
B4A 25/60	Balok	123.00	890.60	3144.17	131.01
B5 50/60	Balok	59.00	461.00	2989.89	124.58
B5A 25/60	Balok	36.00	182.90	645.71	26.90
B6A 25/60	Balok	34.00	263.00	928.49	38.69
B7 50/60	Balok	2.00	16.00	98.15	4.09
B7A 25/60	Balok	146.00	1047.70	3698.79	154.12
B7T 40/60	Balok	5.00	40.00	205.05	8.54
B8A 25/60	Balok	168.00	1137.60	4016.18	167.34
B9A 15/30	Balok	5.00	9.75	10.33	0.43
B9A 25/60	Balok	102.00	669.55	2363.78	98.49
B12 40/100	Balok	2.00	16.00	116.74	4.86
Dinding Basement	Dinding			5580.85	232.54

Dapat dilihat pada Tabel 4.39 didapatkan hasil perhitungan volume beton pada elemen struktur kolom, balok, dan dinding *basement* untuk struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat rekapitulasi pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40: Rekapitulasi perhitungan volume beton SRPMK.

Item		Volume	Satuan
Volume Beton Kolom	=	888.72	m ³
Volume Beton Balok	=	1882.81	m ³
Volume Beton Dinding <i>Basement</i>	=	232.54	m ³
Total	=	3004.06	m ³

➤ Sistem Ganda

Tabel 4.41: Perhitungan volume beton sistem ganda.

Section	Object Type	Number Pieces	Length	Weight	Volume
			m	kN	m ³
K1 50/80	Kolom	9.00	36.00	338.92	14.12
K1 60/120	Kolom	9.00	36.00	610.05	25.42
K1 60/90	Kolom	9.00	36.00	457.54	19.06
K2 50/80	Kolom	24.00	96.00	903.78	37.66
K2 60/120	Kolom	18.00	72.00	1220.10	50.84
K2 60/90	Kolom	18.00	72.00	915.08	38.13
K4 50/70	Kolom	16.00	64.00	527.21	21.97
K4 60/80	Kolom	12.00	48.00	542.27	22.59
K4 60/100	Kolom	15.00	60.00	847.29	35.30
K5 50/70	Kolom	60.00	240.00	1977.02	82.38
K5 60/80	Kolom	45.00	180.00	2033.51	84.73
K5 60/100	Kolom	43.00	172.00	2428.91	101.20
K6 50/70	Kolom	8.00	32.00	263.60	10.98
K6 60/80	Kolom	6.00	24.00	271.13	11.30
K6 60/100	Kolom	1.00	4.00	56.49	2.35
K6 60/120	Kolom	4.00	16.00	271.13	11.30
K7 50/70	Kolom	9.00	36.00	296.55	12.36
K7 60/80	Kolom	9.00	36.00	406.70	16.95
K7 60/100	Kolom	9.00	36.00	508.38	21.18
K9 50/50	Kolom	8.00	32.00	188.29	7.85
K10 50/80	Kolom	3.00	12.00	112.97	4.71
K10 60/90	Kolom	3.00	12.00	152.51	6.35
K10 60/190	Kolom	3.00	12.00	321.97	13.42
K11 50/80	Kolom	8.00	32.00	301.26	12.55
K11 60/90	Kolom	6.00	24.00	305.03	12.71
K11 60/190	Kolom	6.00	24.00	643.94	26.83
K12 50/70	Kolom	12.00	48.00	395.40	16.48
K12 60/80	Kolom	9.00	36.00	406.70	16.95

Tabel 4.41: *Lanjutan.*

K12 60/180	Kolom	9.00	36.00	915.08	38.13
K13 50/70	Kolom	9.00	36.00	296.55	12.36
K13 60/80	Kolom	9.00	36.00	406.70	16.95
K13 60/180	Kolom	9.00	36.00	915.08	38.13
K15 65/50	Kolom	8.00	32.00	244.77	10.20
K15 75/50	Kolom	6.00	24.00	211.82	8.83
K15 75/150	Kolom	6.00	24.00	635.47	26.48
B1 40/60	Balok	228.00	1691.50	8456.42	352.35
B2 40/60	Balok	263.00	1937.00	9870.98	411.29
B3 40/60	Balok	20.00	131.20	675.15	28.13
B3A 25/60	Balok	86.00	629.95	2218.68	92.44
B4 50/60	Balok	91.00	510.00	3211.25	133.80
B4A 25/60	Balok	122.00	880.60	3108.87	129.54
B5 50/60	Balok	54.00	423.00	2749.82	114.58
B5A 25/60	Balok	36.00	182.90	645.71	26.90
B6A 25/60	Balok	33.00	255.00	900.25	37.51
B7 50/60	Balok	1.00	8.00	49.43	2.06
B7A 25/60	Balok	138.00	1020.00	3601.00	150.04
B7T 40/60	Balok	4.00	32.00	163.81	6.83
B8A 25/60	Balok	158.00	1106.00	3904.62	162.69
B9A 25/60	Balok	88.00	599.90	2117.88	88.25
B12 40/100	Balok	2.00	16.00	116.74	4.86
Dinding <i>Basement</i>	Dinding			4959.50	206.65
Dinding Geser	Dinding			15816.17	659.01

Dapat dilihat pada Tabel 4.41 didapatkan hasil perhitungan volume beton pada elemen struktur kolom, balok, dinding *basement* , dan dinding geser untuk struktur dengan Sistem Ganda (*Dual System*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat rekapitulasi pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42: Rekapitulasi perhitungan volume beton sistem ganda.

Item		Volume	Satuan
Volume Beton Kolom	=	888.72	m ³
Volume Beton Balok	=	1741.28	m ³
Volume Beton Dinding <i>Basement</i>	=	206.65	m ³
Volume Beton Dinding Geser	=	659.01	m ³
Total	=	3495.65	m ³

4.7.2 Perhitungan Volume Tulangan

Untuk menghitung volume tulangan dilakukan secara manual dengan mengacu kepada *Shop Drawing*. Hasil dari hitungan volume tulangan dapat dilihat pada Tabel 4.43 dan Tabel 4.44 rekapitulasi perhitungan berikut. Sedangkan perincian perhitungan dilampirkan dalam lampiran.

➤ SRPMK

Tabel 4.43: Rekapitulasi volume tulangan SRPMK.

Kompomen	Tulangan	Volume (m ³)	Volume (kg)
Kolom	Longitudinal	0.69	5412.64
	Transversal	0.12	911.30
Balok	Longitudinal	106.08	832705.04
	Transversal	12.96	101705.14
Dinding Basement	Longitudinal	2.18	17146.92
	Transversal	1.96	15416.14
Total			973297.2

➤ Sistem Ganda

Tabel 4.44: Rekapitulasi volume tulangan sistem ganda.

Kompomen	Tulangan	Volume (m ³)	Volume (kg)
Kolom	Longitudinal	0.69	5412.64
	Transversal	0.12	911.30
Balok	Longitudinal	95.31	748145.89
	Transversal	11.61	91150.95
Dinding Basement	Longitudinal	2.09	16431.72
	Transversal	1.88	14772.456
Dinding Geser	Longitudinal	5.47	42912.32
	Transversal	5.47	42912.32
Total			962649.58

Untuk mengetahui rasio antara volume beton dengan volume dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4.45: Rasio volume beton dan volume tulangan.

Sistem Struktur	Volume Beton	Volume Tulangan	Rasio
	(m ³)	(ton)	(ton/m ³)
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	3004.06	973.3	0.32
Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	3495.65	962.65	0.28

Jika dibandingkan persentase volume beton dan volume tulangan pada Tabel 4.35, didapatkan bahwa volume beton pada sistem ganda lebih besar sekitar 16,36% dari sistem SRPMK, sedangkan volume tulangan sistem ganda lebih kecil sekitar 1,10% dibandingkan SRPMK.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa struktur dan perhitungan volume yang dijabarkan pada BAB 4, dapat disimpulkan beberapa hal dalam perbandingan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Sistem Ganda (*Dual System*) yang menggunakan *basement* pada RS Columbia Asia Medan sebagai berikut.

1. Sistem Ganda menunjukkan kinerja struktural yang lebih baik dibandingkan SRPMK. Hal ini ditunjukkan dengan perioda dominan yang lebih pendek ($X = 1,014$ detik; $Y = 1,002$ detik) yang mencerminkan kekakuan lebih tinggi, serta simpangan antar lantai yang lebih kecil, yaitu maksimum 15,31 mm dibandingkan dengan SRPMK sebesar 43,43 mm. Kontribusi dinding geser pada Sistem Ganda juga cukup signifikan (25,37% arah X dan 26,88% arah Y), sedangkan pada SRPMK beban lebih banyak dipikul oleh rangka (74,63% arah X dan 73,12% arah Y), sehingga Sistem Ganda lebih efektif dalam menahan gaya gempa. Dari sisi ketidakberaturan horizontal, SRPMK mengalami ketidakberaturan torsi hampir di seluruh lantai terutama pada arah Y, sedangkan pada Sistem Ganda jumlah lantai yang terdampak lebih sedikit dengan intensitas yang lebih rendah. Sementara itu, hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal (kekakuan tipe 1a dan 1b) menunjukkan bahwa baik SRPMK maupun Sistem Ganda memenuhi syarat pada seluruh lantai, sehingga tidak terjadi *soft story* maupun *weak story*. Dengan demikian, Sistem Ganda dengan *basement* terbukti lebih unggul dalam aspek kekakuan, deformasi, stabilitas, serta ketidakberaturan struktur, sehingga lebih sesuai diterapkan pada bangunan penting seperti rumah sakit.
2. Berdasarkan analisis perbandingan struktur, Sistem Ganda yang menggunakan *basement* terbukti lebih efisien dibandingkan SRPMK. Meskipun Sistem Ganda menggunakan volume beton 16,36% lebih banyak, rasio tulangan terhadap betonnya lebih rendah (0,28 ton/m³) dibandingkan SRPMK (0,32 ton/m³). Hal

ini menjadikan Sistem Ganda lebih optimal dari segi efisiensi material, terutama karena kebutuhan tulangan 1,10% lebih hemat.

5.2 Saran

Adapun saran dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Sistem Ganda direkomendasikan untuk digunakan pada bangunan penting seperti rumah sakit karena menunjukkan performa struktural yang lebih unggul dibandingkan SRPMK, terutama dalam hal kekakuan, kontrol simpangan, dan stabilitas terhadap beban gempa.
2. Analisis lanjutan seperti *pushover* atau *time history* disarankan untuk dilakukan agar respons struktur terhadap gempa dapat dikaji lebih mendalam dan akurat, mewakili kondisi sebenarnya yang lebih kompleks.
3. Kajian efisiensi material dan biaya perlu dikembangkan lebih lanjut, terutama terkait peningkatan volume beton pada Sistem Ganda, guna memastikan bahwa keunggulan struktural tetap seimbang dengan efektivitas biaya konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, A. M. F. A., Hastono, K. B., & Zuraidah, S. (2024). *Perbandingan Antara Metode Static Equivalent Dan Response Spectrum Pada Perencanaan Gedung Asrama Universitas Dr. Soetomo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*. Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 6(2), 118-126.
- Aditama, Y. C. (2018). *Modifikasi Gedung Apartemen Menara Rungkut Dengan SRPMK dan Shear wall (Dual Sistem)*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: FT-ITS.
- Agus, A., & Cahya, F. O. (2022). *Analisis Perbandingan Desain Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Dan Sistem Ganda (Dual System) Di Kota Padang*. *Ensiklopedia of Journal*, 4(4), 14-20.
- Aliifa, A. R. (2024). *Analisis Perilaku Struktur Bangunan Gedung Apartemen Arjuna Mataram City (Structure Analysis of Arjuna Apartment Building Mataram City)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Ambarwati, Y. D. (2017). *Analisis Perbandingan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Desain Struktur Hotel Ammeerra Jakarta*. Fakultas Teknik ITS Surabaya.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17)*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Amrullah, W., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2019). *Desain Perencanaan Struktur Gedung 38 Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 7(1), 18-23.
- Andika, E. A. (2021). *Analisis Stabilitas Kolom Basement Gedung Auditorium 3 Lantai Akibat Kombinasi Beban Lateral* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Anugrah, J. (2018). *Modifikasi Desain Struktur Gedung Namira Surabaya Menggunakan Sistem Ganda Dan Metode Pelaksanaan Shearwall* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Apran, H. Y. (2021). *Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Ibu Dan Anak 15 (Lima Belas) Lantai Di Colomadu Provinsi Jawa Tengah* (Doctoral dissertation, Universitas Tunas Pembangunan).
- Ardiansyah, E. B. (2017). *Desain Struktur Gedung Holland Park Condotel Batu–Malang Dengan Menggunakan Metode Dual System Dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok Dan Plat* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

- Aryanto, A. (2023). *Pengaruh Pemodelan Basement terhadap Respon Seismik pada Gedung Perkantoran (Studi Kasus Gedung BRI Cabang Adisucipto)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia)
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Vol 2. Applied Technology Council. Redwood City. California. USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2017)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Batara, I., Umar, A. F., Ashad, H., Utina, T., & Mappiasse, A. (2019). *Perbandingan Perencanaan Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Studi Kasus: Gedung Grand UMI Tower*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 439-449.
- Damanik, A. O., Wibowo, A. A., & Wibowo, H. (2018). *Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Siloam, Semarang*. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 7(1), 29-38.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987, UDC: 624.042)*. Yayasan Badan Penerbit PU.
- Dewi, S. U., & Munfarid, M. (2023). *Studi Perencanaan Ulang Struktur Atas Gedung Rumah Susun Institut Teknologi Sumatera (ITERA) dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 8(2), 163-175.
- Dewobroto, W. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Tangerang: Universitas Pelita Harapan. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 1, Januari 2006.
- Ente, A. A. G., Sumajouw, M. D. J., & Wallah, S. E. (2023). *Studi Komparasi Kinerja Gedung Bertingkat Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Khusus Dan Menengah di Kota Manado*. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 53-65.

- Fitriono, G. (2019). *Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Sungkono Lagoon Tower Caspian dengan Menggunakan Performance Based Design dan Dual System*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Hendra, H., Zulkarnaen, L. V., Rosanti, I., & Ariyansyah, R. (2021). *Analisis Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Metode Sistem Ganda (Dual System)*. *Construction and Material Journal*, 3(3), 189-196.
- Herman, H., Capry, D., & Zayu, W. P. (2022). *Desain Ulang Struktur Bangunan Gedung Hotel Ibis Padang Dengan Tinjauan Fixed Base*. *Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Ilmiah Eksakta*, 1(1), 26-39.
- Hidayat, A. W. (2021). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Jogja Apartment Dengan Analisis Pushover (Analysis off The Performance of The Structure of Jogja Apartment with Pushover Analysis Method)* [Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia]. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
- Husna, R. N., Doloksaribu, B., & Paresa, J. (2024). *Evaluasi Struktur Gedung Poli Klinik di Rumah Sakit Umum Daerah Merauke*. *Bomi Journal of Engineering and Technology*, 1(02), 47-52.
- Krismahardi, W., & Wahyuono, P. (2013). *Perencanaan Struktur Gedung “Sunter Park View Apartment” Sunter-Jakarta Utara*. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(1), 52-59.
- Krismahardi, W., & Wahyuono, P. (2013). *Perencanaan Struktur Gedung “Sunter Park View Apartment” Sunter-Jakarta Utara*. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(1), 52-59.
- Majore, B. O., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2015). *Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(6), 435-446.
- Majore, B. O., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2015). *Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(6), 435-446.
- Mutholib, A., & Numusawa, B. A. (2023). *Perancangan Ulang Gedung Asrama Putri 10 Lantai Universitas Islam Sultan Agung* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Nursani, R., & Noor, D. E. (2023). *Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(2), 105-114.
- Pradhani, L. D., & Rizky, M. (2022). *Perbandingan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda Pada Struktur Gedung Apartemen 15 Lantai* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).

- Pradika, A. G., Hidayat, A. N., & Ahyar, M. R. (2023). *Desain Struktur Gedung (Studi Kasus Bangunan Rumah Sakit 5 Lantai Di Kota Banda Aceh)*. *Jurnal Ilmiah Sultan Agung*, 2(1), 666-681.
- Pranata, A. H., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2021). *Desain Struktur Gedung 24 Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Dan Sistem Ganda Menggunakan Performace Based Design Berdasarkan Sni 2847:2019*. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 9(2), 109-116.
- Prasetyo, S. A., Septiarsilia, Y., Fitriyah, D. K., & Sasongko, S. B. (2024). *Remodelling Gedung Rumah Sakit dengan Dual System menggunakan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019*. *Civil Engineering Proceeding*, 1(1), 112-120.
- Pratama, F., Budi, A. S., & Wibowo, W. (2014). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Time History Pada Tinjauan Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS*. *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).
- Pratama, M. M. A., Putri, S. D. S., & Santoso, E. (2021). *Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi Dengan Penambahan Dinding Geser (Studi Kasus: Bangunan 8 Lantai)*. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 119-130.
- Putra, M. P., Isneini, M., & Noorhidana, V. A. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Time History (Studi Kasus: Apartemen Kingland Avenue Serpong)*. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(1), 483-494.
- Rahayu, R. A. D., Tethool, Y. C., & Puteri, M. K. (2023, May). *Studi Perencanaan Struktur Beton Bertulang menggunakan SRPMK dan Dinding Geser pada Gedung Kantor Dewan Pimpinan Wilayah Nasional Demokrat Papua Barat*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 43-49).
- Rahmatulloh, D., Warsito, W., & Suprpto, B. (2025). *Studi Alternatif Perencanaan Gedung Bertingkat Dengan Metode Sistem Ganda (Dual System) Pada Gedung Rehabilitasi Medik Terpadu Dan Manajemen Rumah Sakit Saiful Anwar Kota Malang*. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 15(1), 246-253.
- Sari, E. E. N. (2023). *Studi Perbandingan Respon Seismik pada Gedung Asimetris dengan Srpmm dan Srpmm (Studi Kasus Gedung 6 Lantai)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Setiawan, R. B. (2017). *Desain Struktur Gedung Venetian Menggunakan Metode SRPMK dan Rencana Anggaran Biaya Lt 2*. Surabaya: Program Studi Diploma Empat Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shany, S. A., Erfan, M., & Santosa, A. A. (2020). *Analisa Perbandingan Simpangan Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Dan Sistem Ganda*. *Prosiding SEMSINA*, 27-38.

- Simanjuntak, M. C., Widayat, W., & Syakur, A. (2023). *Analisis Struktur Bangunan Apartemen 10 lantai Menggunakan Software SANSPRO V. 5.20*. Jurnal Profesi Insinyur Indonesia, 1(5), 167-178.
- Soleman, R. R. (2023). *Optimasi Penempatan Dinding Geser (Shearwall) Pada Bangunan Rumah Sakit Umum Daerah Kota Manado* (Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Manado).
- Subaga, M. R., Garnida, H., & Ryanto, M. (2022). *Analisis Perilaku Struktur Gedung 15 Lantai Dengan Pengaku Dinding Geser (Shear Wall) Tipe Side Wall| Terhadap Beban Gempa Rencana Berdasarkan SNI Gempa 1726: 2012*. Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS), 2(1), 95-107.
- Subagja, D. A. *Perancangan Ulang Struktur Gedung Rsud Dr. R. Soedjono Selong Menjadi 10 Lantai Dengan Menggunakan Sistem Ganda*.
- Sunarmasto, S., & Basuki, A. (2014). *Kinerja Struktur Gedung Tinggi Mataram City Menggunakan Study Pemodelan Basement*. Matriks Teknik Sipil, 2(1), 69.
- Sutardiyono, H., & Ransah, H. (2022). *Perencanaan Ulang Basement Rumah Sakit Umum Daerah Ciawi Dengan Dinding Penahan Tanah Jenis Diaphragm Wall* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Suwandono, J. E. (2017). *Modifikasi Struktur Gedung Perkantoran MNC Surabaya dengan Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Metode pelaksanaan Basement* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Syahidah, F. (2017). *Studi Perbandingan Desain Struktur Menggunakan Sistem Rangka Gedung dengan Sistem Ganda Sesuai SNI 1726: 2012 dan SNI 2847: 2013*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Tavio & Wijaya, U., 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja. II ed*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Utama, D. R., & Alrasyid, R. (2024). *Pengaruh Dimensi dan Tata Letak Dinding Geser Pada Studi Kasus Gedung Rumah Sakit 7 (Tujuh) Lantai Di Purwokerto* (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Wahidmurni, W. (2017). *Pemaparan Metode Penelitian Kualitatif*.
- Widiati, I. R., & Rabrusun, S. I. S. (2016). *Perbandingan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Sistem Ganda*. Jurnal Ilmiah Teknik dan Informatika, 1(2), Agustus. Universitas Yapis Papua.
- Winita, A. (2021). *Perencanaan Struktur Atas Apartemen Tower 35 Lantai Dengan Kombinasi Framing System (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Dan Ganda)*. Jurnal Tera, 1(1), 11-27.
- Zulkifli, Z., & Rahayu, T. (2021). *Perencanaan Apartemen 10 Lantai Dengan Sistem Ganda Srpmk Dan Shearwall Untuk Kota Cianjur*. Jurnal Momen Teknik Sipil Suryakencana, 4(1), 10-16.

LAMPIRAN

Tabel L.1: Perhitungan Volume Penulangan Longitudinal Kolom SRPMK.

Kolom	Jumlah Tulangan	Ø Besi	Banyak Kolom	Tinggi Kolom	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(buah)	(mm)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
K1 50/80	18	25	9.00	4	3.85	62.42
K1 60/120	36	32	9.00	4	6.31	261.69
K1 60/90	22	25	9.00	4	3.85	76.30
K2 50/80	18	25	24.00	4	3.85	166.46
K2 60/120	36	32	18.00	4	6.26	519.23
K2 60/90	22	25	18.00	4	3.85	152.59
K4 50/70	16	25	16.00	4	3.85	98.65
K4 60/80	20	25	12.00	4	3.85	92.48
K4 60/100	32	32	15.00	4	6.31	387.69
K5 50/70	16	25	60.00	4	3.85	369.92
K5 60/80	20	25	45.00	4	3.85	346.80
K5 60/100	32	32	43.00	4	6.31	1111.37
K6 50/70	16	25	8.00	4	6.31	80.77
K6 60/80	18	25	6.00	4	6.31	68.15
K6 60/100	32	32	1.00	4	6.31	25.85
K6 60/120	36	32	4.00	4	6.31	116.31
K7 50/70	16	25	9.00	4	6.31	90.86
K7 60/80	20	25	9.00	4	3.85	69.36
K7 60/100	32	32	9.00	4	3.85	142.05
K9 50/50	14	25	8.00	4	3.85	43.16
K10 50/80	18	25	3.00	4	3.85	20.81

Kolom	Jumlah Tulangan	Ø Besi	Banyak Kolom	Tinggi Kolom	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(buah)	(mm)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
K10 60/90	22	25	3.00	4	3.85	25.43
K10 60/190	50	25	3.00	4	3.85	57.80
K11 50/80	18	25	8.00	4	3.85	55.49
K11 60/90	22	25	6.00	4	3.85	50.86
K11 60/190	50	25	6.00	4	3.85	115.60
K12 50/70	16	25	12.00	4	3.85	73.98
K12 60/80	20	25	9.00	4	3.85	69.36
K12 60/180	48	25	9.00	4	3.85	166.46
K13 50/70	16	25	9.00	4	3.85	55.49
K13 60/80	20	25	9.00	4	3.85	69.36
K13 60/180	48	25	9.00	4	3.85	166.46
K15 65/50	22	22	8.00	4	2.98	46.22
K15 75/50	24	25	6.00	4	3.85	55.49
K15 75/150	44	25	6.00	4	3.85	101.73
Total Berat Besi Untuk Tulangan Longitudinal Kolom						5412.64

Tabel L.2: Perhitungan Volume Penulangan Transversal Kolom SRPMK.

Kolom	Panjang Sengkang	Ø Besi	Banyak Kolom	Banyak Sengkang	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(m)	(mm)	(buah)	(buah)	(kg/m)	(kg)
K1 50/80	4.2	13	9.00	28	1.04	14.26
K1 60/120	8.5	13	9.00	28	1.04	28.69
K1 60/90	5.8	13	9.00	28	1.04	19.39
K2 50/80	4.2	13	24.00	28	1.04	38.03
K2 60/120	8.5	13	18.00	28	1.04	57.39
K2 60/90	5.8	13	18.00	28	1.04	38.78
K4 50/70	3.2	13	16.00	28	1.04	18.91
K4 60/80	4.6	13	12.00	28	1.04	20.82
K4 60/100	7.2	13	15.00	28	1.04	40.41
K5 50/70	3.2	13	60.00	28	1.04	70.90
K5 60/80	4.6	13	45.00	28	1.04	78.06
K5 60/100	7.2	13	43.00	28	1.04	115.83
K6 50/70	3.2	13	8.00	28	1.04	9.45
K6 60/80	4.6	13	6.00	28	1.04	10.41
K6 60/100	7.2	13	1.00	28	1.04	2.69
K6 60/120	8.5	13	4.00	28	1.04	12.75
K7 50/70	3.2	13	9.00	28	1.04	10.63
K7 60/80	4.6	13	9.00	28	1.04	15.61
K7 60/100	7.2	13	9.00	28	1.04	24.24
K9 50/50	3.3	13	8.00	28	1.04	9.98
K10 50/80	4.2	13	3.00	28	1.04	4.75
K10 60/90	5.8	13	3.00	28	1.04	6.46
K10 60/190	13.4	13	3.00	28	1.04	15.05
K11 50/80	4.2	13	8.00	28	1.04	12.68

Kolom	Panjang Senggang	Ø Besi	Banyak Kolom	Banyak Senggang	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(m)	(mm)	(buah)	(buah)	(kg/m)	(kg)
K11 60/90	5.8	13	6.00	28	1.04	12.93
K11 60/190	13.4	13	6.00	28	1.04	30.10
K12 50/70	3.2	13	12.00	28	1.04	14.18
K12 60/80	4.6	13	9.00	28	1.04	15.61
K12 60/180	13.0	13	9.00	28	1.04	43.80
K13 50/70	3.2	13	9.00	28	1.04	10.63
K13 60/80	4.6	13	9.00	28	1.04	15.61
K13 60/180	13.0	13	9.00	28	1.04	43.80
K15 65/50	4.5	13	8.00	28	1.04	13.35
K15 75/50	4.9	13	6.00	28	1.04	10.91
K15 75/150	10.8	13	6.00	28	1.04	24.19
Total Berat Besi Untuk Tulangan Transversal Kolom						911.30

Tabel L.3: Perhitungan Volume Penulangan Transversal dan Longitudinal Balok SRPMK.

Balok	Posisi Penulangan	Tumpuan			Lapangan			Jumlah Batang	Panjang Balok (m)	Banyak Sengkang (buah)	Panjang Sengkang (m)	Berat Besi D25 (kg/m)	Berat Besi D22 (kg/m)	Berat Besi D16 (kg/m)	Berat Besi D13 (kg/m)	Berat Besi D10 (kg/m)	Berat Besi Total
								(bh)									(kg)
B1 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	1813.50	12091	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	132772.38
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									7556.25
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									97832.28
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										23307.82
B2 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	2169.00	14461	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	158799.72
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									9037.50
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									117010.32
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										27876.47
B3 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	161.20	1076	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	11801.99
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									671.67
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									8696.20
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										2073.56
B3A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	629.95	4201	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	8976.79
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									2624.79
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									8976.79
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										3730.19
B4 50/60	Tul. Atas	10	D	25	5	D	25	15	600.00	4001	2.56	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	34680.00
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									2500.00
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									32368.00
	Tul. Sengkang	2	D	13	-		150										10652.66
B4A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	890.60	5938	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	12691.05
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									3710.83
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									12691.05
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										5273.24

Balok	Posisi Penulangan	Tumpuan			Lapangan			Jumlah Batang	Panjang Balok	Banyak Sengkang	Panjang Sengkang	Berat Besi D25	Berat Besi D22	Berat Besi D16	Berat Besi D13	Berat Besi D10	Berat Besi Total
								(bh)	(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg)
B5 50/60	Tul. Atas	10	D	25	5	D	25	15	461.00	3074	2.56	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	26645.80
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									1920.83
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									24869.41
	Tul. Sengkang	2	D	13	-		150										8185.41
B5A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	182.90	1220	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	2606.33
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									762.08
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									2606.33
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										1083.66
B6A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	263.00	1754	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	3747.75
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									1095.83
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									3747.75
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										1557.85
B7 50/60	Tul. Atas	10	D	25	5	D	25	15	16.00	108	2.56	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	924.80
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									66.67
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									863.15
	Tul. Sengkang	2	D	13	-		150										286.66
B7A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	1047.70	6986	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	14929.73
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									4365.42
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									14929.73
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										6203.27
B7T 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	40.00	268	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	2928.53
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									166.67
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									2157.87
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										515.98
B8A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	1137.60	7585	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	16210.80
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									4740.00
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									16210.80

Balok	Posisi Penulangan	Tumpuan			Lapangan			Jumlah Batang	Panjang Balok	Banyak Sengkang	Panjang Sengkang	Berat Besi D25	Berat Besi D22	Berat Besi D16	Berat Besi D13	Berat Besi D10	Berat Besi Total	
								(bh)	(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg)	
	Tul. Sengkang		D	10	-		150											6735.48
B9A 15/30	Tul. Atas	4	D	13	2	D	13	6	9.75	50	0.80	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62		60.94
	Tul. Tengah																0.00	
	Tul. Bawah	2	D	13	4	D	13	6									60.94	
	Tul. Sengkang		D	10	-		200										24.54	
B9A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	669.55	4465	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62		9541.09
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									2789.79	
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									9541.09	
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										3964.62	
B12 40/100	Tul. Atas	10	D	22	5	D	22	15	16.00	108	3.52	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62		380.00
	Tul. Tengah	4	D	13	4	D	13	8									133.33	
	Tul. Bawah	5	D	22	7	D	16	12									304.00	
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										233.71	
Total Berat Besi Untuk Tulangan Longitudinal dan Transversal Pada Balok SRPMK =																		934410.18

Tabel L.4: Perhitungan Volume Penulangan Transversal dan Longitudinal Dinding *Basement* SRPMK.

Jenis Tulangan	Diameter	Jarak	Jumlah (buah)	Panjang Tiap Batang/Lapis (m)	Panjang Total (m)	Berat/m (kg)	Total Berat (kg)
Longitudinal	D19	@200 mm	1918.00	4.00	7672.00	2.24	17146.92
Transversal	D19	@200 mm	36.00	191.60	6897.60	2.24	15416.136
Total							32563.056

Tabel L.5: Perhitungan Volume Penulangan Longitudinal Kolom Sistem Ganda.

Kolom	Jumlah Tulangan	Ø Besi	Banyak Kolom	Tinggi Kolom	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(buah)	(mm)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
K1 50/80	18	25	9.00	4	3.85	62.42
K1 60/120	36	32	9.00	4	6.31	261.69
K1 60/90	22	25	9.00	4	3.85	76.30
K2 50/80	18	25	24.00	4	3.85	166.46
K2 60/120	36	32	18.00	4	6.26	519.23
K2 60/90	22	25	18.00	4	3.85	152.59
K4 50/70	16	25	16.00	4	3.85	98.65
K4 60/80	20	25	12.00	4	3.85	92.48
K4 60/100	32	32	15.00	4	6.31	387.69
K5 50/70	16	25	60.00	4	3.85	369.92
K5 60/80	20	25	45.00	4	3.85	346.80
K5 60/100	32	32	43.00	4	6.31	1111.37
K6 50/70	16	25	8.00	4	6.31	80.77
K6 60/80	18	25	6.00	4	6.31	68.15
K6 60/100	32	32	1.00	4	6.31	25.85
K6 60/120	36	32	4.00	4	6.31	116.31
K7 50/70	16	25	9.00	4	6.31	90.86
K7 60/80	20	25	9.00	4	3.85	69.36
K7 60/100	32	32	9.00	4	3.85	142.05
K9 50/50	14	25	8.00	4	3.85	43.16
K10 50/80	18	25	3.00	4	3.85	20.81
K10 60/90	22	25	3.00	4	3.85	25.43
K10 60/190	50	25	3.00	4	3.85	57.80
K11 50/80	18	25	8.00	4	3.85	55.49

Kolom	Jumlah Tulangan	Ø Besi	Banyak Kolom	Tinggi Kolom	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(buah)	(mm)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg)
K11 60/90	22	25	6.00	4	3.85	50.86
K11 60/190	50	25	6.00	4	3.85	115.60
K12 50/70	16	25	12.00	4	3.85	73.98
K12 60/80	20	25	9.00	4	3.85	69.36
K12 60/180	48	25	9.00	4	3.85	166.46
K13 50/70	16	25	9.00	4	3.85	55.49
K13 60/80	20	25	9.00	4	3.85	69.36
K13 60/180	48	25	9.00	4	3.85	166.46
K15 65/50	22	22	8.00	4	2.98	46.22
K15 75/50	24	25	6.00	4	3.85	55.49
K15 75/150	44	25	6.00	4	3.85	101.73
Total Berat Besi Untuk Tulangan Longitudinal Kolom						5412.64

Tabel L.6: Perhitungan Volume Penulangan Transversal Kolom Sistem Ganda.

Kolom	Panjang Sengkang	Ø Besi	Banyak Kolom	Banyak Sengkang	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(m)	(mm)	(buah)	(buah)	(kg/m)	(kg)
K1 50/80	4.2	13	9.00	28	1.04	14.26
K1 60/120	8.5	13	9.00	28	1.04	28.69
K1 60/90	5.8	13	9.00	28	1.04	19.39
K2 50/80	4.2	13	24.00	28	1.04	38.03
K2 60/120	8.5	13	18.00	28	1.04	57.39
K2 60/90	5.8	13	18.00	28	1.04	38.78
K4 50/70	3.2	13	16.00	28	1.04	18.91
K4 60/80	4.6	13	12.00	28	1.04	20.82
K4 60/100	7.2	13	15.00	28	1.04	40.41
K5 50/70	3.2	13	60.00	28	1.04	70.90
K5 60/80	4.6	13	45.00	28	1.04	78.06
K5 60/100	7.2	13	43.00	28	1.04	115.83
K6 50/70	3.2	13	8.00	28	1.04	9.45
K6 60/80	4.6	13	6.00	28	1.04	10.41
K6 60/100	7.2	13	1.00	28	1.04	2.69
K6 60/120	8.5	13	4.00	28	1.04	12.75
K7 50/70	3.2	13	9.00	28	1.04	10.63
K7 60/80	4.6	13	9.00	28	1.04	15.61
K7 60/100	7.2	13	9.00	28	1.04	24.24
K9 50/50	3.3	13	8.00	28	1.04	9.98
K10 50/80	4.2	13	3.00	28	1.04	4.75
K10 60/90	5.8	13	3.00	28	1.04	6.46
K10 60/190	13.4	13	3.00	28	1.04	15.05
K11 50/80	4.2	13	8.00	28	1.04	12.68

Kolom	Panjang Senggang	Ø Besi	Banyak Kolom	Banyak Senggang	Berat Besi Ulir	Berat Besi Total
	(m)	(mm)	(buah)	(buah)	(kg/m)	(kg)
K11 60/90	5.8	13	6.00	28	1.04	12.93
K11 60/190	13.4	13	6.00	28	1.04	30.10
K12 50/70	3.2	13	12.00	28	1.04	14.18
K12 60/80	4.6	13	9.00	28	1.04	15.61
K12 60/180	13.0	13	9.00	28	1.04	43.80
K13 50/70	3.2	13	9.00	28	1.04	10.63
K13 60/80	4.6	13	9.00	28	1.04	15.61
K13 60/180	13.0	13	9.00	28	1.04	43.80
K15 65/50	4.5	13	8.00	28	1.04	13.35
K15 75/50	4.9	13	6.00	28	1.04	10.91
K15 75/150	10.8	13	6.00	28	1.04	24.19
Total Berat Besi Untuk Tulangan Transversal Kolom						911.30

Tabel L.7: Perhitungan Volume Penulangan Transversal dan Longitudinal Balok Sistem Ganda.

Balok	Posisi Penulangan	Tumpuan			Lapangan			Jumlah Batang	Panjang Balok (m)	Banyak Sengkang (buah)	Panjang Sengkang (m)	Berat Besi D25 (kg/m)	Berat Besi D22 (kg/m)	Berat Besi D16 (kg/m)	Berat Besi D13 (kg/m)	Berat Besi D10 (kg/m)	Berat Besi Total
								(bh)									(kg)
B1 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	1691.50	11278	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	123840.35
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									7047.92
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									91250.79
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										21739.96
B2 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	1937.00	12914	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	141814.23
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									8070.83
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									104494.69
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										24894.96
B3 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	131.20	876	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	9605.59
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									546.67
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									7077.80
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										1688.02
B3A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	629.95	4201	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	8976.79
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									2624.79
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									8976.79
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										3730.19
B4 50/60	Tul. Atas	10	D	25	5	D	25	15	510.00	3401	2.56	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	29478.00
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									2125.00
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									27512.80
	Tul. Sengkang	2	D	13	-		150										9055.16
B4A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	880.60	5872	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	12548.55
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									3669.17
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									12548.55
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										5214.04
B5 50/60	Tul. Atas	10	D	25	5	D	25	15	423.00	2821	2.56	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	24449.40

Balok	Posisi Penulangan	Tumpuan			Lapangan			Jumlah Batang	Panjang Balok	Banyak Sengkang	Panjang Sengkang	Berat Besi D25	Berat Besi D22	Berat Besi D16	Berat Besi D13	Berat Besi D10	Berat Besi Total
								(bh)	(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg)
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									1762.50
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									22819.44
	Tul. Sengkang	2	D	13	-		150										7510.91
B5A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	182.90	1220	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	2606.33
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									762.08
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									2606.33
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										1083.66
B6A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	255.00	1701	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	3633.75
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									1062.50
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									3633.75
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										1510.49
B7 50/60	Tul. Atas	10	D	25	5	D	25	15	8.00	54	2.56	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	462.40
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									33.33
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									431.57
	Tul. Sengkang	2	D	13	-		150										144.66
B7A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	1020.00	6801	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	14535.00
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									4250.00
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									14535.00
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										6039.29
B7T 40/60	Tul. Atas	12	D	25	7	D	25	19	32.00	214	3.13	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	2342.83
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									133.33
	Tul. Bawah	7	D	25	7	D	25	14									1726.29
	Tul. Sengkang	2	D	10	-		150										413.17
B8A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	1106.00	7374	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	15760.50
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									4608.33
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									15760.50
	Tul. Sengkang		D	10	-		150										6548.41

Balok	Posisi Penulangan	Tumpuan			Lapangan			Jumlah Batang	Panjang Balok	Banyak Sengkang	Panjang Sengkang	Berat Besi D25	Berat Besi D22	Berat Besi D16	Berat Besi D13	Berat Besi D10	Berat Besi Total
								(bh)	(m)	(buah)	(m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg)
B9A 15/30	Tul. Atas	4	D	13	2	D	13	6	599.90	3001	0.80	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	3749.38
	Tul. Tengah							0.00									
	Tul. Bawah	2	D	13	4	D	13	6									3749.38
	Tul. Sengkang		D	10	-	200		1480.25									
B9A 25/60	Tul. Atas	6	D	16	3	D	16	9	16.00	108	1.44	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	228.00
	Tul. Tengah	2	D	13	2	D	13	4									66.67
	Tul. Bawah	3	D	16	6	D	16	9									228.00
	Tul. Sengkang		D	10	-	150		95.61									
B12 40/100	Tul. Atas	10	D	22	5	D	22	15	0.00	1	3.52	3.85	2.98	1.58	1.04	0.62	0.00
	Tul. Tengah	4	D	13	4	D	13	8									0.00
	Tul. Bawah	5	D	22	7	D	16	12									0.00
	Tul. Sengkang	2	D	10	-	150		2.17									
Total Berat Besi Untuk Tulangan Longitudinal dan Transversal Pada Balok SRPMK =																	839296.83

Tabel L.8: Perhitungan Volume Penulangan Transversal dan Longitudinal Dinding *Basement* Sistem Ganda.

Jenis Tulangan	Diameter	Jarak	Jumlah (buah)	Panjang Tiap Batang/Lapis (m)	Panjang Total (m)	Berat/m (kg)	Total Berat (kg)
Longitudinal	D19	@200 mm	1838.00	4.00	7352.00	2.24	16431.72
Transversal	D19	@200 mm	36.00	183.60	6609.60	2.24	14772.456
Total							31204.176

Tabel L.9: Perhitungan Volume Penulangan Transversal dan Longitudinal Dinding Geser.

Core Lift 1

Jenis Tulangan	Diameter	Jarak	Panjang Total (m)	Berat/m (kg)	Total Berat (kg)
Longitudinal	D22	@200 mm	7190.0	2.98	21456.16
Transversal	D22	@200 mm	7190.0	2.98	21456.16
Total			14380.0		42912.32

Core Lift 2

Jenis Tulangan	Diameter	Jarak	Panjang Total (m)	Berat/m (kg)	Total Berat (kg)
Longitudinal	D22	@200 mm	7190.0	2.98	21456.16
Transversal	D22	@200 mm	7190.0	2.98	21456.16
Total			14380.0		42912.32

Gambar L.10: Lembar Asistensi Bimbingan Seminar Proposal.



LAPORAN TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya
NPM : 2307210214P
Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Ilmu : Struktur
Judul Skripsi : Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan *Basement*

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		• Perbaiki: judul Skripsi dan bagian	11/11/24
		- perbaiki format penulisan proposal, bagian	11/11/24
		- tambah literatur terkini	
		- perbaiki Caption, bagian	12/11/24
		- tambah literatur	
		acc utk Sempres!	
		ade faisal	12/11/24

DOSEN PEMBIMBING

(Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.)

Gambar L.11: Lembar Asistensi Bimbingan Seminar Hasil.



LAPORAN TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Mukhtar Baari No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya
NPM : 2307210214P
Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Ilmu : Struktur
Judul Skripsi : Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan Basement

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
-		perbaiki perumusan & Tugan	28/05/25
-		Buat model 3D linear	ETASS
-		perbaiki Literatur kecil	28/05/25
-		Buat bab 3	
-		perbaiki model gedung	28/05/25
-		pastikan data 3 Gbr dll & aka	
-		Cek hasil analisis Struktur	28/05/25
-		perbaiki bab 2 & bab 3	
-		permodelan nonlinier ?	28/05/25
-		Cek hasil linear	
-		Buat perbandingan dgn model lain	28/05/25
-		Buat model linear	
-		Cek ketidakseragaman Vertikal	28/05/25
-		Buat Bab 4	
-		Buat tabel / Grafik hasil	28/05/25
-		perbaiki bab 4	
-		Buat kesimpulan & Daftar isi	28/05/25

acc utk Sembar !
DOSEN PEMBIMBING
ade fajar

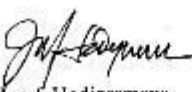
(Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.)

Gambar L.12: Lembar Daftar Hadir Seminar Hasil

DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK - UMSU			
Peserta seminar Nama : Ibnu Fajar Anza'I Sinuraya NPM : 2307210214 P Judul Tugas Akhir : Evaluasi Dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan Basement			
DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing I : Dr. Ade Faisal			
Pembanding I : Ir. Tondi Amirsyah Putra ST.MT			
Pembanding II : Rizki Ffrida ST.MT			
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2307210222P	SYFANA ISHRA ALSHA	
2	2307210207P	FITA DARAH MURDELA	
3	21072107P3	M. ABDULLAH ADIF	
4	2107210102	Anisa Wira Y. Siregar	
5	2107210101	T. Winda Henti	
6	2107210106	Faisa Rani Delineathe	
7			
8			
9			
10			

Medan, 15 Rabiul Awwal 1447 H
 08 September 2025 M

 Ketua Prodi T. Sipil


 Dr. Josef Hadipramana

Gambar L.13: Lembar Evaluasi Seminar Hasil Penguji I.

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	
Nama	: Ibnu Fajar Auza'I Sinuraya
NPM	: 2307210214 P
Judul Tugas Akhir	: Evaluasi Dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan Basement .
Dosen Pembimbing - I	: Ir Tondi Amirsyah Putra ST,MT
Dosen Pembimbing - II	: Rizki Elfrida ST,MT
Dosen Pembimbing - I	: Dr Ade Faisal
KEPUTUSAN 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium) 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : ☒ Daftar isi perbaikan ☒ Gambar-gambar akurasi reduksi $\gamma = 1/3$ Gempa? ☒ Gambar-gambar detail ☒ Cara periksa kembali kontrol - Utitidat beratnya (bhn ad.) - peritida dan korek Respon Rlm pemodelan 3. Harus mengikuti seminar kembali Perbaikan :	
Medan, 15 Rabiul Awal 1447 H 08 September 2025 M Diketahui : Ketua Prodi. T. Sipil Dosen Pembimbing - I Ir Tondi Amirsyah Putra ST,MT	

Gambar L.14: Lembar Evaluasi Seminar Hasil Penguji 2.

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Ibnu Fajar Auza'f Sinuraya
NPM : 2307210214 P
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Dan Peningkatan Kapasitas Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung Tinggi Menggunakan Basement .

Dosen Pembanding - I : Ir Tondi Amirsyah Putra ST.MT
Dosen Pembanding - II : Rizki Efrida ST.MT
Dosen Pembimbing - I : Dr Ade Faisal

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (colloquium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (colloquium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain:
 - Perbaiki kata pengantar, daftar isi
 - Pada bab 3 masukkan gambar / denah RS.
 - perbaiki penulisan
3. Harus mengikuti seminar kembali

Perbaikan :

Medan 15 Rabiul Awal 1447 H
08 September 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Sipil

Dosen Pembanding- II

Dr Josef Hadipramana

Rizki Efrida ST.MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENYUSUN

Nama Lengkap : Ibnu Fajar Auza'i Sinuraya
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 17 Juli 2002
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Cemara No. 17 – Sampali
Agama : Islam
Nomor Handphone : 0852-7557-7537
Nama Ayah : Inganta Syaiful Ramadhan Sinuraya, A.Md.
Nama Ibu : Assoc. Prof. Dr. Wanayumini, S.Kom., M.Kom.
Email : ibnufajarsinuraya@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | |
|--|----------------------|
| 1. TK Aisyiyah Bustanul Athfal 05 | Tahun 2007 - 2008 |
| 2. Sekolah Dasar Muhammadiyah 02 Medan | Tahun 2008 - 2014 |
| 3. SMP Negeri 11 Medan | Tahun 2014 - 2017 |
| 4. SMK Negeri 5 Medan | Tahun 2017 - 2020 |
| 5. Diploma III Politeknik Negeri Medan | Tahun 2020 - 2023 |
| 6. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara | Tahun 2023 – selesai |