

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI BRESING X DAN BRESING V TERHADAP RESPON SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (*ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING BRACING X AND BRACING V VARIATIONS ON THE SEISMIC RESPONSE OF BUILDING STRUKTURE*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**GALANG RENALDY TANGKAU
16511129**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI BRESING X DAN BRESING V TERHADAP RESPON SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING BRACING X AND BRACING V VARIATIONS ON THE SEISMIC RESPONSE OF BUILDING STRUCTURE)

Disusun oleh

Galang Renaldy Tangkau

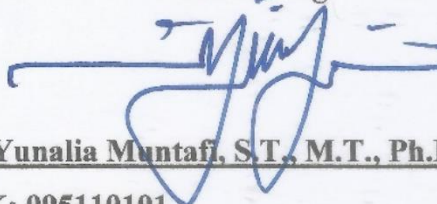
16511129

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada Tanggal 24 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji

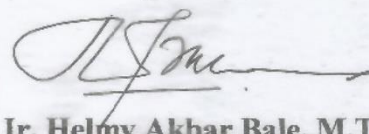
Pembimbing

 25/8/2023

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Eng.

NIK: 095110101

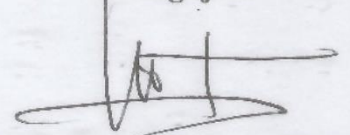
Penguji I



Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.

NIK: 885110105

Penguji II

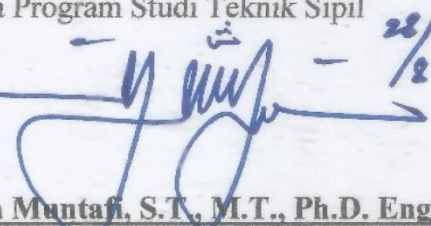


Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.

NIK: 885110106

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



 28/8/2023

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Eng.

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundangundangan yang berlaku

Yogyakarta, 11 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Galang Renaldy Tangkau

(16511129)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Allah SWT berikan, segala puji hanya layak untuk Allah SWT atas segala berkat, rahmat, taufik, serta hidayah-Nya yang tiada terkira besarnya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Pengeruh Penggunaan Variasi Bracing Terhadap Respon Seismik Struktur Bangunan Baja Gedung Rumah Sakit* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan pengerjaan penelitian ini, banyak sekali tantangan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat doa, saran dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Dengan ini, penyusun mengucapkan terima kasih sedalam dalamnya kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D. Eng yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama masa penelitian dan juga selaku Ketua Prodi Sarjana Teknik Sipil.
2. Ibu dan Bapak selaku Dosen Penguji.
3. Bapak Dwiki Eki Mustafa dan Ibu Yuliana Maria Tangkau selaku orang tua saya.
4. Seluruh teman-teman penulis di Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia angkatan 2016 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan do'a dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Adapun dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini telah disusun sebaik-baiknya, meskipun demikian pastilah ada kekurangan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk kesempurnaan tersusunnya laporan Tugas Akhir ini, serta bermanfaat bagi penulis dan pembaca di kemudian hari kelak.

Yogyakarta, 12 Agustus 2023

Penulis



Galang Renaldy Tangkau

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Keaslian Penelitian	12
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Stabilitas Bangunan	13
3.2 Analisis-Beban-Gempa-Nominal-Statik-Ekivalen	14
3.2.1 Gaya-Geser-Dasar-Nominal-Statik-Ekivalen (V)	14
3.2.2 Faktor-Respons-Gempa	14
3.2.3 Total-Berat-Struktur-(Wt)	15
3.2.4 Faktor Reduksi Gempa	15
3.2.5 Waktu Getar natural (T)	15
3.3 Material	16
3.3.1 Spesifikasi Material	16
3.3.2 Kekakuan Material Ekspektasi	16
3.4 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa	17
3.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen	17
3.4.2 Sistem Rangka Bering Konsentrik	18

3.4.3	Sistem Rangka Bresing Eksentrik	19
3.5	Kekakaun Sturktur	20
3.6	Penbebanan	21
3.6.1	Beben Hldup	21
3.6.2	Beban Mati	22
3.6.3	Redundansi	22
3.6.4	Beban Gempa	24
3.7	Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD	31
3.8	Kombinasi Pembebanan dalam LRFD	32
3.9	Parencanaan Profil Bresing	33
3.10	Simpangan Antar Lantai	35
BAB IV	METODE PENELITIAN	37
4.1	Tinjauan Umum	37
4.2	Lokasi Penelitian	37
4.3	Pamodelan Sturktur	37
4.4	Data Peenlitian	39
4.5	Tahepan Analisis	40
4.6	Bagan Alir Penelitian	40
BAB V	PERHITUNGAN ANALISIS	43
5.1	Pendahuluan	43
5.2	Perhitungan Pembebanan	43
5.2.1	Baban Mati Bangnaan	43
5.2.2	Beban Hidup	46
5.3	Penantuan Dimansi Sturktur	47
5.4	Perhitungan Beben Gempa	54
5.5	Bese Shaer	67
5.6	Cek Ketidakberaturan Struktur	68
5.7	Simpangan Antar Lantai	87
5.8	Rasio Simpangan Antar Lantai	92
5.9	Koefisien Stabilitas Struktur	97
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	105

6.1	Kesimpulan	105
6.2	Saran	106
	DAFTAR PUSTAKA	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Pengaruh Gaya Dari Luar Terhadap Struktur Bangunan	13
Gambar 3.2 Sistem Bracing X 2-Lantai	19
Gambar 3.3 Rangka Bracing Eksentrik	20
Gambar 3.4 Peta Nilai S_s	24
Gambar 3.5 Peta Nilai S_1	25
Gambar 3.6 Spektrum Respons Desain	28
Gambar 3.7 Peta Transisi Periode Panjang T_L , Wilayah Indonesia	28
Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	36
Gambar 4.1 Denah Bangunan Model 1 Tanpa Bracing	38
Gambar 4.2 Denah Bangunan Model 2 Bracing X dan Model 3 Bracing V	39
Gambar 4.3 Flowchart Tahapan Analisis dan Desain	41
Gambar 5.1 Dimensi Pelat Tangga	44
Gambar 5.2 Potongan Ruang Mesin Lift	46
Gambar 5.3 Penampang Profil Baja IWF 200x200	48
Gambar 5.4 Penampang Profil Baja IWF 200x100	49
Gambar 5.5 Penampang Profil Baja IWF 150x75	50
Gambar 5.6 Detail Profil <i>Bracing</i>	51
Gambar 5.7 Model 1 Struktur Baja 3D Tanpa <i>Bracing</i>	52
Gambar 5.8 Model 2 Struktur Baja 3D dengan <i>Bracing X</i>	52
Gambar 5.9 Model 2 Struktur Baja 3D dengan <i>Bracing V</i>	53
Gambar 5.10 Desain Respons Spektrum	58
Gambar 5.11 Ketidakberaturan Torsi	68
Gambar 5.12 Ketidakberaturan Torsi Tanpa <i>Bracing</i> Arah X	72
Gambar 5.13 Ketidakberaturan Torsi Tanpa <i>Bracing</i> Arah Y	72
Gambar 5.14 Ketidakberaturan Torsi <i>Bracing X</i> Arah X	73
Gambar 5.15 Ketidakberaturan Torsi <i>Bracing X</i> Arah Y	73
Gambar 5.16 Ketidakberaturan Torsi <i>Bracing V</i> Arah X	74

Gambar 5.17 Ketidakberaturan Torsi <i>Bracing</i> V Arah Y	74
Gambar 5.18 Ketidakberaturan Sudut Dalam	75
Gambar 5.19 Denah Bangunan struktur Baja	75
Gambar 5.20 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X	90
Gambar 5.21 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y	91
Gambar 5. 22 Perbandingan <i>Drift Ratio</i> Arah X	95
Gambar 5. 23 Perbandingan <i>Drift Ratio</i> Arah Y	95
Gambar 5.24 Grafik Koefisien stabilitas Struktur Baja tanpa <i>Bracing</i>	102
Gambar 5.25 Grafik Koefisien stabilitas Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> X	102
Gambar 5.26 Grafik Koefisien stabilitas Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> V	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1 Mutu Baja	17
Tabel 3.2 Beban Hidup Merata dan Terpusat	21
Tabel 3.3 Beban Mati pada Bangunan	22
Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a	26
Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v	26
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Periode Pendek	28
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik	29
Tabel 4.1 Permodelan Struktur	37
Tabel 5.1 Beban Hidup Minimum	47
Tabel 5.2 Rekapitulasi Profil pada Bangunan Baja Tanpa Bracing	54
Tabel 5.3 Rekapitulasi Profil pada Bangunan Baja dengan Bracing X dan V	54
Tabel 5.4 Penentuan Nilai K	64
Tabel 5.5 Gaya Seismik Lateral Struktur Baja dengan <i>Bracing V</i>	66
Tabel 5.6 Gaya Seismik Lateral Struktur Baja dengan <i>Bracing X</i>	66
Tabel 5.7 Gaya Seismik Lateral Struktur Baja tanpa <i>Bracing</i>	66
Tabel 5.8 Kontrol parameter respons ragam struktur baja tanpa bracing trial 1	67
Tabel 5.9 Kontrol parameter respons ragam struktur baja dengan bracing X trial 1	67
Tabel 5.10 Kontrol parameter respons ragam struktur baja dengan bracing V trial 1	67
Tabel 5.11 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah X Struktur Baja Tanpa <i>Bracing</i>	69
Tabel 5.12 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah Y Struktur Baja Tanpa <i>Bracing</i>	69
Tabel 5.13 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah X Struktur Baja Dengan <i>Bracing</i> Tipe X	70
Tabel 5.14 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah Y Struktur Baja Dengan <i>Bracing</i> Tipe X	70

Tabel 5. 15 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah X Struktur Baja Dengan <i>Bracing</i> Tipe V	71
Tabel 5.16 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah Y Struktur Baja Dengan <i>Bracing</i> Tipe V	71
Tabel 5.17 Rekapitulasi Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	77
Tabel 5.18 Ketidakberaturan Lateral Tingkat Tanpa <i>Bracing</i> Arah X	79
Tabel 5.19 Ketidakberaturan Lateral Tingkat Tanpa <i>Bracing</i> Arah Y	79
Tabel 5.20 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> X Arah X	79
Tabel 5.21 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> X Arah Y	80
Tabel 5.22 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> V Arah X	80
Tabel 5.23 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> V Arah Y	80
Tabel 5.24 Persentase Ketidakberaturan Berat Struktur Baja Tanpa <i>Bracing</i>	81
Tabel 5.25 Persentase Ketidakberaturan Berat Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> X	81
Tabel 5.26 Persentase Ketidakberaturan Berat Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> V	82
Tabel 5.27 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Tanpa <i>Bracing</i> 5a	84
Tabel 5.28 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Tanpa <i>Bracing</i> 5b	84
Tabel 5.29 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> X 5a	85
Tabel 5.30 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> X 5b	85
Tabel 5.31 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> V 5a	85
Tabel 5. 32 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan <i>Bracing</i> V 5b	86
Tabel 5.33 Cek Simpangan Antar Lantai Tanpa <i>Bracing</i> Arah X	88
Tabel 5.34 Cek Simpangan Antar Lantai Tanpa <i>Bracing</i> Arah Y	88
Tabel 5.35 Cek Simpangan Antar Lantai dengan <i>Bracing</i> X Arah X	88
Tabel 5.36 Cek Simpangan Antar Lantai dengan <i>Bracing</i> X Arah Y	89
Tabel 5.37 Cek Simpangan Antar Lantai dengan <i>Bracing</i> V Arah X	89
Tabel 5.38 Cek Simpangan Antar Lantai dengan <i>Bracing</i> V Arah Y	89
Tabel 5.39 Rasio Simpangan Struktur Baja Tanpa <i>Bracing</i> Arah X	92
Tabel 5.40 Rasio Simpangan Struktur Baja Tanpa <i>Bracing</i> Arah Y	93
Tabel 5.41 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> X Arah X	93
Tabel 5.42 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> X Arah Y	93
Tabel 5.43 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> V Arah X	94

Tabel 5.44 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan <i>Bracing</i> V Arah Y	94
Tabel 5.45 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas Tanpa <i>Bracing</i> Arah X	99
Tabel 5.46 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas Tanpa <i>Bracing</i> Arah Y	99
Tabel 5.47 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan <i>Bracing</i> X Arah X	100
Tabel 5.48 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan <i>Bracing</i> X Arah Y	100
Tabel 5.49 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan <i>Bracing</i> V Arah X	101
Tabel 5.50 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan <i>Bracing</i> V Arah Y	101

ABSTRAK

Wilayah Indonesia berada di atas lempeng tektonik yang termasuk daerah aktif terjadinya gempa. Konsekuensi dari gempa yang memiliki kekuatan besar berpeluang mengakibatkan kerusakan pada bangunan serta menimbulkan korban manusia. Menurut penelitian oleh Gunawan (2019), salah satu metode untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap efek gempa adalah dengan memasang elemen penyangga (*bracing*). Khususnya pada bangunan bertingkat, mereka rentan pada gaya lateral dampak getaran gempa bumi, utamanya bangunan dari kerangka struktur baja yang memiliki kelenturan lebih tinggi dibandingkan struktur beton. Simpangan lateral yang muncul akibat gempa ada kemungkinan mempengaruhi bangunan, bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan struktural jika melebihi batas aman. Dalam penelitian ini, Gedung Rumah Sakit TMC di Kota Magelang menjadi objek studi dengan enam lantai. Analisis dilakukan dalam rangka mengamati sebuah perilaku struktur, sebagaimana periode getaran alami, stabilitas, serta simpangan antar lantai pada bangunan sebelum dan setelah pemasangan *bracing* tipe X dan tipe V.

Proses pemodelan struktur bangunan dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 14. Penghitungan beban gempa merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 menggunakan pendekatan analisis respons dinamis berdasarkan spektrum wilayah Magelang. Penelitian ini membandingkan tiga model berbeda: model pertama mewakili bangunan tanpa *bracing*, model kedua mewakili bangunan dengan penambahan *bracing* tipe X, dan model ketiga mewakili bangunan dengan penambahan *bracing* tipe V. Data hasil analisis ketiga model tersebut kemudian dibandingkan dengan persyaratan yang dijelaskan dalam SNI. Hasil analisis menunjukkan bahwa bangunan tanpa sistem *bracing* mengalami periode getaran alami sekitar 1,41 detik. Namun, pada bangunan yang menerapkan sistem *bracing* tipe X, periode getaran alami menurun menjadi sekitar 0,79 detik, sedangkan pada bangunan yang menggunakan sistem *bracing* tipe V, periode getaran alami menurun menjadi sekitar 0,974 detik. Implikasinya, pemasangan *bracing* pada bangunan dapat mengurangi periode getaran alami dan berpotensi meningkatkan ketahanan struktural terhadap gempa.

Kata kunci : Struktur Portal Baja, *Bracing*, Periode Getar Alami

ABSTRACT

Indonesia's territory lies atop tectonic plates, making it a region prone to seismic activity. The consequences of powerful earthquakes include structural damage loss of human lives. to Gunawan's study (2019), one approach to enhance a building's resilience against seismic forces is the incorporation of bracing elements. This is particularly important for multi-story structures, as they are susceptible to lateral forces generated by earthquake motions, especially in buildings with steel frame structures that exhibit lower flexibility compared to concrete structures. Lateral displacements caused by earthquakes can impact buildings and potentially lead to structural failure if they exceed safe limits. In this study, the TMC Hospital Building in the city of Magelang is examined as a case study. The analysis aims to investigate the behavior of the structure, including natural vibration periods, stability, and inter-story drifts, both before and after the installation of X-type and V-type bracing systems.

The process of modeling the building structure was performed using the SAP2000 software version 14. Seismic load calculations were based on the Indonesian National Standard (SNI) 1726:2019, utilizing a dynamic response spectrum analysis approach specific to the Magelang region. The study compares three different models: the first model representing a bracing, the model representing a with X-type added, and the third model representing a building with V-type bracing added. The analysis results from these three models are then compared against the criteria outlined in the SNI. The analysis outcomes reveal that a building without bracing systems has a natural vibration period of approximately 1.41 seconds. However, for buildings equipped with X-type bracing, the natural vibration period decreases to around 0.79 seconds, while for buildings with V-type bracing, it decreases to about 0.974 seconds. Consequently, the installation of bracing systems in buildings can reduce the natural vibration period and potentially enhance structural resistance against earthquakes..

Keywords : *Steel Portal Structure, Bracing, Natural Vibration Period*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan neagra yang berada di tengah lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Tumbukan antar lempeng menciptakan rangkaian pegunungan sejauh Pulau Sumatra, Jawa, dan Nusa Tenggara. Akibat dari kondisi ini memicu gempa bumi sering terjadi di Indonesia, oleh sebab itu gempa bumi ini harus menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan struktur terutama bangunan gedung sehingga mampu bertahan ketika terjadi gempa bumi dan tidak terjadi kerusakan berat pada struktur bangunan.

Baja adalah bahan konstruksi yang dikenal karena kekuatannya dan fleksibilitas yang luar biasa dibandingkan dengan struktur rangka beton. Seperti yang diungkapkan oleh Bowles (1985), Duktilitas mengacu pada kemampuan suatu bahan untuk mengalami deformasi secara signifikan di bawah gaya tekan dan tarik sebelum terjadi kegagalan struktural. Baja secara konsisten telah menunjukkan kualitas unggulnya selama peristiwa gempa bumi dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya.

Dalam konteks bangunan bertingkat, berbagai beban mempengaruhi struktur tersebut. Aspek dasar desain struktural sangat penting untuk menentukan kekuatan dan stabilitas kerangka terhadap skenario beban yang mungkin terjadi. Beban yang dipertimbangkan meliputi gaya statis dan dinamis, memperhitungkan semua potensi penyebab tekanan pada struktur.

Untuk mereduksi kerusakan akibat bahaya gempa, diperlukan perencanaan struktur gedung yang memiliki konsep struktur yang duktail. Pada struktur baja duktail gedung bertingkat tinggi apabila menerima beban lateral, akan mengalami simpangan searah gaya yang terjadi. Pada konsep desain struktur bangunan duktail gedung bertingkat tinggi, simpangan yang terjadi harus dikendalikan sedemikian rupa sehingga masih berada pada batas-batas keamanan dan kenyamanan. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan dalam mengurangi perpindahan

lateral yang terjadi adalah dengan melengkapi pengaku (bracing) agar diperoleh kestabilan lateral dari struktur.

Kekuatan komponen struktur bangunan dapat ditingkatkan dengan memberikan bresing atau pengaku. Peningkatan kekakuan tersebut dapat dilihat dari penurunan nilai simpangan horizontal yang terjadi. Menurut Dzaky (2018), penambahan bresing tipe X dapat mengurangi simpangan horizontal sebesar 28%. Selain itu penambahan bresing juga dapat mengurangi nilai *drift ratio* sebesar 65%.

Penggunaan bresing dibagi menjadi dua yaitu rangka bresing konsentrik dan eksentrik. Rangka bresing merupakan sistem struktur yang elemen bresing diagonalnya bertemu di satu titik. Rangka bresing konsentrik memiliki beberapa bentuk atau tipe. Beberapa bentuk bresing yang sering digunakan ialah bentuk X, V, inverted V, diagonal K.

Pada penelitian ini bentuk bresing yang digunakan adalah tipe X dan tipe V. Analisis respon seismik struktur bangunan akan dilakukan dibangunan struktur portal baja bartingkat. Bangunan dengan struktur portal baja ini memiliki massa yang lebih ringan bila dibaedingkan dengan bangunan dengan struktur portal beton bertulang. Selain itu bangunan dengan portal baja ini juga memerlukan waktu pekerjaan yang lebih singkat.

Berdasarkan paparan sebelumnya, maka perlu untuk mengetahui perilaku struktur bangunan meliputi nilai simpangan antar lantai, ketidakberaturan horizontal dan vertikal serta nilai stabilitas struktur bangunan setelah dilakukan penambahan variasi bresing. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi tentang bagaimana respon struktur yang terjadi pada gedung struktur baja dan gedung dengan bresing konsentrik terhadap beban lateral akibat gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berlandaskan pada uraian sebelumnya tentang bangunan vertikal dengan penambahan struktur supaya memiliki ketahanan pada gaya gempa, maka diperoleh perumusan permasalahan dibawah ini.

1. Seperti apa pengaruh penggunaan *bracing* X dan *bracing* V terhadap waktu getar alami bangunan akibat beban gempa?
2. Seperti apa pengaruh penambahan struktur *bracing* X dan *bracing* V terhadap simpangan antar lantai struktur?
3. Seperti apa perbandingan stabilitas struktur yang terlihat pada bangunan bertingkat dengan struktur tanpa *bracing* dibandingkan dengan yang telah ditingkatkan menggunakan *bracing* tipe X dan *bracing* tipe V?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah.

1. Mengetahui waktu getar alami bangunan yang menggunakan sistem *bracing* X dan *bracing* V dengan yang tidak menggunakan sistem *bracing*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan sistem *bracing* X dan *bracing* V pada besar simpangan antar lantai bangunan.
3. Mengukur nilai stabilitas struktur yang tercapai oleh bangunan bertingkat dengan kerangka baja tanpa sistem *bracing*, dibandingkan dengan yang telah ditingkatkan stabilitasnya menggunakan sistem *bracing* tipe X dan tipe V.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan diharapkan memberikan manfaat baik bagi praktisi maupun akademisi dalam hal ini adalah mahasiswa. Adapun manfaat yaitu

1. Manfaat penelitian untuk praktisi

Praktisi memperoleh sumber acuan saat menganalisis struktur portal baja bertingkat dengan penambahan *bracing* tipe X dan *bracing* tipe V. Selain itu, informasi tentang dampak penerapan *bracing* tipe X dan tipe V pada struktur portal baja juga diperoleh. Hal ini memberikan gambaran yang berguna, sehingga ketika terlibat dalam proyek yang berkaitan dengan bangunan portal baja bertingkat, referensi tersebut dapat digunakan sebagai panduan atau perbandingan yang berharga.

2. Manfaat penelitian untuk akademisi

Mahasiswa bisa menggunakan studi ini sebagai sumber bacaan untuk memperluas pemahaman dalam bidang Teknik Sipil, sekaligus merujuk padanya saat menyusun Tugas Akhir.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan lingkup penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Struktur yang dianalisis adalah struktur portal baja bertingkat berfungsi sebagai rumah sakit yang terletak di kota Magelang
2. Kondisi tanah menggunakan kondisi tanah daerah Magelang yang diperoleh berdasarkan nilai Vs30.
3. Jenis pengaku (*bracing*) yang digunakan adalah pengaku tipe X dan tipe V.
4. Pelat beton tidak dirancang dan diasumsikan memiliki tebal 10 cm pada pelat lantai dan 8 cm untuk pelat atap
5. Pondasi dimodelkan sebagai jepit.
6. Beban lateral yang digunakan hanya beban gempa
7. Metode rekayasa gempa menggunakan metode respons spektrum.
8. Renacna Anggaran Baiya (RAB) tidak diprehitungkan.
9. Pada struktur ini, pembebanan mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa, sedangkan beban angin tidak dimasukkan dalam perhitungan.
10. Panduan yang dipakai yaitu:
 - a. SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.
 - b. SNI 1727:2020 “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”.
 - c. SNI 1729:2020 “Spesifikasi Gedung baja struktural”.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bagian perencanaan struktural, diperlukan kajian literatur guna memahami dasar-dasar teori yang akan diterapkan. Struktur ialah kumpulan elemen yang direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban sendiri dan beban eksternal, termasuk beban gempa, dengan tidak mengalami deformasi yang melewati batas yang ditetapkan. Struktur dirancang mampu menanggung berbagai jenis beban, termasuk beban vertikal seperti beban mati dan beban hidup, serta beban lateral seperti beban angin dan beban gempa yang diatur oleh regulasi pembebanan.

Sistem *bracing* bisa diterapkan sebagai penahan gaya vertikal layaknya beban gempa, dengan tujuan mengurangi amplitudo getaran di struktur. Penggunaan sistem *bracing* pun bertujuan agar dalam kejadian gempa, gaya lateral yang bekerja pada struktur bukan hanya diteruskan oleh balok dan kolom, melainkan pula diserap oleh sistem *bracing*.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada sejumlah sumber literatur sebelumnya yang digunakan menjadi landasan untuk penelitian yang sedang dilaksanakan. Sumber-sumber tersebut termasuk artikel-artikel dalam jurnal serta tugas akhir dari beragam penelitian. Di bawah ini adalah penelitian terdahulu.

1. Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh B्रेसing Tipe X 1-Story dan Tipe X 2-Story Terhadap Stabilitas Struktur Bangunan Baja Bertingkat Banyak” Penelitian oleh Dzaky Juliarna Maulidin (2018)

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui respon struktur dari bangunan baja bertingkat banyak yang sudah diberi tambahan b्रेसing tipe X dengan 2 variasi serta untuk mengetahui nilai stabilitas struktur. Objek yang diteliti berupa struktur portal baja yang memiliki 15 lantai dengan

tinggi masing-masing lantai 4 meter. Tipe bresing yang digunakan merupakan bresing konsentrik jenis X 1-lantai dan jenis X 2-lantai.

Hasil dari penelitian ini ialah didapatkan nilai waktu getar alami bangunan menurun paling besar pada tipe bresing X 1-story sebesar 55%. Selain itu, penggunaan bresing juga dapat memperkecil simpangan antar lantai pada suatu bangunan. Penggunaan bresing juga menamahi massa bangunan tiap lantai sehingga lebih aman dalam ketidakberaturan vertikal.

2. Penelitian yang berjudul “Pengaruh Pengaku Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Dengan Memperhitungkan Fleksibilitas Fondasi” Penelitian oleh Gilang Arya Perdana (2018)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan bresing terhadap respon elastik struktur dengan memperhitungkan fleksibilitas fondasi yang digunakan.

Objek yang diteliti merupakan struktur portal baja bertingkat. Struktur portal baja yang digunakan mempunyai 15 lantai dengan jenis *open frame* serta diberi tambahan bresing atau pengaku.

Salah satu hasil yang didapatkan dari penelitian ini ialah pengaruh penggunaan bresing pada gempa tertentu berguna untuk mengurangi simpangan relative dan *drift ratio* yang terjadi terutama pada bangunan bertingkat tinggi. Selain itu penggunaan bresing memberi dampak pada fondasi yaitu mengalami rotasi lebih besar dikarenakan kekakuan struktur yang bertambah.

3. Penelitian yang berjudul “Analisis Respon Struktur Bangunan Setback Dengan Dua Penempatan bresing konsentrik tipe V dan Inverted V (X-2 Lantai)” Penelitian oleh Ade Chandra Pramudya (2019)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan perilaku antara struktur bangunan *setback* tanpa bresing dan struktur bangunan setback menggunakan tambahan bresing jenis V dan *inverted V* untuk ketinggian 2 lantai. Selain itu penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui hasil ketidakberaturan pada bangunan *setback*.

Objek yang diteliti berupa struktur bangunan beton bertulang dengan 20 lantai dan 5 lantai *basement*. Gedung ini berupa Hotel Swissbel Solo. Jenis bresing yang digunakan merupakan bresing konsentrik tipe V dan *inverted V*. Bresing yang digunakan terbuat dari baja dan menggunakan profil IWF standar AISC.

Hasil yang didapat dari penelitian ini ialah penambahan bresing pada bangunan *setback* akan menambahkan kekakuan pada bangunan. Semakin besar kekakuan struktur bangunan maka akan semakin kecil simpangan dan waktu getar yang terjadi. Semakin kecil waktu getar maka akan semakin besar gaya geser dasar gempa yang diterima oleh Gedung. Penambahan bresing tipe X 2-lantai pada bangunan *setback* mampu mengurangi simpangan horizontal, simpangan antar lantai dan *drift rasio* yang terjadi.

4. Penelitian yang berjudul “Komparasi Simpangan Bangunan Baja Bertingkat Banyak yang Menggunakan Bracing X dan Bracing K” Penelitian oleh Lucy P.S Jansen dan Ronny Pandelege (2016)

Peneliti yang terdiri dari Lucy P.S Jansen dan Ronny Pandelege, mengambil contoh bangunan bertingkat 20 lantai dengan bahan struktur baja. Tinggi total bangunan mencapai 80 m. Dalam analisis gempa, penelitian ini mengadopsi pendekatan analisis gempa dinamis sama dengan peraturan yang ada, namun belum termasuk analisis untuk struktur bawah seperti pondasi.

Perbandingan efek penggunaan sistem *bracing* tipe X dan sistem *bracing* tipe K pada bangunan baja dilakukan oleh kedua peneliti ini. Tujuannya adalah untuk mengukur sejauh mana beda simpangan yang dihasilkan oleh kedua jenis *bracing* ini. Penelitian ini menerapkan pendekatan untuk mengamati adaptasi simpangan struktur pada situasi tertentu, yakni dalam kerangka portal 3D. Pendekatan perencanaan ketahanan gempa bagi struktur gedung yang digunakan mengacu pada panduan dalam SNI 03-1726-2002.

5. Penelitian yang berjudul “Pengaruh Bentuk *Bracing* Terhadap Kinerja Seismik Struktur Beton Bertulang” Pengkajian oleh Aryandi dan Herbudiman (2017)

Pengamatan yang dilaksanakan oleh Aryandi dan Herbudiman fokus pada pemodelan struktur dengan memakai beton bertulang berlantai 10. Struktur yang diteliti mencakup jenis portal terbuka 1 dan 2 dengan menambahkan berbagai jenis *bracing* seperti Z, X, yang ditempatkan disudut. Dalam penelitian ini, profil *bracing* yang dipakai adalah profil WB8x28. Tujuan utama dari pengamatan ini adalah untuk menguji kapasitas serta kinerja seismic dari tiap melalui pemodelan *pushover*.

Hasil pengamatan menunjukkan *bracing* dengan bentuk X menunjukkan tingkat kekakuan yang tertinggi, dengan perbandingan pergerakan maksimum yang paling besar dibandingkan dengan *bracing* lainnya. Hal ini karena salah satu sambungan *bracing* yang bersandar pada balok (efektivitas kekakuan *bracing* bergantung pada kapasitas penampang balok). Dilihat dari kapasitas gaya geser di lantai bawah, *bracing* tipe X mempunyai rasio peningkatan gaya geser di lantai bawah yang paling signifikan untuk kedua arah dibanding dengan *bracing* lainnya.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Judul	Peneliti dan Tahun Terbit	Objek	Metode	Aspek Penelitian	Hasil Penelitian
1	Analisis Pengaruh Penggunaan B्रेसing Tipe X 1-Story dan Tipe X 2-Story Terhadap Stabilitas Struktur Pada Bangunan Baja Bertingkat Banyak	Dzaky Juliarna Maulidin (2018)	Struktur Portal Baja Bertingkat 10 lantai	Metode Analisis Perencanaan	Perilaku struktur dengan adanya penggunaan <i>bracing</i>	Struktur portal pengaku (<i>braced</i>) dapat memberikan pengaruh kekakuan yang lebih besar sehingga dapat mengurangi simpangan yang terjadi.
2	Pengaruh Pengaku Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Dengan Memperhitungkan Fleksibilitas Fondasi	Gilang Arya Perdana (2018)	Bangunan baja 15 Lantai	Metode Analisis Perencanaan	Pengaruh penggunaan b्रेसing terhadap respon struktur	Pada bangunan yang semakin tinggi pengaruh penggunaan b्रेसing pada gempa sangat berguna untuk mengurangi simpangan relatif dan <i>drift ratio</i> yang terjadi

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Judul	Peneliti dan Tahun Terbit	Objek	Metode	Aspek Penelitian	Hasil Penelitian
3	Analisis Respons Struktur Bangunan <i>Setback</i> Dengan Dua Penempatan B्रेसing Konsentrik Tipe V dan <i>Inverted V</i> (X 2-Lantai)	Ade Chandra Pramudya (2019)	Struktur Beton Bertulang yang memiliki 20 lantai dan 5 lantai <i>basement</i>	Metode Analisis Perencanaan	Perilaku struktur dengan penambahan <i>bracing</i> tipe V dan <i>inverted V</i> (X 2-Lantai)	Penambahan <i>bracing inverted V</i> (X 2-Lantai) lebih unggul mengurangi <i>drift</i> akibat gaya gempa static dibandingkan dengan penambahan <i>bracing</i> tipe V.
4	Komparasi Simpangan Bangunan Baja Bertingkat Banyak yang Menggunakan Bracing X dan Bracing K	Lucy P.S Jansen dan Ronny Pandelege (2016)	Bangunan baja 20 Lantai	<i>Strong Coloumn Weak Beam</i> , Metode Analisis Perencanaan	Perbedaan simpangan antara penggunaan <i>bracing</i> X dengan K	Menunjukkan bahwa <i>bracing</i> dengan tipe X memiliki tingkat kekakuan lebih tinggi dibanding dengan <i>bracing</i> tipe K

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Judul	Peneliti dan Tahun Terbit	Objek	Metode	Aspek Penelitian	Hasil Penelitian
5	Pengaruh Bentuk <i>Bracing</i> Terhadap Kinerja Seismik Struktur Beton Bertulang	Aryandi dan Herbudiman (2017)	Struktur Beton Bertulang 10 Lantai	Metode Pushover	Kapasitas dan kinerja seismic meliputi kekakuan struktur, rasio perpindahan, dan kapasitas gaya geser	<i>Bracing</i> tipe X memiliki sifat paling kaku sehingga kapasitas gaya lantai dasar mengalami peningkatan untuk arah UX dan UY
6	Analisis Pengaruh Penggunaan <i>Bracing</i> Terhadap Respon Seismik Struktur Bangunan Baja Pada Gedung Rumah Sakit	Galang Renaldy Tangkau (2023)	Gedung baja berlantai 6	Metode analisis perencanaan dan metode Respon Spektrum	Pengaruh penggunaan <i>bracing</i> tipe X dan tipe V pada struktur baja	-

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian serupa yang pernah dilakukan sebelumnya dapat dijadikan referensi. Dari rangkuman penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, beberapa persamaan dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya ialah sebagai berikut.

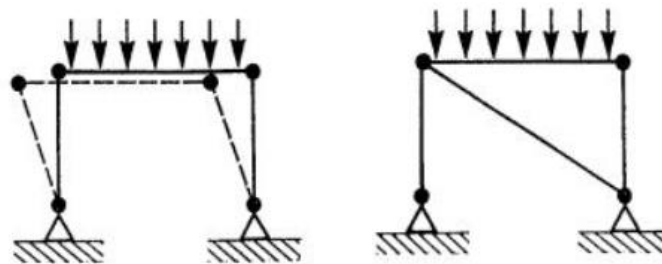
1. Persamaan dengan penelitian Dzaky (2018) ialah menganalisis pengaruh penggunaan bresing pada struktur portal baja bertingkat. Perbedaannya ialah jenis bresing yang digunakan merupakan tipe X 2-lantai.
2. Persamaan dengan penelitian Gilang (2018) ialah analisis dilakukan terhadap struktur portal baja yang diberikan tambahan bresing tipe X. Perbedaannya ialah pada analisis ini fleksibilitas fondasi diperhitungkan.
3. Persamaan dengan penelitian Ade (2019) ialah menganalisis respons struktur dari suatu bangunan dengan diberi tambahan bresing atau pengaku. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan ialah jenis bangunan yang diteliti. Pada penelitian sebelumnya oleh Ade (2019) objek yang diteliti ialah bangunan dengan struktur beton bertulang. Selain itu objek yang diteliti merupakan bangunan setback.
4. Persamaan dengan penelitian Lucy P.S Jansen dan Ronny Pandelege (2016) ialah analisis dilakukan terhadap struktur portal baja yang diberikan tambahan bresing. Perbedaannya ialah pada analisis ini jenis bresing yang digunakan ialah tipe K.
5. Persamaan dengan penelitian Aryandi dan Herbudiman (2017) ialah pada analisis ini jenis bresing yang digunakan merupakan tipe X dan tipe V. Perbedaannya ialah jenis bangunan yang diteliti merupakan bangunan dengan struktur beton bertulang.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Stabilitas Bangunan

Persyaratan penting bagi suatu bangunan agar memenuhi standar dan dapat digunakan adalah memiliki kestabilan struktur yang kuat. Kestabilan ini merujuk pada kemampuan bangunan untuk tetap tegak dan tidak mengalami keruntuhan ketika terkena gaya eksternal. Gambaran mengenai kestabilan struktur bisa dilihat pada ilustrasi 3.1.



Gambar 3.1 Pengaruh Geya Dari Laur Terhadap Struktur Bnagunan

Pada Ilustrasi (a), struktur yang simpel dapat mengalami *deformasi* yang signifikan saat dikenai beban eksternal. Kontrast dengan hal ini, pada Ilustrasi (b), struktur yang diperkuat dengan pengaku (*bracing*) dianggap stabil meskipun mendapat beban dari luar. Penerapan pengaku, selain untuk menjaga stabilitas struktur, juga umumnya digunakan sebagai pencegah simpangan (*drift*) antara lantai.

Simpangan (*drift*) merujuk pada perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan berdekatan, juga lebih tepatnya, simpangan mendatar antara tingkat-tingkat bangunan (defleksi horizontal dari lantai ke lantai). Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat gaya gempa memiliki signifikansi penting yang dilihat dari tiga perspektif berbeda (Naeim, 2000), yaitu :

- 1) Stabilitas Struktural (*strcutural stability*).
- 2) Integritas Arsitektural (*architcetural integirty*) dan potnesi kersakaan pada kompoenn Non-struktural.
- 3) Kenyamanan manusia (*human comfort*), saat gempa terjadi dan pasca gerakan gempa pada bangunan.

3.2 Analisis Beban Gempa NominaI Statik Ekivalen

Analisis beban gempa ekivalen adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi respons struktur gedung pada pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekivalen. Berdasarkan pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan, pendekatan analisis beban gempa ekivalen dapat diterapkan pada gedung yang mempunyai pola struktur yang teratur. Informasi mengenai kategori risiko bangunan dapat ditemukan dalam Tabel 1 - Kategori Risiko Bangunan untuk Gedung dan Non-Gedung pada Beban Gempa dalam SNI 1726:2019.

3.2.1 Gaya Geser Dasar Nomianl Statik Ekivalen (V)

Gaya geesr dasar nominal ekiavlenn adalah gaya geser horiznotal tottal yang beasrnya dihitnug dengan persamaan breikut.

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} W_t \quad (3.1)$$

dengan : C_1 = Faktor respnos gempa

I = Faktor keutamaan gedung

R = Faktor reduksi gempa

V = Gaya geser dasar nominal ekivalen (kg)

W_t = Berat total struktur bangunan (kg)

3.2.2 Faktor Respons Gempa

Faktor respnos terhadap gmepa memiliki peran penting dalam memastikan bahwa struktur mampu menahan beban gempa yang berpotensi menyebabkan kerusakan serius. Koefisien dasar gempa dihitung berdasarkan zona gempa lokasi bangunan, dengan mempertimbangkan periode grear alami sturktur. Dalam kasus

struktur portal baja yang ditambah dengan pengaku, rumus yang digunakan untuk menghitung periode getar alami adalah sebagai berikut.

$$T = \frac{0,09 \cdot H}{\sqrt{B}} \quad (3.2)$$

dengan.

- T = Waktu Getar (dtk)
- H = Tinggi Total Struktur (m)
- B = Lebar Struktur (m)

3.2.3 Total Berat Struktur (Wt)

Berat sendiri struktur, beban mati, beban hidup yang telah direncanakan, adalah berat dari total berat bangunan.

3.2.4 Faktor Reduksi Gempa

Faktor reduksi gempa merupakan ukuran kemampuan struktur dalam menahan gempa tanpa mengalami keruntuhan. Faktor reduksi gempa dipengaruhi oleh berbagai faktor, di mana salah satunya adalah tingkat daktilitas yang dimiliki oleh bangunan yang dianalisis.

3.2.5 Waktu Getar natural (T)

Periode getaran alami adalah faktor yang signifikan dalam merancang struktur bangunan yang tahan gempa. Oleh karena itu, memiliki informasi awal tentang periode getaran alami struktur tersebut sangatlah penting dalam perhitungan gaya geser dasar akibat gempa. Periode getar struktur dievaluasi menggunakan metode Rayleigh, dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_1 = 0,63 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_{1,i} \cdot d_i}} \quad (3.3)$$

dengan

- d = Simpangan horizontal struktur pada tingkat ke – i
- F_i = Gaya horizontal pada tingkat ke – i akibat gaya gempa (kg)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- W_i = Berat lantai ke – i (kg)

Periode getaran alami yang dihitung menggunakan metode Rayleigh harus diusahakan mendekati nilai periode getaran awal yang diasumsikan. Hal ini perlu diperhatikan karena jika periode getaran terlalu rendah, maka faktor respons gempa I akan terlalu besar. Sebaliknya, jika periode getaran (T) terlalu tinggi, faktor respons gempa I akan terlalu rendah, yang pada akhirnya akan menghasilkan gaya horisontal akibat gempa (F_i) yang lebih kecil.

3.3 Material

3.3.1 Spesifikasi Material

Standar AISC/ANSI 341-10 menyatakan bahwa tegangan leleh minimum (F_y) seharusnya tidak melampaui 50 ksi (345 MPa). Baja dengan mutu lebih tinggi dari 345 MPa dianggap memiliki kelenturan yang tidak memadai untuk digunakan dalam struktur baja yang tahan gempa.

3.3.2 Kekakuan Material Ekspektasi

Saat merancang kekuatan nominal (R_n) untuk kondisi betas di wilayah elemen tumpuan (dalam hal ini *link*), kekakuan nominal dapat dihitung berdasarkan tegangan leleh (F_y). Untuk perancangan elemen lainnya (seperti bresing, balok link, dan kolom link), diperlukan penggunaan tegangan leleh ekspektasi ($R_y F_y$) dan kuat tarik ekspektasi ($R_t F_u$), sebagaimana disebutkan dalam Tabel A3.1 ANSI/AISC 341-10. Nilai $R_y = 1,3$ dan $R_t = 1,2$ untuk mutu baja BJ 41 ($F_y = 210$ Mpa) telah dijelaskan.

Persyaratan material baja menurut AISC 360-10 menerapkan sifat-sifat mekanis yang serupa, seperti yang diuraikan di bawah ini.

1. Modulus Elastisitas Baja I = 200.000 MPa
2. Modulus Geser (G) = 80.000 MPa
3. Angka Poisson (ν) = 0,3
4. Koefisien Muai Panjang (α) = $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Klasifikasi jenis baja menurut SNI 03-1729-2020 dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Mutu Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, F_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, F_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

3.4 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa

Menurut peraturan SNI-03/1729/2020, bangunan baja bertingkat tahan gempa, baja yang digunakan pada “Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Terbatas (SRPMT), Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK), Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK), Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE), Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB)”, harus memenuhi persyaratan berikut.

1. Rasio tegangan leleh baja terhadap tegangan tarik puncaknya kurang dari 0,85.
2. Tegangan dan regangan harus memiliki daerah yang cukup panjang untuk dianalisis.
3. Pengujian tarik uniaxial pada spesimen baja harus menunjukkan perpanjangan maksimal tidak kurang dari 20%, dalam rentang pengukuran sepanjang 50 mm.
4. Mudah dalam proses pengelasan.

3.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Bangunan yang memiliki ketinggian yang signifikan akan berkontribusi terhadap peningkatan simpangan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kerusakan baik pada struktur maupun komponen yang bukan struktural. Dalam sistem rangka pemikul momen, terdapat variasi jenis berdasarkan sifat kerangka penahan momen, sebagaimana yang diuraikan berikut ini.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SRPMB diharapkan memiliki kemampuan deformasi yang signifikan saat dibebani gaya-gaya yang berasal dari beban gempa yang telah direncanakan. Meskipun daktilitas pada SRPMB cenderung rendah, namun kekakuan SRPMB lebih besar dibandingkan dengan SRBPMK.

2. Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK)

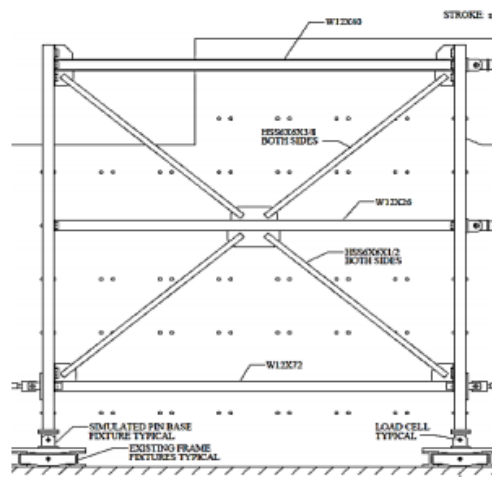
SRBPMK merupakan elemen dalam struktur rangka batang pemikul momen yang ditempatkan secara horizontal. Bagian khusus dari sistem ini terdiri dari beberapa panel yang memiliki batang-batang yang dirancang secara spesifik. Sistem ini direncanakan untuk mengalami deformasi yang signifikan pada segmen khusus saat menahan gaya-gaya akibat beban gempa yang telah direncanakan. Sementara itu, kolom dan bagian lain selain dari segmen khusus harus dapat direncanakan dalam keadaan elastis sebagai respons terhadap gaya yang timbul dari segmen khusus saat mengalami deformasi plastis hingga mencapai tahap perkerasan regangan.

3.4.2 Sistem Rangka Bracing Konsentrik

Penggunaan sistem bracing dimaksudkan untuk memelihara stabilitas struktur terhadap gaya lateral serta menjaga keseluruhan stabilitas bangunan. Rangka *bracing konsentrik* merupakan perkembangan dari sistem *Momen Resisting Frames* (MRF), karena dalam rangka *bracing konsentrik*, kemampuannya dalam menahan gaya lateral ditingkatkan dan memiliki tingkat kekakuan yang optimal. Di sisi lain, MRF dirancang untuk menahan momen saja. Rangka *bracing konsentrik* dapat dibedakan menjadi dua jenis sistem, yakni Sistem Rangka Bracing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bracing Konsentrik Khusus (SRBKK).

1. Sistem Rangka Bracing Konsentrik Biasa (SRBKB). Sistem SRBKB ini diharapkan mampu mengalami deformasi gearkan secara terbatas, apabila struktur dibebani oleh gaya yang berasal dari beban gempa yang telah direncanakan.

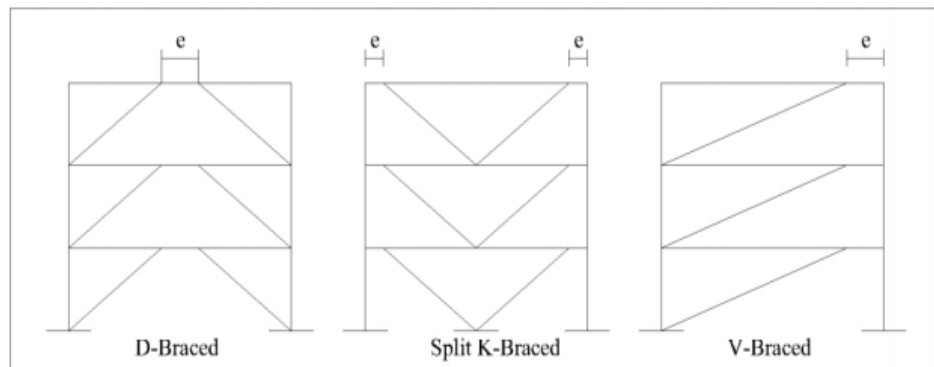
2. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) menunjukkan tingkat daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan SRBKB. Penurunan kekautannya lebih rendah saat batang bresing tekan mengalami tekukan. Oleh karena itu, tingkat kelangsingannya perlu diperhitungkan dengan baik. Berikut ini adalah Gambar 3.2 yang mengilustrasikan contoh bresing varisai X 2-lantai.



Gambar 3.2 Sistem Bresing X 2-Lantai

3.4.3 Sistem Rangka Bresing Eksentrik

Dalam Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE), terdapat bagian khusus pada balok yang disebut *link* yang direncanakan secara spesifik. *Link* pada dasarnya merujuk pada bagian balok yang dirancang untuk menyerap dan mengantisipasi energi saat terjadi gempa. Dalam SRBE, harapannya adalah agar *link* mengalami deformasi yang signifikan saat menahan gaya yang diakibatkan beban gempa yang telah dirancang. Bagian struktur di luar *link* direncanakan tetap dalam keadaan *sustain* sebagai respons terhadap gaya yang dihasilkan oleh *link* saat mengalami deformasi plastis mencapai tahap perkerasan regangan. Tegangan leleh pada bahan baja yang digunakan tidak boleh melebihi 350 MPa. Contoh dari jenis rangka bresing eksentrik dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Rangka Bresing Eksentrik

3.5 Kekakaun Sturktur

Kestabilan struktur saat menghadapi beban gempa sangat dipengaruhi oleh kekakuan struktur itu sendiri. Struktur bangunan yang memiliki kekakuan yang optimal mampu menahan beban gempa dengan efisien, mengurangi simpangan yang terjadi selama getaran. Kekakuan ini menjadi salah satu karakteristik penting dari struktur bangunan, bersanding dengan faktor massa. Keduanya memiliki hubungan yang unik yang disebut elgenproblem atau kraakteristik intrinsik. Hubungan ini akan meenntukan nilai frakuensi sudut dan periode gatar struktur (T).

Dalam prinsip desain bangunan tahan gempa, kolom diharapkan memiliki kekuatan yang lebih besar daripada balok, prinsip ini dikenal dengan SCWB (*Strong Column Weak Beam*). Dalam prinsip (*shear building*) balok pada lantai diasumsikan tetap horizontal sebelum dan setelah gempa terjadi. Penggunaan plat lantai yang terhubung secara kaku dengan balok diharapkan dapat meningkatkan kekakuan balok. Dalam konteks ini, kekakuan setiap kolom dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$K_c = \frac{12EI}{H^3} \quad (3.4)$$

Berdasarkan data mengenai struktur, kekakuan dapat dihitung secara simultan atau secara kumulatif pada setiap tingkat, yang merupakan hasil

penjumlahan dari kekakuan tiap kolom. Hal ini dapat diungkapkan dalam bentuk rumus sebagai berikut.

$$k_t = \sum k_c \quad (3.5)$$

Semakin tinggi kekakuan balok, maka semakin efektif kemampuannya dalam menghambat rotasi pada ujung kolom. Hal ini akan berkontribusi pada peningkatan kekakuan pada kolom.

3.6 Penbebanan

3.6.1 Beban Hidup

Perhitungan beban hidup direncanakan mengikuti pedoman yang tertuang dalam peraturan SNI 1727-2020 Tabel 4-1. Rincian lebih lanjut dapat ditemukan dalam Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Beban Hidup Marata dan Terpasat

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	
Ruang komputer	100 (4,79)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap	100 (4,79) ^a	
Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	100 (4,79) ^a	
Pabrik		
Ringan	125 (6,00) ^a	2000 (8,90)
Berat	250 (11,97) ^a	3000 (13,40)

3.6.2 Beban Mati

Beban mati meliputi beban sendiri dari bangunan yang ada pada perencanaan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Beban Mati pada Baegunan

Material	Berat	Keterangan
Bahan Bangunan		
Baja	7850	kg/m ³
Beton Bertulang	2400	kg/m ³
Pasir	1800	kg/m ³
Mortar/spesi 1cm	2200	kg/m ³
Komponen Gedung		
Keramik per cm tebal	24	kg/m ²
Pasangan bata ringan setengah bata	60	kg/m ²
Adukan semen per cm tebal	21	kg/m ²
Langit – langit tanpa penggantung tebal 4 mm	11	kg/m ²
Penutup atap genteng dengan reng dan usuk	50	kg/m ²
Ducting mekanikal	20	kg/m ²
Floordeck alsun FD 600	10.1	kg/m ²
Penutup atap	50	kg/m ²
Sagrod (diameter 10mm)	6	kg/m ²

3.6.3 Redundansi

Faktor redundansi (ρ) harus diterapkan pada kedua arah ortogonal dalam sistem struktur pemikul gaya seismik, dengan nilai ρ yang diizinkan setara dengan 1,0 sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.4.1 seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

1. Desein sturktur untuk kategori seisnik tingkat B atau C dalam perencanaan.
2. Penghitungan simpangan antar lantai dengan mempertimbangkan pengaruh P-delta.

3. Desain komponen nonstruktural.
4. Perancangan elemen struktural untuk aplikasi selain konstruksi gedung.
5. Sambungan lewatan, desain elemen kolektor, dan sambungan dengan memperhitungkan dampak kombinasi beban seismik, termasuk faktor keamanan tambahan.
6. Desain elemen struktural atau sambungan dengan mempertimbangkan kombinasi pengaruh beban seismik, termasuk faktor knat tambahan.
7. Desain dinding struktural untuk menanggapi gaya kaluar dari biding, termasuk sistem pendukungnya.

Berdasarkan ketentuan yang diuraikan dalam SNI 1726-2019, pasal 7.3.4.2, untuk bangunan dengan katagori desain seiamik D yang memiliki keberaturan tarsi berlebihan sesuai dengan Tabel 3.4, khususnya tipe 1b, faktor redundansi (ρ) harus 1,3. Perlu diperhatikan bahwa kategori desain seismik E dan F tidak diizinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. Pada kasus struktur dengan katagori D, E, atau F yang tidak menunjukkan ketidakberaturan torsi berlebihan, nilai rekomendasi untuk faktor redundansi (ρ) adalah 1,2, kecuali jika salah satu dari dua kondisi yang disebutkan dipenuhi, yang memungkinkan nilai ρ dianggap sebagai 1,0 sebaegai berikut.

1. Setiap lantai yang mampu menahan lebih dari 35% gaya geser dasar dalam arah yang dipertimbangkan perlu mematuhi ketentuan yang tertera pada SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.1 Tabel 15 mengenai persyaratan untuk lantai yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar.
2. Struktur yang memiliki denah teratur di semua lantai dengan sistem pemikul gaya seismik harus memiliki minimal dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangkai pada setiap sisi struktur dalam setiap arah ortogonal di lantai yang mampu menahan lebih dari 35% gaya geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser perlu dihitung dengan membagi panjang dinding geser dengan tinggi lantai, atau dua kali panjang dinding geser dengan tinggi lantai (h_{sx}) untuk struktur rangka yang lebih ringan.

3.6.4 Beban Gempa

Terdapat beragam katagori risiko yang telah ditetapkan oleh SNI 1726-2019 untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung, yang dijelaskan dalam Tebel 3 mengenai Kategori Risiko Bungalow Gedung dan Non-Gedung untuk Beben Genpa halaman 24. Untuk berbagai ketegori risiko tersebut, dampak gempa rencana terhadapnya harus diperhitungkan dengan mengalikan dengan faktor keutanaan gempa I_e sesuai Tebel 3.5.

1. Faktor Keutamaan Gempa.

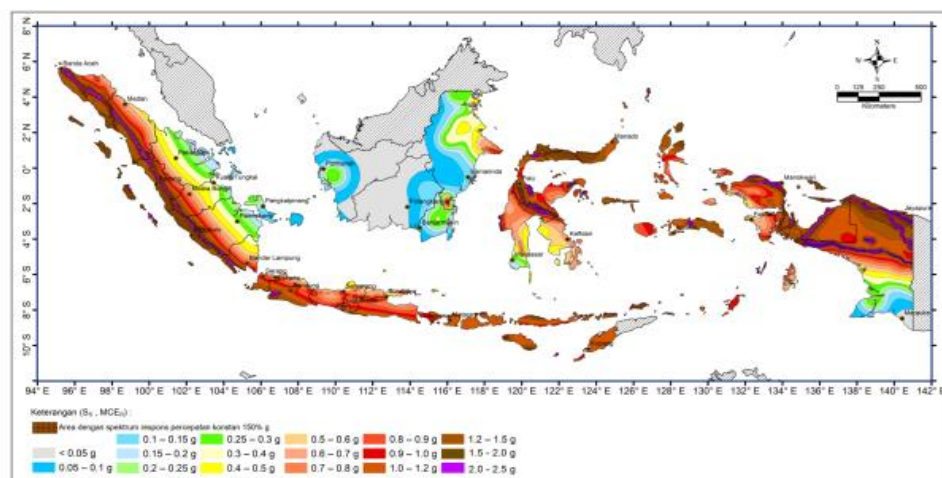
Kategori risiko pada sturktur gedung dan non-gedung sesnai Tabel 3 dalam SNI 1726:2019, dampak gempa yang direncanakan perlu dihitung dengan mengalikan fnktor keutamaan gempa I_e sesuai Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor Kautamaan Gempa

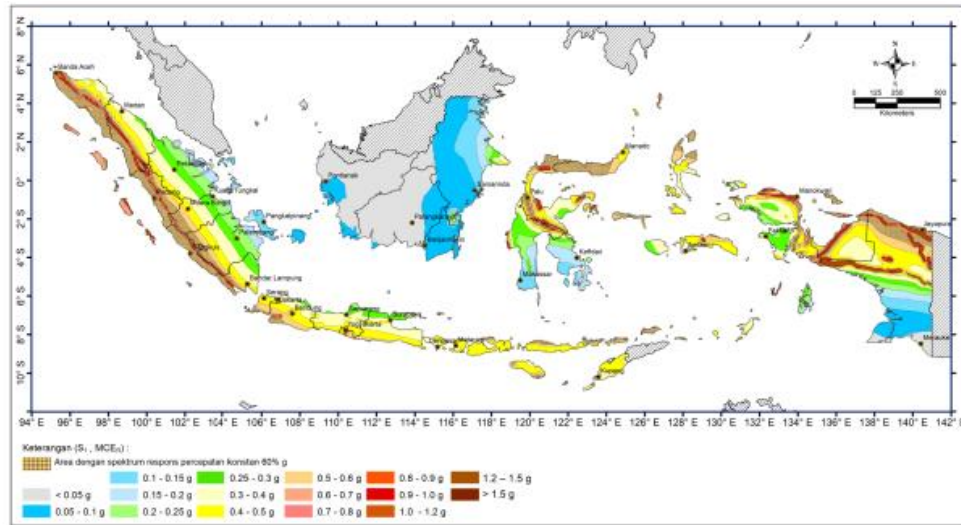
Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_g)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2. Parameter Percepatan Tanah

Nilai paramater percepatan ditantukan berdaesarkan lampirn n yang ada di SNI 1726:2019 seperti Gaembar 3.4, Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.4 Pata Nilai Ss



Gambar 3.5 Peta Nilai S_1

3. Koefisien sitas dan parameter respon spektral percepatan gempa maximum yang dipertimbangkan resiko – tertarget (MCE), percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (3.6)$$

$$S_{MI} = F_v \times S_1 \quad (3.7)$$

dengan.

S_S = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R untuk periode Pendek

S_1 = Parameter repons spektral percepatan gempa MCE_R untuk periode 1,0 dtk

Untuk mendapatkan nilai F_a dan F_v dapat menggunakan interpolasi linear pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.5 Koefisien Situs, Fa

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

Tabel 3.6 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (<i>MCEr</i>) terpetakan pada 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	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

4. Parameter Percepatan Desain

Parameter percepatan desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{DI}) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.8)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.9)$$

5. Spektrum Respons Desain

Varibel yang harus diperhitungkan terlebih dahulu adalah sebagai berikut.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (3.10)$$

$$T_S = \frac{SD1}{SDS} \quad (3.11)$$

Ketentuan yang harus dipenuhi pada spektrum respon desain adalah sebagai berikut.

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain ($S\alpha$) harus diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S\alpha = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.12)$$

- b. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain ($S\alpha$) sama dengan S_{DS} .
- c. Untuk periode yang lebih besar dari T_S tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral desain, $S\alpha$, diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S\alpha = \frac{SD_1}{T} \quad (3.13)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, $S\alpha$, diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S\alpha = \frac{SD_1 \times T_L}{T^2} \quad (3.14)$$

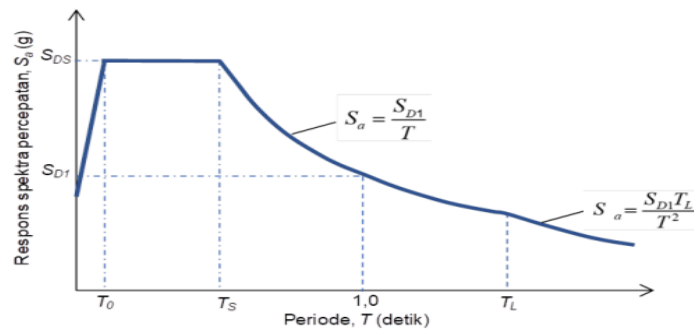
dengan.

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

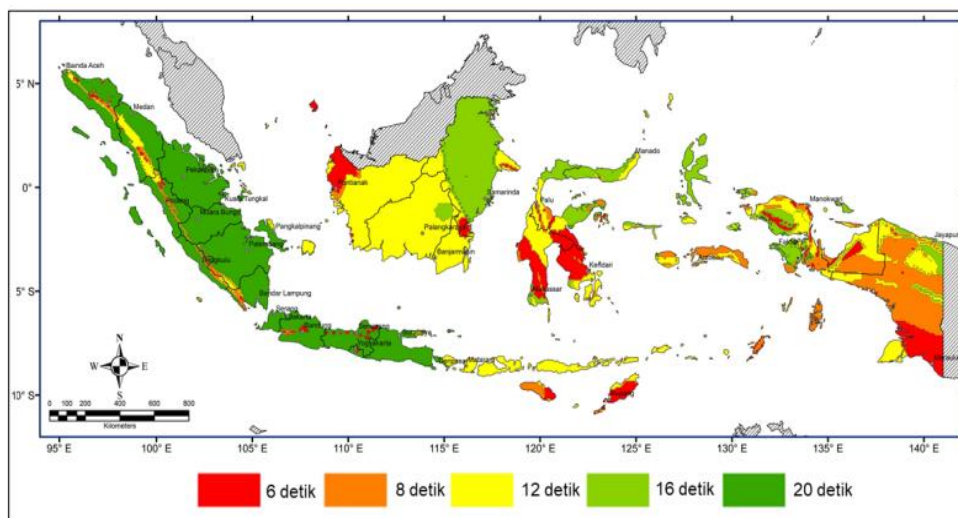
SD_1 = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 dtk

T = periode getal fundamental struktur

T_L = peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 yang nilainya diambil dari Gambar 3.7



Gambar 3.6 Spectrum Respon Dasain



Gambar 3.7 Pata Teansi Periode Panjang T_L, Wilayah Indonesia

6. Kategori Dasain Seisnik

Kategori desain sesimik periode pendek dan periode 1 detik dapat ditentukan berdasarkan perbandingan parameter percepatan desain dan kategori resiko. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.7 Ketegori Desain Seismik Periode Pendek

Nilai S _{Ds}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S _{Ds} < 0,167	A	A
0,167 ≤ S _{Ds} < 0,33	B	C
0,33 ≤ S _{Ds} < 0,50	C	D
0,50 ≤ S _{Ds}	D	D

Tabel 3.8 Kaetgori Deain Seimik Periode 1 Detik

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

7. Menentukan Katagori Dasain Seismik

Struktur harus memenuhi kategori desain seismik sesuai dengan acuan SNI 1726:2019. Menurut ketentuan tersebut, struktur dengan tingkat risiko I, II, dan III yang berada diwilayah di mana parameter respons spectral percepatan pada perlude 1 detik (S_1) memiliki nilai lebih basar atau sama dangan 0,75 akan dianggap sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Sementara itu, struktur dengan tingkat risiko IV yang berlokasi di daerah di mana parameter respons spektral pada periode 1 detik (S_1) memiliki nilai lebih basar atau sama dangan 0,75 akan dianggap sebagai struktur dengan kategori desain seismik sesuai SNI 1726:2019 Pasal 6.5 dan Tabel 8 mengenai kategori desain seismik parameter respons percepatan pada periode pendek, serta Pasal 6.5 dan Tabel 9 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

8. Pemilihan Sistem Struktur

Pemilihan sistem struktur harus mematuhi pembatasan yang telah ditetapkan untuk sistem struktur dan ketinggian struktur, sebagaimana yang dijelaskan dalam Tabel 12 halaman 49 SNI 1729:2019. Koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (Cd) harus diterapkan dalam perhitungan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain. Setiap sistem pemikul gaya seismik yang dipilih harus didesain dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus untuk sistem tersebut sebagaimana diuraikan dalam Pasal 7.2.2 SNI 1729:2019 dan Tabel 12 mengenai Faktor R , Ω_0 , dan Cd untuk sistem pemikul gaya seismik.

9. Geser Dasar Seismik

Gaya geser seismik (v) pada arah yang telah ditetapkan perlu dihitung mengikuti rumus berikut ini.

$$V = C_s W \quad (3.15)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

dengan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

S_{DS} = parameter respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sebagai berikut.

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.17)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.18)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.19)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.20)$$

dengan :

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

T = periode fundamental struktur yang ditentukan

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang ditetapkan

10. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) ditentukan persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.21)$$

keterangan :

h_n adalah ketinggian struktur (m), koefisien C_t , dan x ditentukan dari Tabel 18 pada SNI 1726:2019

11. Distribusi Vertical Gaya Seismik

Gaya seismic lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.22)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.23)$$

dengan

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismic efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur,
 untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$,
 untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$,
 untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

12. Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismic di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.24)$$

keterangan :

F_i adalah bagian dari geser dasar seismic (V) pada tingkat ke- i (kN).

3.7 Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

LRFD (*Load And Resistance Factor Design*) merupakan metode perencanaan struktur bangunan yang mempertimbangkan faktor beban, faktor ketahanan

material. Prinsip utama dari konsep desain ini adalah memastikan bahwa tegangan yang terjadi pada setiap elemen struktur harus lebih rendah daripada tegangan yang diizinkan. Dengan kata lain, beban yang bekerja harus lebih kecil dari kapasitas kekuatan elemen struktur yang dibagi dengan faktor keamanan atau *safety factor*.

Metode LRFD menghasilkan perbandingan yang lebih khusus antara beban (Q) dan resistensi (R_n). Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan persyaran faktor keamanan.

$$\phi R_n \geq \sum y_i Q_i \quad (3.25)$$

dengan

ϕ = Faktor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau

i = Menunjukkan berbagai kondisi

Q_i = Pengaruh beban nominal

Y_i = Faktor beban terkait beban Q_i yang ditinjau

R_n = Kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

Untuk kekuatan nominal resistensi R_n dikalikan dengan faktor resistensi (reduksi kekuatan) ϕ untuk mendapatkan kekuatan desain.

3.8 Kombinasi Pembebanan dalam LRFD

Dalam perencanaan struktur baja terdapat dua pendekatan yang umum digunakan, yaitu berdasarkan tegangan kerja (*Allowable Stress Design / ASD*) dan perencanaan kondisi batas (*Load and Resistance Factor Design / LRFD*). Metode ASD telah digunakan selama bertahun-tahun, namun dalam dua dekade terakhir, perencanaan struktur beralih ke metode LRFD yang lebih rasional dan berdasarkan konsep probabilitas (Setiawan, 2008). Sesuai dengan peraturan yang berlaku dalam SNI 1727:2020 mengenai beban minimum untuk kombinasi pembebanan dasar dalam metode desain struktur, adalah sebagai berikut.

1. $1,4(D+F)$
2. $1,2(D+F+T) + 1,6(L+H) + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D \pm 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (0,5L \text{ atau } 0,8W)$
4. $1,2D \pm 1,6W + 0,5L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D \pm 1,0E + 0,5L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$

$$6. 0,9D \pm 1,6W + 1,6H$$

$$7. 0,9D \pm 1,0E + 1,6H$$

dengan.

D = Beban mati

E = Beban Gempa

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

3.9 Perencanaan Profil Bresing

Pada tipe portal terbuka, terjadi simpangan antar tiangkat yang cukup besar khususnya pada tingkat bagian bawah. Untuk mengatasi potensi masalah yang ditimbulkan oleh simpangan antar tingkat pada bagian bawah, diperlukan peningkatan kekakuan struktur. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menerapkan sistem *bracing*. Rangka *bracing* konsentrik terdiri dari tiga jenis, yaitu Sistem Rangka bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka bresing Konsentrik Khusus (SRBKK). SRBKB dirancang agar mampu mengalami deformasi inelastik yang terbatas ketika diberi beban dari gempa rencana. Sementara itu, SRBKK didesain agar dapat mengalami deformasi inelastik yang lebih signifikan akibat gaya gempa rencana. Pemilihan bresing sebagai komponen penahan lateral harus memenuhi parameter yang telah diatur oleh SNI 1729:2020.

1. Batang bresing harus bersifat kompak ($\lambda < \lambda_p$)

a. Cek kekompakan sayap

$$\lambda_{\text{sayap}} < \lambda_c \text{ sayap}$$

$$\lambda_{\text{sayap}} = \frac{b}{2xtf} \quad (3.26)$$

$$\lambda_c \text{ sayap} = 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.27)$$

b. Cek kekompakan badan

$$\lambda \text{ badan} < \lambda c \text{ badan}$$

$$\lambda \text{ badan} = \frac{H-(2xtf)}{tw} \quad (3.28)$$

$$\lambda c \text{ badan} = 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.29)$$

2. Cek kelangsingan profil *bracing*

a. Rasio kelangsingan

$$= \frac{K \times L}{r \text{ min}}$$

b. Batas rasio kelangsingan

$$= 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

c. Kontrol kelangsingan profil

$$= \frac{K \times L}{r \text{ min}} < 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} < 200$$

3. Perencanaan kompoen tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik izin, P_n/Ω_t , komponen struktur tarik harus menjadi nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan kondisi batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

a. Untuk leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = F_y A_g \quad (3.30)$$

$$\phi_t = 0,9 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_t = 1,67 \text{ (DKI)}$$

b. Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto

$$P_n = F_u A_e \quad (3.31)$$

$$\phi_t = 0,75 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_t = 2 \text{ (DKI)}$$

dengan

A_e = luas neto efektif (mm^2)

A_g = luas bruto dari komponen struktur (mm^2)

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi (MPa)

F_u = kekuatan tarik minimum terspesifikasi (MPa)

4. Perencanaan komponen tekan

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus ditentukan berdasarkan keadaan batas berupa tekuk lentur.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.32)$$

Tegangan kritis F_{cr} , ditentukan sebagai berikut

a. Bila $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y \quad (3.33)$$

b. Bila $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (3.34)$$

dengan

A_g = luas penampang melintang bruto komponen struktur (mm^2)

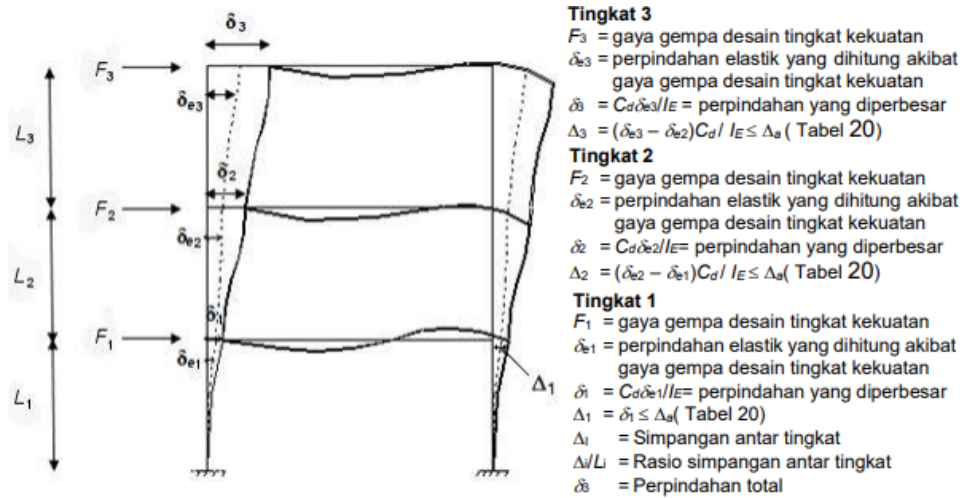
E = modulus elastisitas baja (200.000 MPa)

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi untuk tipe baja yang digunakan

r = radius girasi (mm)

3.10 Simpangan Antar Lantai

Perlu dihitung simpangan antar lantai desain (Δ) sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6. Ini melibatkan perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah, serta perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah yang sedang ditinjau. Jika pusat massa tidak sejajar secara vertikal, maka dapat dihitung simpangan di dasar tingkat dengan memproyeksikan pusat massa tingkat di atasnya secara vertikal. Gambaran lebih lanjut tentang penentuan simpangan antar tingkat dapat ditemukan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Anter Tingkat

(Sumber: SNI 1726:2019)

Simpangan pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{Cd\delta_{xe}}{I_e} \quad (3.35)$$

dengan

Cd = faktor pembesaran simpangan lateral dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2

δ_{xe} = simpangan di tingkat x yang ditentukan dengan analisis elastic,

I_e = faktor keutamaan gempa

Simpangan antar lantai dalam desain (Δ) sesuai dengan perhitungan simpangan tidak boleh melebihi simpangan antar lantai yang diizinkan (Δ_a) sebagaimana dinyatakan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 mengenai batas simpangan antar lantai yang diperbolehkan ($\Delta_a^{\alpha,b}$).

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Cara pendekatan ilmiah yang diikuti dalam rangka mengatasi atau menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan disebut sebagai metode penelitian. Menurut Sugiyono (2010), metode penelitian adalah langkah-langkah ilmiah untuk meraih data yang sah, dengan tujuan untuk menemukan, mengembangkan, serta menguji pengetahuan tertentu sehingga akhirnya dapat dimanfaatkan untuk memahami, menyelesaikan, dan mengantisipasi masalah. Bab ini akan mengulas tentang data penelitian dan proses-proses penelitian yang akan dijalankan.

4.2 Lokasi Penelitian

Rancangan bangunan ini ditujukan untuk berfungsi sebagai rumah sakit, dengan kategori risiko bangunan IV. Bangunan ini berdiri di atas tanah sadang dan terletak di Tempuran Kota Magelang.

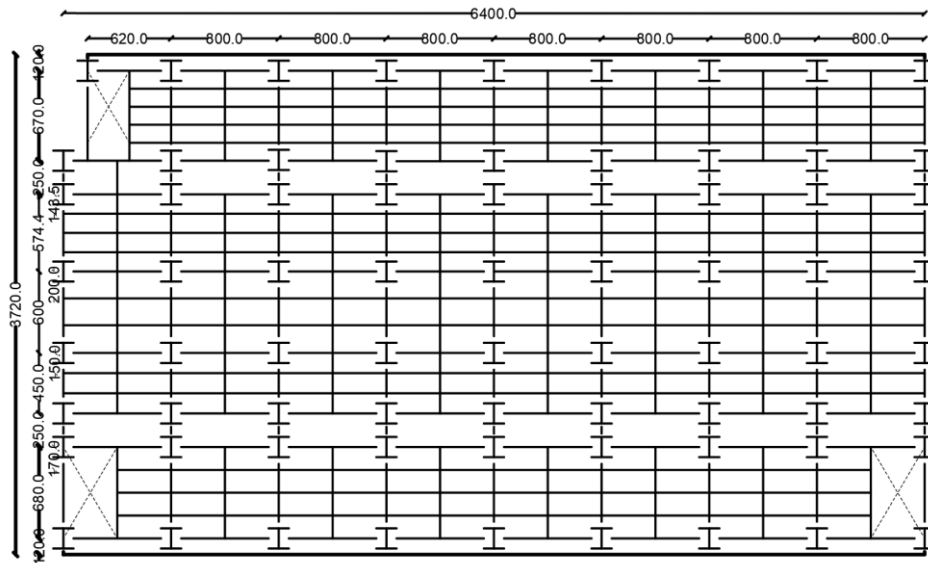
4.3 Pemodelan Struktur

Struktur modal yang diterapkan pada objek penelitian merupakan rangka baja dengan 6 tingkat lantai dan tinggi total bangunan 21 meter. Penelitian ini melibatkan tiga variasi pemodelan yang dijabarkan dalam Tabel 4.1 di bawah ini.

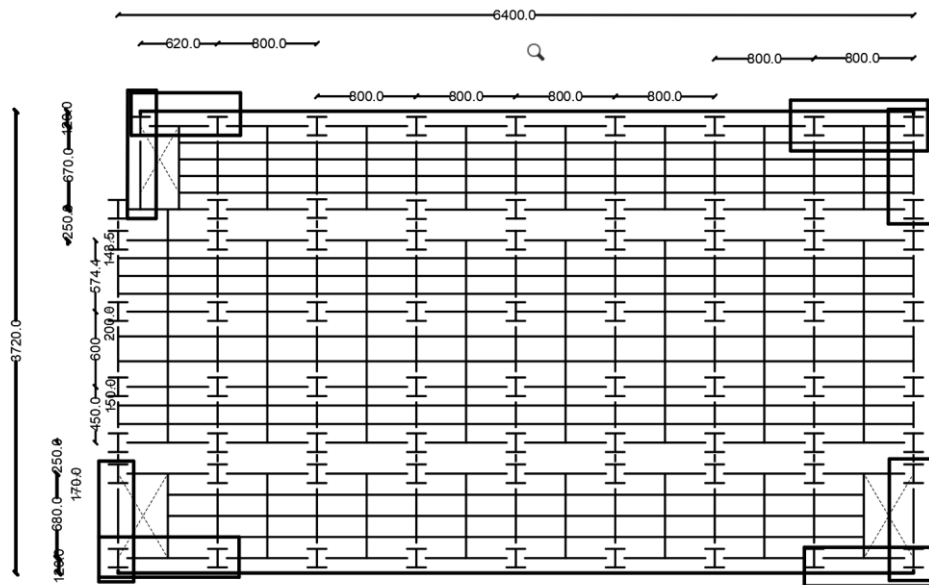
Tabel 4.1 Pemodelan Struktur

Model	Struktur Penahan Gaya Gempa
1	Struktur baja tanpa <i>bracing</i>
2	Struktur baja menggunakan <i>bracing X</i>
3	Struktur baja menggunakan <i>bracing V</i>

Menurut Vimanath, dkk (2010), bresing sering kali ditempatkan secara vertikal, yang dapat memberikan kekakuan yang optimal dengan penambahan beban minimal, terutama efektif untuk bangunan *existing* dengan kekakuan lateral yang rendah. Denah objek penelitian dapat ditemukan pada Gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.



Gambar 4.1 Denah Bangunan Model 1 Tanpa Bracing



Gambar 4.2 Denah Bnagunan Model 2 Brasing X dan Model 3 Brasing V

4.4 Data Penelitian

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan *bracing* tipe X dan *bracing* tipe V pada kinerja struktur. Struktur bangunan yang akan direncanakan adalah gedung dengan profil baja tipe WF yang memiliki spesifikasi berikut ini.

1. Mutu baja yang digunakan adalah BJ 37 dengan tegangan leleh $F_y = 240$ MPa, tegangan putus tarik $F_u = 370$ MPa, dan modulus elastis $E = 200000$ MPa.
2. Fungsi bangunan adalah rumah sakit.
3. Mutu beton yang digunakan $f'_c = 30$ MPa dan modulus elastis $E = 4700\sqrt{f'_c}$.
4. Pembebanan gempa mengacu pada metode LRFD yang sesuai dengan SNI-1726-2019.
5. Pembebanan material mengikuti peraturan pembebanan Indonesia untuk bangunan.
6. Analisis gempa menggunakan metode respons spectrum dan dilakukan untuk lokasi di Kota Magelang.

Matode yang dignaakan untuk penelitian ini adalah analisis perencanaan. Dalam proses perencwnaan, diperlukan analisis sturktur untuk memastikan bahwa

struktur dapat mendukung beban-beban yang diterima dan mencegah terjadinya keruntuhan pada bangunan yang direncanakan. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan data yang relevan sesuai dengan karakteristik struktur yang akan dibangun.

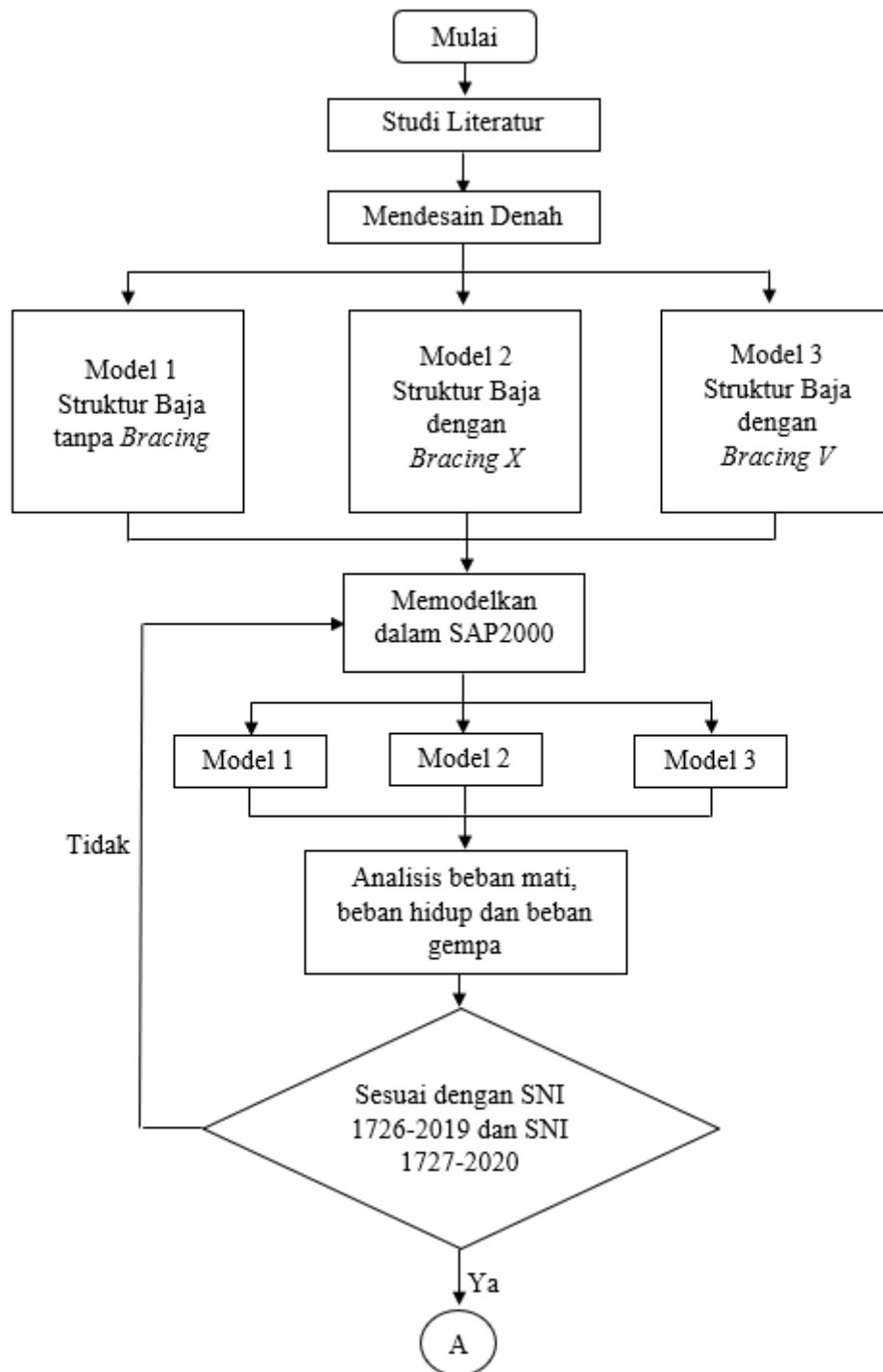
4.5 Tahapan Analisis

Proses analisis melibatkan serangkaian langkah, yang terdiri dari.

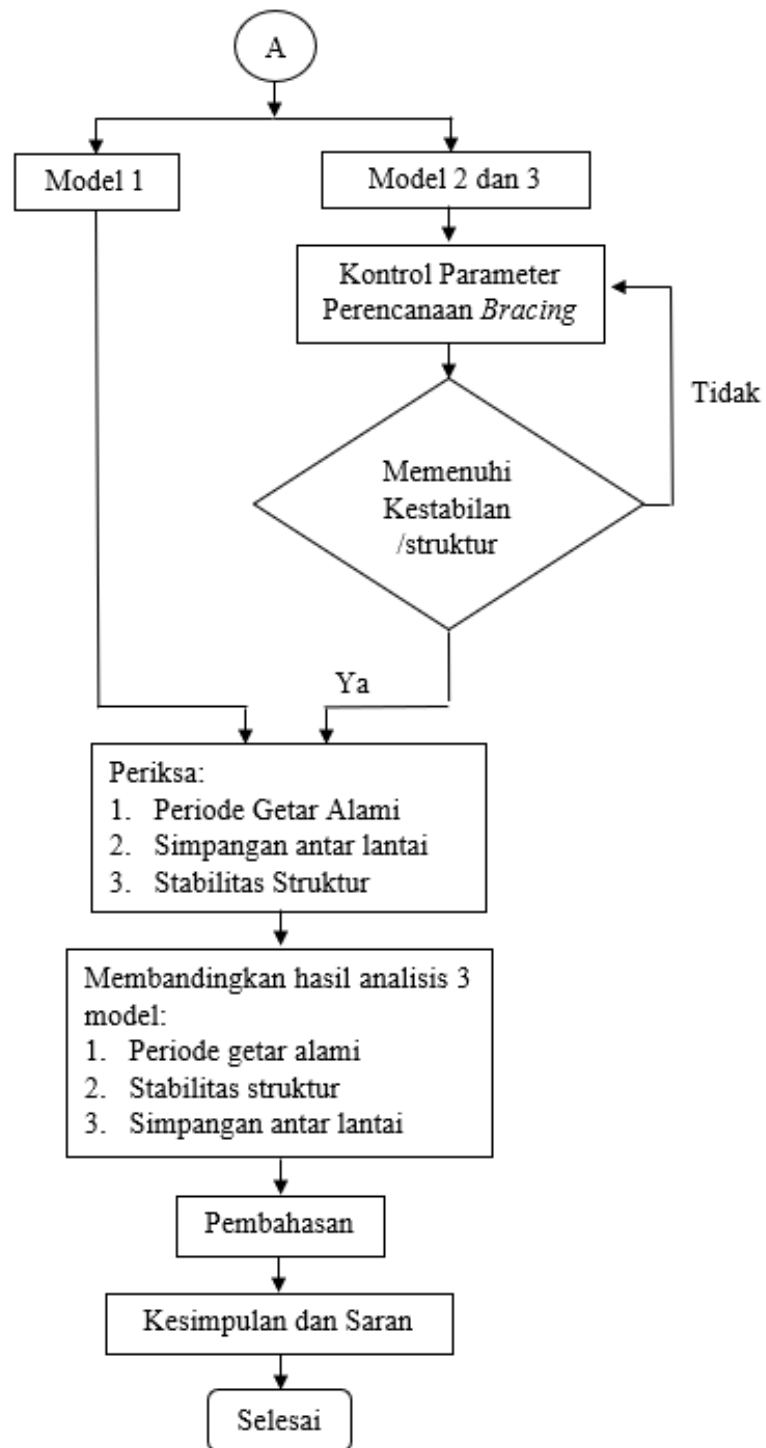
1. Pengumpulan data yang relevan untuk mendukung analisis struktur penelitian.
2. Penentuan dan perhitungan beban struktural, seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
3. Memasukkan beban-beban tersebut ke dalam perangkat lunak SAP2000 setelah model sesuai dengan dimensi dan spesifikasi material telah dibuat.
4. Menjalankan perangkat lunak dan memilih jenis output yang dibutuhkan untuk analisis.
5. Meeancang elemen struktur menggunakan metode AISC-LRFD.
6. Melakukan serangkaian pengujian pada model struktur untuk membandingkan perilakunya sesuai dengan tujuan penelitian terhadap ketiga model yang dianalisis.
7. Mengambil keputusan berdasarkan hasil analisis data dan diskusi penelitian, lalu merumuskan kesimpulan yang relevan dengan tujuan tugas akhir.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Diagram alir atau *flowchart* adalah representasi visual yang menggunakan simbol-simbol untuk menggambarkan langkah-langkah proses atau instruksi yang terjadi dalam suatu program komputer secara sistematis dan logis (Sugiyono, 2010). Bagan alir penelitian adalah penjelasan ringkas mengenai urutan tahapan dalam menjalankan rangkaian penelitian. Rincian tahapan penelitian yang akan dilaksanakan akan ditunjukkan melalui diagram alir pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Flowachart Tahapan Analisis dan Desain



Gambar 4.3 Lanjutan *Flowchart* Tahapan Analisis dan Desain

BAB V

PERHITUNGAN ANALISIS

5.1 Pendahuluan

Pada bab V ini, akan dibahas mengenai analisis dan pembahasan hasil dari analisis yang telah dilakukan. Pembahasan ini mencakup beberapa aspek, seperti analisis pembebanan, penentuan profil, pemeriksaan ketidakberaturan horizontal dan vertikal, perhitungan waktu getar alami, simpangan antar lantai, serta koefisien stabilitas struktur. Semua hasil analisis akan disajikan secara komprehensif dalam bentuk tabel dan grafik guna memberikan gambaran yang jelas.

5.2 Perhitungan Pembebanan

5.2.1 Baban Mati Bangnaan

Beban mati adalah total berat dari semua bahan konstruksi yang dipasang dalam bangunan gedung. Beban mati bangunan terdiri dari dua komponen, yaitu beban mati akibat elemen struktur bangunan dan beban mati tambahan. Komponen beban mati tambahan ini mencakup beban dari dinding bangunan, beban pada pelat lantai, beban tangga, dan beban lift. Rincian perhitungan beban mati dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Baben mati pelat lantai

Plat Lantai	= 0,12 m x 2400	= 2,8252 kN/m ²
Spesi	= 0,02 m x 2000 kg/m ²	= 0,3924 kN/m ²
Pasir	= 0,03 m x 1600 kg/m ²	= 0,4709 kN/m ²
Keramik	= 24 kg/m ²	= 0,2354 kN/m ²
Plafond	= 20 kg/m ²	= 0,1962 kN/m ²
Total beban tambahan plat lantai		= 1,2949 kN/m ²

2. Baben mati pelat atap

Pelat beton	= 0,1 m x 2400 kg/m ²	= 2,534 kN/m ²
Spesi	= 0,02 m x 2000 kg/m ²	= 0,354 kN/m ²
Plafon	= 20 kg/m ²	= 0,195 kN/m ²
Pasir	= 0,03 m x 1600 kg/m ²	= 0,17 kN/m ²

$$\text{Lapisan Waterproof} = 5 \text{ kg/m}^2 = 0,0491 \text{ kN/m}^2$$

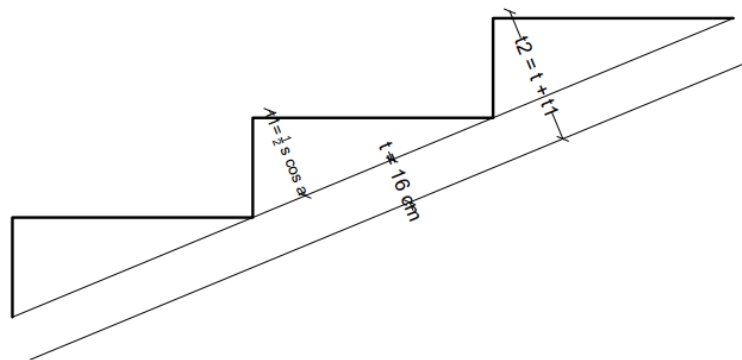
$$\text{Total beban tambahan plat lantai} = 1,1085 \text{ kN/m}^2$$

3. Baben mati dinding

$$\text{Beban total} = 3,2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 8,65 \text{ kN/m}$$

4. Beban mati pada tangga

Pada penelitian ini, meskipun tangga tidak dimodalkan, tetap beban sendiri dari tangga diperhitungkan sebagai bagian dari pembebanan pada bangunan. Tebal pelat tangga yang digunakan adalah sebesar 160 mm. Gambar 5.1 menunjukkan dimensi dari pelat tangga yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 5.1 Dimansi Plat Tangga

$$\begin{aligned} t1 &= \frac{1}{2} S \cos \alpha \\ &= \frac{1}{2} 160 \cos (\tan^{-1} (\text{optrade}/\text{antrade})) \\ &= \frac{1}{2} 160 \cos (\tan^{-1} (160/320)) \\ &= \frac{1}{2} 160 \cos (26.565) \\ &= 71,554 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t2 &= t + t1 \\ &= 160 + 71.554 \\ &= 231,554 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, berikut adalah perhitungan beban mati yang diterapkan pada plat tangga.

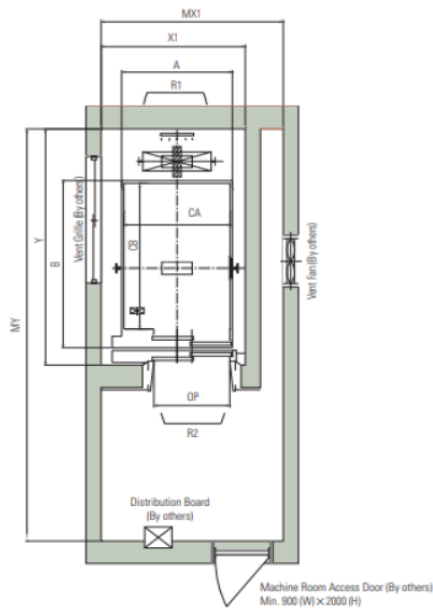
Pelat tangga	= 24 x 0,062 x 1,588	= 2,754 kN/m
Spesi	= 21 x 1,579 x 0,00981	= 0,337 kN/m
Pasir		= 80 x 1,588 x 0,00981 = 1,246 kN/m
Beban mati pada pelat tangga		= 4,317 kN/m
Perhitungan beban mati pada pelat bordes dijelaskan dalam uraian berikut		
Pelat bordes	= 24 x 0.16 x 1	= 3,84 kN/m
Spesi	= 21 x 1 x 0,00981	= 0,206 kN/m
Pasir	= 80 x 1 x 0,00981	= 0,785 kN/m
Beban mati pada pelat bordes		= 4,831 kN/m

5. Baban mati pada lift

Dalam konteks penelitian ini, meskipun lift tidak dimodalkan secara eksplisit, bobot sendiri lift tetap diperhitungkan sebagai beban yang mempengaruhi struktur bangunan. Mengacu pada panduan perencanaan *Hyundai elevator*, pembebanan dari lift biasanya terkonsentrasi pada ruang mesin lift. Pemahaman ini mengenai beban lift, sesuai dengan panduan perencanaan *Hyundai elevator*, dapat dijelaskan sebagai berikut.

Kapasitas	= 15 orang (1150 kg)
Tipe pembukaan lift	= 2P-CO
<i>Clear opening</i> (OP)	= 1000 mm
<i>Car size</i> (CA x CB)	= 1200 x 2200 mm ²
<i>Hoistway size</i> (mm)	= 2100 x 2650 mm ²
<i>Machine room size</i>	= 2400 x 4350 mm ²
M/C Room (R1)	= 6600 kg
M/C Room (R2)	= 5100 kg

Gambaran lift tipe Luxen Gearless Elevators dapat ditemukan pada Gambar 5.2 di bawah ini.



Gambar 5.2 Potongan Ruang Mesin Lift

5.2.2 Beban Hidup

Dalam analisis ini, perhitungan beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perancangan struktur bangunan dan elemen lainnya. Objek penelitian berupa bangunan rumah sakit. Menurut SNI 1727:2020, dilekukan redukai beban hidup apabila hasil parkalian fektor elemen baban hidup (K_{ll}) dengan luas tributari (A_T) melebihi 37,17 m². Dalam hal ini, pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah reduksi beban hidup diperlukan. Sebagai contoh, pengecekan dilakukan pada ruang lobi dengan fungsi sabagai berikut

Fungsi ruangan	= lobi
A_T	= 8 m x 6,8 m = 54,4 m ²
K_{ll}	= 1
$A_T \times K_{ll}$	= 54,4 m ² x 1 = 54,4 m ²
L_o	= 1,92 kN/m ²
L	= $L_o \times \left(\frac{1}{4} + \frac{4,57}{\sqrt{L}} \right)$
	= 1,92 x $\left(\frac{1}{4} + \frac{4,57}{\sqrt{54,4}} \right)$
	= 1,66 kN/m ²

Besar beban hidup minimum untuk setiap fungsi ruangan tertera dalam Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Beban Hidup Minimum

Fungsi Ruangan	AT	Lo	Keterangan	L
	m ²	kN/m ²		kN/m ²
Kamar pasien	54,4	1,92	Perlu Direduksi	1,66
Lobi	41,741	4,79	Perlu Direduksi	4,59
Toilet	18,06	1,92	Tidak Perlu Direduksi	1,92
Koridor Lt 1	38,19	4,79	Perlu Direduksi	4,74
Koridor Lt 2-n	38,19	3,83	Perlu Direduksi	3,79

dengan

AT = Luas Tributari (m²)

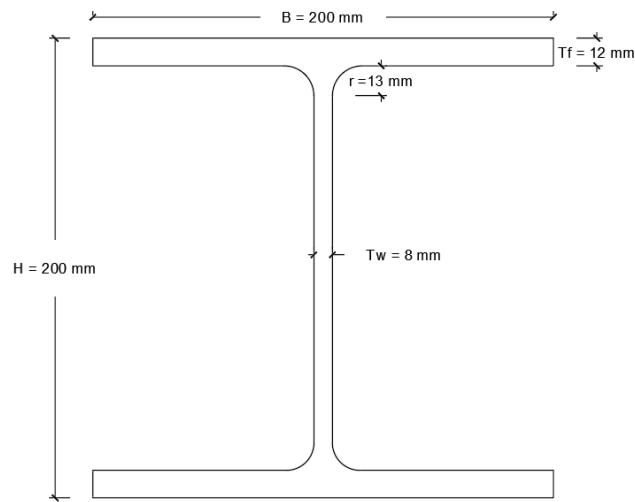
Lo = Faktor Elemen Beban Hidup (kN/m²)

L = Beban Hidup Tereduksi (kN/m²)

5.3 Penantuan Dimansi Sturktur

Sebelum melakekan analisis terhadap sturktur banguan yang telah dimodalkan dalam penelitian ini, diIakukan penentuan profil sturktur yang aken diadopsi. Dalam menantukan profil struktur, penelitian ini merujuk pada pedoman yang dijelaskan dalam SNI 1729:2020 mengenai spesifikasi struktur baja pada gedung. Pada tahap perhitungan, komponen struktur yang dianalisis meliputi balok induk, balok anak, kolom, dan *bracing* yang terdapat dalam gedung. Dalam hal ini, suatu profil dianggap memenuhi syarat jika memiliki kapasitas yang melebihi gaya ultimit dari struktur :

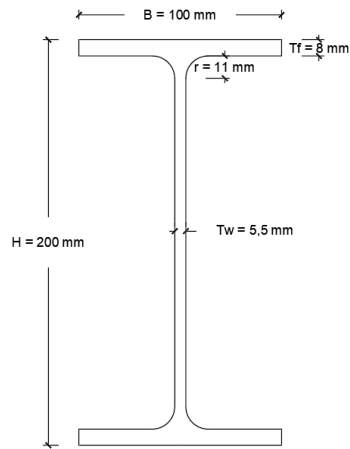
1. Pada struktur ini, diguankan kolom baja yang memiliki profil IWF dengan dimensi 200x200 mm. Detail penanpang profil baja koIom dapt ditemukan dalam Gmbar 5.3 di bawah ini



Gambar 5.3 Peampang Profil Baja IWF 200x200

L	$= 3500 \text{ mm}$	A_g	$= 6353 \text{ mm}^2$
F_y	$= 240 \text{ Mpa}$	I_x	$= 47200000 \text{ mm}^4$
F_u	$= 370 \text{ Mpa}$	I_y	$= 16000000 \text{ mm}^4$
E	$= 200000 \text{ Mpa}$	K	$= 1$
H	$= 200 \text{ mm}$	r_x	$= 86,2 \text{ mm}$
B	$= 200 \text{ mm}$	r_y	$= 50,2 \text{ mm}$
T_f	$= 12 \text{ mm}$	r	$= 13 \text{ mm}$
T_w	$= 8 \text{ mm}$	K_z	$= 0,5$

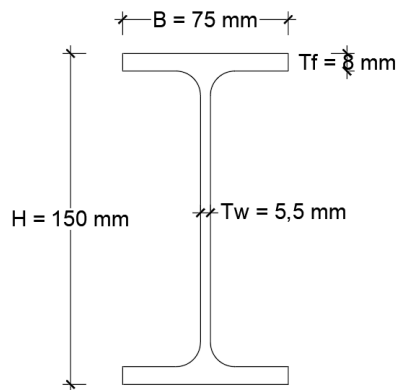
- Untuk elemen struktur balok induk, digunakan profil baja IWF dengan dimensi 200x100 mm. penampang profil balok induk yang diterapkan dapat dilihat pada Gambar 5.4 di bawah ini



Gambar 5.4 Panampang Profil Baja IWF 200x100

L	= 8000 mm	A_g	= 2716 mm ²
F_y	= 240 Mpa	I_x	= 184000000 mm ⁴
F_u	= 370 Mpa	I_y	= 13400000 mm ⁴
E	= 200000 Mpa	K	= 1
H	= 200 mm	r_x	= 82,4 mm
B	= 100 mm	r_y	= 22,2 mm
T_f	= 5,5 mm	r	= 11 mm
T_w	= 8 mm	K_z	= 0,5

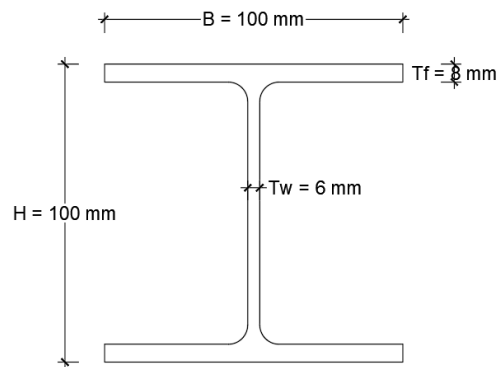
3. Elemen struktur balok anak menggunakan profil baja IWF ukuran 150x75 mm. Detail penampang profil balok anak dapat dilihat pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.5 Penampang Profil Baja IWF 150x75

L	$= 3350 \text{ mm}$	A_g	$= 1785 \text{ mm}^2$
F_y	$= 240 \text{ Mpa}$	I_x	$= 6660000 \text{ mm}^4$
F_u	$= 370 \text{ Mpa}$	I_y	$= 500000 \text{ mm}^4$
E	$= 200000 \text{ Mpa}$	K	$= 1$
H	$= 150 \text{ mm}$	r_x	$= 61,1 \text{ mm}$
B	$= 75 \text{ mm}$	r_y	$= 16,6 \text{ mm}$
T_f	$= 7 \text{ mm}$	r	$= 8 \text{ mm}$
T_w	$= 5 \text{ mm}$	K_z	$= 0,5$

4. Struktur *bracing* menggunakan profil baja IWF dengan dimensi 100x100 mm. Penampang profil *bracing* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.6 di bawah ini.

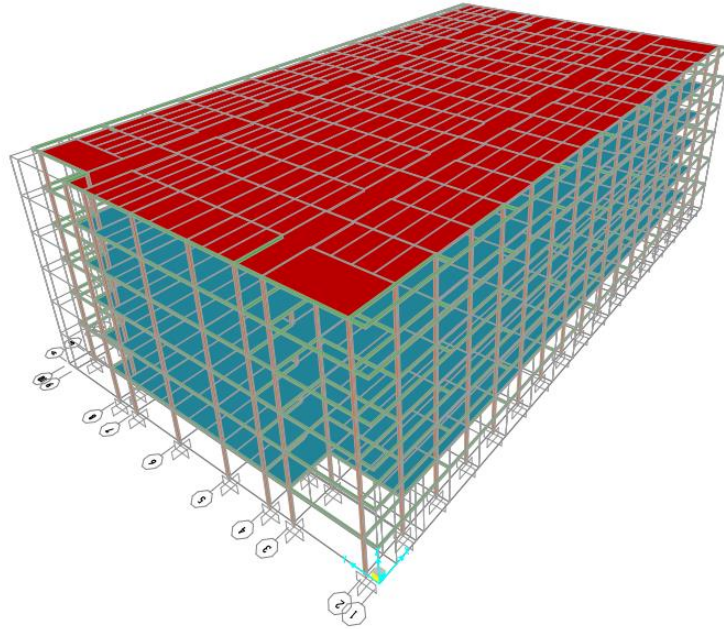


Gambar 5.6 Dtail Profil Bresing

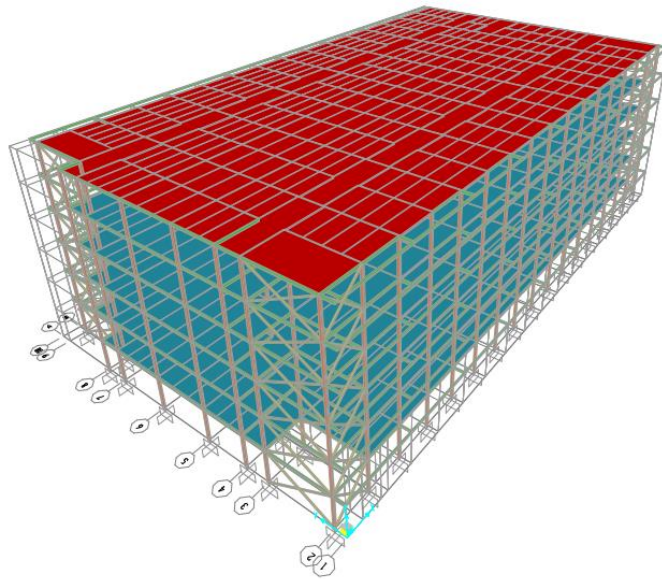
L	$= 7640 \text{ mm}$	A_g	$= 2190 \text{ mm}^2$
F_y	$= 240 \text{ Mpa}$	I_x	$= 3830000 \text{ mm}^4$
F_u	$= 370 \text{ Mpa}$	I_y	$= 1340000 \text{ mm}^4$
E	$= 200000 \text{ Mpa}$	K	$= 1$
H	$= 100 \text{ mm}$	r_x	$= 41,8 \text{ mm}$
B	$= 100 \text{ mm}$	r_y	$= 24,7 \text{ mm}$
T_f	$= 8 \text{ mm}$	r	$= 10 \text{ mm}$
T_w	$= 6 \text{ mm}$	K_z	$= 0.5$

5. Ketebalan pelat lantai yang dipergunakan pada struktur ini adalah 12 cm di semua tingkat, dan 10 cm pada plat atap.

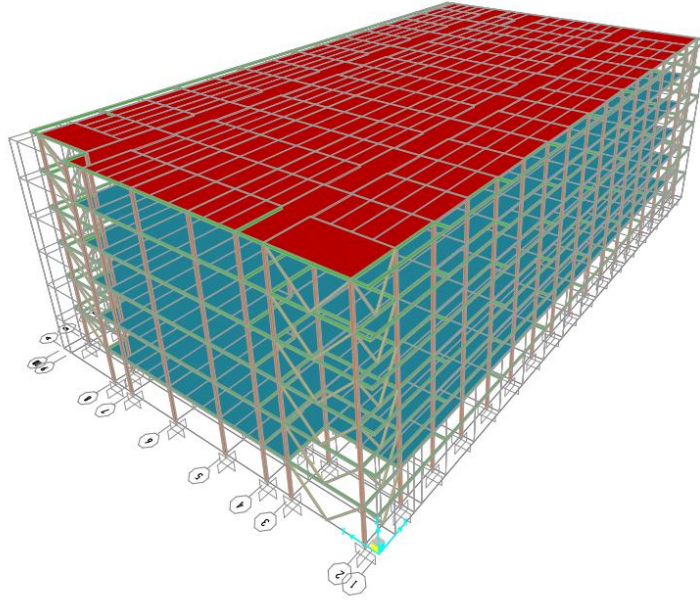
Pamodelan sturktur baja tanpa bresing, struktur baja dengan bresig X dan bracing V dapat diamati melalui Gambar 5.7 hingga Gambar 5.9 yang tertera di bawah ini.



Gambar 5.7 Model 1 Struktur Baja 3D Tanpa Breisng



Gambar 5.8 Model 2 Struktur Baja 3D dengan Bresing X



Gambar 5.9 Model 2 Struktur Baja 3D dengan Bresing V

Terlihat dari ilustrasi di atas bahwa pada model 2 dan 3 yang diamati, bresing ditempatkan pada sudut-sudut luar bangunan. Pendekatan diambil setelah serangkaian uji coba oleh peneliti untuk menemukan posisi bracing yang paling efektif. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penempatan bresing pada sudut-sudut luar bangunan menghasilkan kekakuan yang optimal.

1. Rekapitulasi Penggunaan Profil pada Bangunan Baja

Rangkuman penggunaan profil struktur baja pada ketiga model tersaji dalam Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.2 Rakapitulasi Profil pada Bangunan Baja Tanpa Bresing

Lantai	Profil Kolom	Profil Balok Anak	Profil Balok Induk
6	200x200	150x75	200x100
5	200x200	150x75	200x100
4	200x200	150x75	200x100
3	200x200	150x75	200x100
2	200x200	150x75	200x100
1	200x200	150x75	200x100

Tabel 5.3 Rkapitulasi Profil pada Bangunan Baja dengan Bresing X dan V

Lantai	Profil Kolom	Profil Balok Anak	Profil Balok Induk	Profil <i>Bracing</i>
6	200x200	150x75	200x100	100x100
5	200x200	150x75	200x100	100x100
4	200x200	150x75	200x100	100x100
3	200x200	150x75	200x100	100x100
2	200x200	150x75	200x100	100x100
1	200x200	150x75	200x100	100x100

5.4 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan nilai beban gempa pada penelitian ini merujuk pada SNI 1726:2019 mengenai pedoman perencanaan struktur untuk mengatasi beban gempa pada berbagai jenis bangunan gedung. Berikut adalah penjabaran langkah perhitungan nilai beban gempa

1. Penentuan Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Bangunan
 Bangunan yang dianalisis dalam penelitian ini berfungsi sebagai gedung rumah sakit dan berlokasi di wilayah Magelang, Jawa Tengah. Menurut klasifikasi dalam Tabel 3 SNI 1726:2019, bangunan ini termasuk dalam kategori risiko IV. Selain itu, Tabel 4 SNI 1726:2019 menetapkan bahwa bangunan dengan risiko gempa tingkat IV memiliki faktor keutamaan (I_e) sebesar 1,50. Sementara itu, berdasarkan Tabel 5 SNI 1726:2019, tipe kelas situs bangunan ini adalah SD atau berada di atas tanah sedang.
2. Penentuan Nilai S_S S_I
 Berdasarkan ketentuan dari SNI 1726:2019, besaran nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_S) dan periode 1 detik (S_I) bergantung pada lokasi geografis dari bangunan yang akan dianalisis. Proses penentuan nilai S_S dan S_I dapat ditemukan dalam peta MCER yang terdapat pada Gambar 15 dan 16 dalam SNI 1726:2019. Untuk kasus ini, nilai S_S diambil sebesar 0,805 g dan nilai S_I diambil sebesar 0,397 g.
3. Penentuan Nilai F_v F_a
 Terlihat bahwa faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) bervariasi berdasarkan nilai S_S dan S_I dari bangunan. Nilai F_v dan F_a yang relevan dapat ditemukan dalam Tabel 6 dan 7 pada SNI 1726:2019. Dalam konteks bangunan yang sedang dianalisis, diperoleh nilai F_v sebesar 1,91 dan nilai F_a sebesar 1,118.
4. Penentuan Nilai S_{MS} S_{MI}
 Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$S_{MS} = F_a \times S_S$	$S_{MI} = F_v \times S_I$
$S_{MS} = 1,118 \times 0,805$	$S_{MI} = 1,91 \times 0,397$
$S_{MS} = 0,9$	$S_{MI} = 0,758$
5. Perhitungan nilai S_{DS} S_{D1}

Parameter spektral percepatan desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{DI}) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,9$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times 0,758$$

$$S_{DS} = 0,6$$

$$S_{DI} = 0,506$$

6. Penentuan nilai C_{RS} dan C_{RI}

Koefisien risiko spesifik situs dalam periode pendek (C_{RS}) serta koefisien risiko spesifik situs dalam rentang waktu 1 detik (C_{RI}) tergantung pada posisi suatu struktur. Kedua angka ini diperoleh dari observasi pada gambar 18 dan 19 yang terdapat dalam standar SNI 1726:2019. Dalam analisis ini, digunakan koefisien C_{RS} sebesar 0,96 dan koefisien C_{RI} sebesar 0,92

7. Parhitungan nilai S_{DSR} S_{DIR}

Cara mendapatkan nilai S_{DSR} dan S_{DIR} adalah dngan melakukan perkalian antara nilai S_{DS} dan S_{DI} dengan nilai C_{RS} dan C_{RI} , seperti yang dijelaskan di bawah ini.

$$S_{DSR} = S_{DS} \times C_{RS}$$

$$S_{DIR} = S_{DI} \times C_{RI}$$

$$S_{DSR} = 0,6 \times 0,96$$

$$S_{DIR} = 0,506 \times 0,92$$

$$S_{DSR} = 0,576$$

$$S_{DIR} = 0,465$$

8. Dasain respon spetrum

Nilai dari desain respon spetrum ini nantinya akan diaplikasikan sebagai beban gempa dalam proses analisis struktural bangunan. Berikut penjabaran mengenai perhitungan dari desain respons spektrum yang diterapkan.

a. Perhitungan nilai T_0

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

$$T_0 = 0,2 \times \frac{0,506}{0,6}$$

$$T_0 = 0,1685 \text{ detik}$$

b. Perhitungan nilai T_s

$$T_S = \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_S = \frac{0,506}{0,6}$$

$$T_S = 0,842 \text{ detik}$$

- c. Nilai T_L ditentukan melalui Gambar 20 pada SNI 1726:2019, nilai T_L sebesar 20 detik

9. Mencari nilai S_a

- a. Respons spektrum percepatan desain S_a untuk $T < T_0$.

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) \\ &= 0,6 (0,4 + 0,6 (0/0,1685)) \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

- b. Respons spektrum percepatan desain S_a untuk $T = T_0$ dan $T \leq T_s$.

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

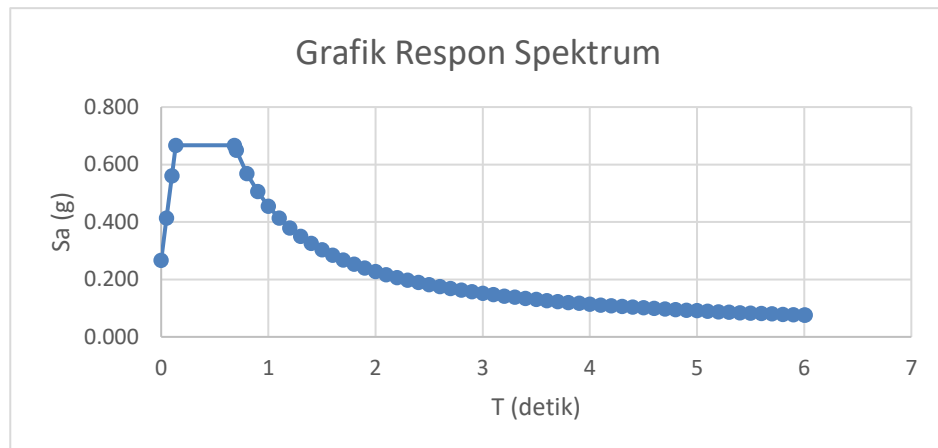
- c. Respons spektrum percepatan desain S_a untuk $T > T_s$.

$$\begin{aligned} S_a &= S_{D1} / T_s \\ &= 0,506 / 0,842 \\ &= 0,6009 \end{aligned}$$

- d. Respons spektrum desain percepatan desain S_a untuk $T > T_L$.

$$\begin{aligned} S_a &= (S_{D1} \times T_L) / T^2 \\ &= (0,506 \times 20) / 6,01^2 \\ &= 0,0757 \end{aligned}$$

Output dari analisis respons spektrum menghasilkan diagram yang menggambarkan relasi antara periode (T) dan percepatan puncak (S_a). Informasi visual ini terdapat dalam Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Dasain Raspon Spectrum

10. Panentuan nilai R , Ω_0 , dan C_d

Modifikasi dari respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan koefisien amplifikasi defleksi (C_d) ditetapkan oleh jenis sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal yang tercatat dalam Tabel 12 pada dokumen SNI 1726:2019. Struktur yang sedang diinvestigasi memiliki kategori desain seismik tipe D, sehingga pendekatan penahan gaya gempa yang digunakan meliputi rangka baja dengan kapasitas momen khusus dan kerangka baja dengan sistem penegang konsentris khusus. Sesuai dengan informasi dalam Tabel 12 dari standar SNI 1726:2019, nilai-nilai R , Ω_0 , dan C_d dapat diambil seperti berikut.

a. Rangka baja pemikul momen khusus

$$R = 8$$

$$\Omega_0 = 3$$

$$C_d = 5,5$$

b. Rangka baja dengan *bracing* konsentris khusus

$$R = 7$$

$$\Omega_0 = 2,5$$

$$C_d = 5,5$$

11. Waktu gatar natural

Periode fundamental struktur (T) dapat diidentifikasi dengan membandingkan hasil analisis perioda program dengan periode yang telah ditetapkan sebelumnya. Persyaratan untuk pendekatan penetapan periode fundamental struktur adalah sebagai berikut

- a. $T_c < T_a$, maka $T = T_c$
- b. $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka $T = T_c$
- c. $T_c > C_u \times T_a$, maka $T = C_u \times T_a$

Dalam acuan SNI 1726:2019, dalam menghitung nilai periode fundamental pendekatan (T_a), faktor-faktor yang berpengaruh adalah elevasi struktur (h_n), nilai x , dan faktor koefisien (C_t). Informasi tentang nilai x dan faktor koefisien (C_t) bisa diacu melalui Tabel 18 yang terdapat pada bagian 7.8.2.1 dari SNI 1726:2019. Langkah-langkah perhitungan nilai periode fundamental pendekatan (T_a) dapat ditemukan dalam penjelasan di bawah ini.

a. Struktur Baja Tanpa brasing

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ T_a &= 0,0724 \times 21^{0,8} \\ T_a &= 0,827 \text{ detik} \end{aligned}$$

Koefisien batas atas (C_U) bisa diidentifikasi melalui Tabel 17 dari standar SNI 1726:2019. Dalam menetapkan nilai C_U , faktor yang diperhitungkan adalah besarnya percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik (S_{DI}). Hasil analisis terhadap parameter dan referensi tersebut menghasilkan nilai C_U sekitar 1,4. Selanjutnya, untuk menghitung nilai periode maksimum struktur (T_{maks}), langkah-langkahnya dapat dilihat dalam penjelasan di bawah ini.

$$\begin{aligned} T_{maks} &= C_U \times T_a \\ T_{maks} &= 1,4 \times 0,827 \\ T_{maks} &= 1,1578 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan program SAP2000, didapatkan nilai T_C sebesar 1,4142 detik. Dari data tersebut, dapat ditarik

kesimpulan bahwa T_C lebih besar daripada hasil perkalian antara C_U dengan T_a . Oleh karena itu, nilai yang akan diadopsi untuk T adalah setara dengan nilai T_{maks} ($C_U \cdot T_a$), yang besarnya adalah 1,1578 detik.

b. Struktur Baja dengan bresing X

$$T_a = C_t \times h n^x$$

$$T_a = 0,0732 \times 21^{0.75}$$

$$T_a = 0,7171 \text{ detik}$$

Koefisien batas atas (C_U) bisa diidentifikasi melalui Tabel 17 dari standar SNI 1726:2019. Dalam menetapkan nilai C_U , faktor yang diperhitungkan adalah besarnya percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik (S_{DI}). Hasil analisis terhadap parameter dan referensi tersebut menghasilkan nilai C_U sekitar 1,4. Selanjutnya, untuk menghitung nilai periode maksimum struktur (T_{maks}), langkah-langkahnya dapat dilihat dalam penjelasan di bawah ini.

$$T_{maks} = C_U \times T_a$$

$$T_{maks} = 1,4 \times 0,7171$$

$$T_{maks} = 1,0039 \text{ detik}$$

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan program SAP2000, didapatkan nilai T_C sebesar 0,7965 detik. Dari data tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa T_C lebih kecil daripada hasil perkalian antara C_U dengan T_a . Oleh karena itu, nilai yang akan diadopsi untuk T adalah setara dengan nilai T_C , yang besarnya adalah 0,7965 detik.

c. Struktur Baja dengan *Bracing* V

$$T_a = C_t \times h n^x$$

$$T_a = 0,0731 \times 21^{0.75}$$

$$T_a = 0,7171 \text{ detik}$$

Koefisien batas atas (C_U) bisa diidentifikasi melalui Tabel 17 dari standar SNI 1726:2019. Dalam menetapkan nilai C_U , faktor yang diperhitungkan adalah besarnya percepatan respon spektral desain pada periode 1 detik (S_{DI}). Hasil analisis terhadap parameter dan referensi tersebut menghasilkan nilai C_U sekitar 1,3. Selanjutnya, untuk menghitung nilai periode maksimum

struktur (T_{maks}), langkah-langkahnya dapat dilihat dalam penjelasan di bawah ini.

$$T_{maks} = C_U \times T_a$$

$$T_{maks} = 1,4 \times 0,7171$$

$$T_{maks} = 1,0039 \text{ detik}$$

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan program SAP2000, didapatkan nilai T_C sebesar 0,9739 detik. Dari data tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa T_C lebih kecil daripada hasil perkalian antara C_U dengan T_a . Oleh karena itu, nilai yang akan diadopsi untuk T adalah setara dengan nilai T_C , yang besarnya adalah 0,9739 detik.

12. Koefisien Seismik Respon

Berikut adalah prosedur perhitungan nilai koefisien seismik respon.

a. Struktur Baja Tanpa bresing, nilai R sebesar 8

$$\begin{aligned} C_{S1} &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,6}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} \\ &= 0,1125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S2} &= \frac{SD1}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,506}{1,1578 \times \left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0,0819 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S3} &= 0,043 \times S_{DS} \times I_e \\ &= 0,043 \times 0,6 \times 1,5 \\ &= 0,0396 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang ada, ditemukan bahwa nilai C_{S1} lebih besar daripada C_{S2} . Oleh karena itu, nilai yang dipilih untuk C_S adalah sekitar 0,0819

b. Struktur Baja dengan bresing X, nilai R sebesar 7

$$C_{S1} = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,6}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
&= 0,1286 \\
C_{S2} &= \frac{SD1}{Tx\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,506}{0,7965x\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
&= 0,907 \\
C_{S3} &= 0,043 \times S_{DS} \times I_e \\
&= 0,043 \times 0,6 \times 1,5 \\
&= 0,0396
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang ada, ditemukan bahwa nilai C_{S1} lebih besar daripada C_{S2} . Oleh karena itu, nilai yang dipilih untuk C_S adalah sekitar 0,0907

c. Struktur Baja dengan bresing V, nilai R sebesar 7

$$\begin{aligned}
C_{S1} &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,6}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
&= 0,1286 \\
C_{S2} &= \frac{SD1}{Tx\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,506}{0,9739x\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
&= 0,0742 \\
C_{S3} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\
&= 0,044 \times 0,6 \times 1,5 \\
&= 0,0396
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang ada, ditemukan bahwa nilai C_{S1} lebih besar daripada C_{S2} . Oleh karena itu, nilai yang dipilih untuk C_S adalah sekitar 0,0742

13. Parhitungan Gaya Gaser Dasar Seismik

a. Struktur Baja Tanpa bresing

$$\text{Barat total bangunan (} Wt \text{)} = 53772,164 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
C_s &= 0,0546 \\
V &= C_s \cdot W_t \\
&= 0,0546 \times 53772,164 \\
&= 2934,72 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Hasil dari analisis gaya geser dasar seismik menunjukkan angka 2934,72 kN

b. Struktur Baja dengan tambahan bresing X

$$\begin{aligned}
\text{Berat total bangunan } (W_t) &= 53871,53 \text{ kN} \\
C_s &= 0,0907 \\
V &= C_s \cdot W_t \\
&= 0,0907 \times 53871,53 \\
&= 4884,37 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Hasil dari analisis gaya geser dasar seismik menunjukkan angka 4884,37 kN

c. Struktur Baja dengan tambahan *Bracing* V

$$\begin{aligned}
\text{Berat total bangunan } (W_t) &= 53840,9 \text{ kN} \\
C_s &= 0,0742 \\
V &= C_s \cdot W_t \\
&= 0,0742 \times 53840,9 \\
&= 3992,39 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Hasil dari analisis gaya geser dasar seismik menunjukkan angka 3992,39 kN

14. Perhitungan nilai K

Distribusi vertikal gaya seismik memerlukan ekspansi yang terkait dengan periode struktur dari bangunan perencanaan tersebut. Nilai k ditentukan sesuai dengan kriteria berikut.

- a. Pada struktur dengan periode $T \leq 0.5$ detik, nilai $k = 1$,
- b. Pada struktur dengan periode $T \geq 2.5$ detik, nilai $k = 2$,
- c. Pada struktur dengan periode $0.5 < T < 2.5$ detik, nilai $k = 2$ atau melalui interpolasi linier antara 1 dan 2

Nilai-nilai T yang diperoleh dari penelitian pada tiga pemodelan dapat ditemukan dalam Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Penentuan Nilai K

Model Struktur Bangunan	T	K
Tanpa <i>Bracing</i> (Model 1)	1,1578	1,3289
<i>Bracing X</i> (Model 2)	0,7965	1,1483
<i>Bracing V</i> (Model 3)	0,9739	1,2370

15. Gaya lateral seismik (F)

a. Struktur Baja Tanpa bresing

Story – 1

$$W_i = 9063,608 \text{ kN}$$

$$H_i = 3,5 \text{ m}$$

$$K = 1,3289$$

$$V = 2934,72 \text{ kN}$$

$$H^K = 3,5^{1,3289}$$

$$= 5,28$$

$$W \times H^K = 9063,608 \times 5,28$$

$$= 47897,53$$

$$\Sigma W \times H^K = 1566571,933$$

$$CVX = (W \times H^K / \Sigma W \times H^K)$$

$$= 47897,53 / 1566571,933$$

$$= 3,06\%$$

$$FI = CVX \times V$$

$$= 3,06\% \times 2934,72$$

$$= 89,73 \text{ kN}$$

b. Struktur Baja Dengan tambahan bresing X

Story – 1

$$W_i = 9080,169 \text{ kN}$$

$$H_i = 3,5 \text{ m}$$

$$K = 1,1483$$

$$\begin{aligned}
V &= 4884,37 \text{ kN} \\
H^K &= 3,5^{1,1483} \\
&= 4,21 \\
WxH^K &= 9080,169 \times 4,21 \\
&= 38266,618 \\
\Sigma WxH^K &= 968425,756 \\
CVX &= (WxH^K / \Sigma WxH^K) \\
&= 38266,618 / 968425,756 \\
&= 3,95\% \\
FI &= CVX \times V \\
&= 3,95\% \times 4884,37 \\
&= 193 \text{ kN}
\end{aligned}$$

c. Struktur Baja Dengan tambahan *Bracing V*

Story – 1

$$\begin{aligned}
Wi &= 9075,01 \text{ kN} \\
Hi &= 3,5 \text{ m} \\
K &= 1,237 \\
V &= 3992,39 \text{ kN} \\
H^K &= 3,5^{1,237} \\
&= 4,71 \\
WxH^K &= 9075,01 \times 4,71 \\
&= 42739,758 \\
\Sigma WxH^K &= 1225926,516 \\
CVX &= (WxH^K / \Sigma WxH^K) \\
&= 42739,758 / 1225926,516 \\
&= 3,49\% \\
FI &= CVX \times V \\
&= 3,49\% \times 3992,39 \\
&= 139,19 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Hasil pengukuran gaya seismik lateral dapat ditemukan dalam Tabel 5.5, 5.6, dan 5.7 seperti yang tertera di bawah ini.

Tabel 5.5 Gaya Saismik Lateral Sturktur Baja tanpa Bresing

Bangunan Baja Tanpa Bracing						
Tingkat ke i	Wi	H	H ^k	W.H ^k	CVX	FI= CVX.V
	KN	(M)				KN
6	8454.125	21	57.16	483243.3492	31%	905.28
5	9063.608	17.5	44.86	406606.5472	26%	761.71
4	9063.608	14	33.35	302266.9411	19%	566.25
3	9063.608	10.5	22.75	206233.667	13%	386.35
2	9063.608	7	13.28	120323.8972	8%	225.41
1	9063.608	3.5	5.28	47897.53116	3.06%	89.73
Total	53772.164			1566571.933	100%	2934.7195

Tabel 5.7 Gaya Saismik Lateral Sturktur Baja dengan Bresing X

Bangunan Baja Bracing X						
Tingkat ke i	Wi	H	H ^k	W.H ^k	CVX	FI= CVX.V
	KN	(M)				KN
6	8470.687	21	32.98	279355.3046	29%	1408.96
5	9080.169	17.5	26.75	242891.5428	25%	1225.05
4	9080.169	14	20.70	187990.313	19%	948.15
3	9080.169	10.5	14.88	135105.9783	14.0%	681.42
2	9080.169	7	9.34	84815.99835	8.8%	427.78
1	9080.169	3.5	4.21	38266.61843	3.95%	193.00
Total	53871.534			968425.756	100%	4884.3653

Tabel 5.6 Gaya Saismik Lateral Sturktur Baja dengan Bresing V

Bangunan Baja Bracing V						
Tingkat ke i	Wi	H	H ^k	W.H ^k	CVX	FI= CVX.V
	KN	(M)				KN
6	8465.854	21	43.20	365754.713	30%	1191.13
5	9075.010	17.5	34.48	312912.569	26%	1019.04
4	9075.010	14	26.16	237437.968	19%	773.25
3	9075.010	10.5	18.33	166344.021	13.6%	541.72
2	9075.010	7	11.10	100737.487	8.2%	328.06
1	9075.010	3.5	4.71	42739.758	3.49%	139.19
Total	53840.902			1225926.516	100%	3992.386

Berdasarkan data dalam tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya berat bangunan, maka gaya seismik lateral yang diterima oleh bangunan juga semakin meningkat. Terlihat pula bahwa struktur yang mengadopsi profil *bracing* memiliki massa yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur yang tidak menerapkan profil *bracing*. Akibatnya, gaya seismik yang terjadi juga cenderung lebih besar.

5.5 Bese Shaer

5.5.1 Pangecekan Nilai *Bese Shaer* Trial 1

Berdasarkan SNI 1726:2019, disebutkan bahwa jika nilai kombinasi respons gaya geser dasar dari analisis variasi (V_t) kurang dari 100% dari perhitungan gaya geser (V) menggunakan metode statis ekuivalen, maka gaya tersebut perlu diubah dengan faktor V/V_t . Di mana V mewakili gaya geser dasar statis yang dihitung sesuai dengan ketentuan pada pasal 7.9.1.4.1 dalam SNI 1726:2019, dan V_t merupakan gaya geser dasar hasil analisis ragam, dapat ditemukan dalam Tabel berikut.

Tabel 5.8 Kontrol parameter respons ragam struktur baja tanpa bresing trial 1

Trial	Arah Gaya	Vs	100%Vs	Vd	Kontrol Parameter	Skala Vs/Vd
1	X	2493,3	2493,3	5574,821	Ok	-
	Y	2493,3	2493,3	3636,686	Ok	-

Tabel 5.9 Kontrol parameter respon ragam struktur baja dengan bresing X trial 1

Trial	Arah Gaya	Vs	100%Vs	Vd	Kontrol Parameter	Skala Vs/Vd
1	X	4149,6	4149,6	6980,99	Ok	-
	Y	4149,6	4149,6	6983,77	Ok	-

Tabel 5.10 Kontrol parameter respon ragam struktur baja dengan bresing V trial 1

Trial	Arah Gaya	Vs	100%Vs	Vd	Kontrol Parameter	Skala Vs/Vd
1	X	3392	3392	5784,24	Ok	-
	Y	3392	3392	4163,1	Ok	-

5.6 Cek Ketidakberaturan Struktur

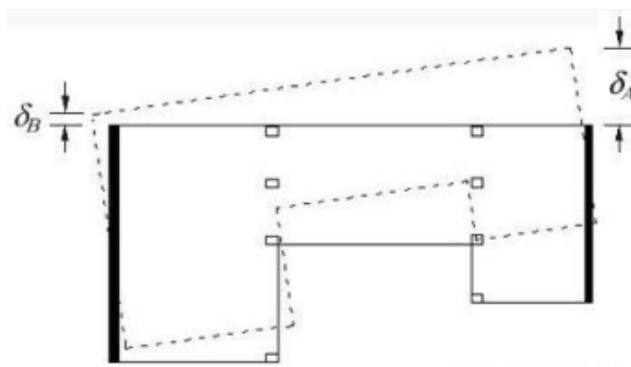
Klasifikasi struktur bangunan apakah termasuk dalam kategori beraturan atau tidak beraturan didasarkan pada ciri-ciri yang dijelaskan dalam SNI 1726:2019. Ciri-ciri ini merujuk pada prinsip-prinsip yang telah ditentukan dalam panduan tersebut.

5.6.1 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi

Torsi tak terduga dari sebuah bangunan berasal dari adanya eksentrisitas antara pusat massa lantai dengan pusat kekakuan lantai. Hal ini terjadi karena jika terjadi goyangan struktur akibat gempa, maka struktur penahan gaya seismik (kolom dan *bracing*) akan mengalami *buckling* sehingga akan terjadi perubahan pusat kekakuan lantai. Hal ini menyebabkan pusat kekakuan lantai tidak satu titik dengan pusat massa lantai. Pengaruh torsi pada struktur bangunan dibagi dalam klasifikasi torsi 1a dan 1b, dengan klasifikasi sebagai berikut :

- a. $\delta_{max} < 1.2 \delta_{avg}$ → Tanpa Ketidakberaturan Torsi
- b. $1.2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1.4 \delta_{avg}$ → Ketidakberaturan Torsi 1a
- c. $\delta_{max} > 1.4 \delta_{avg}$ → Ketidakberaturan Torsi 1b



Gambar 5.11 Ketidakberaturan Torsi

Rekapitulasi hasil cek ketidakberaturan torsi dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.13 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah X Struktur Baja Dengan Bresing Tipe X

Elevasi (mm)	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	δ_{max} (i-1)	δ_{min} (i-1)	δ_{avg} (mm)	$1.2\delta_{avg}$ (mm)	$1.4\delta_{avg}$ (mm)	Keterangan
21	55.073	55.073	7.407	7.407	7.407	8.888	10.369	Reguler
17,5	47.667	47.667	9.203	9.203	9.203	11.044	12.885	Reguler
14	38.463	38.463	10.413	10.413	10.413	12.496	14.579	Reguler
10,5	28.050	28.050	10.853	10.853	10.853	13.024	15.195	Reguler
7	17.197	17.197	10.157	10.157	10.157	12.188	14.219	Reguler
3.5	7.040	7.040	7.040	7.040	7.040	8.448	9.856	Reguler
0	0	0	0	0	0	0	0	-

Tabel 5.14 Cek Ketidakberturan Torsi Arah Y Struktur Baja Dengan Bresing Tipe X

Elevasi (mm)	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	δ_{max} (i-1)	δ_{min} (i-1)	δ_{avg} (mm)	$1.2\delta_{avg}$ (mm)	$1.4\delta_{avg}$ (mm)	Keterangan
21	47.300	47.300	5.390	5.390	5.390	6.468	7.546	Reguler
17,5	41.910	41.910	7.150	7.150	7.150	8.580	10.010	Reguler
14	34.760	34.760	8.397	8.397	8.397	10.076	11.755	Reguler
10,5	26.363	26.363	9.130	9.130	9.130	10.956	12.782	Reguler
7	17.233	17.233	9.167	9.167	9.167	11.000	12.833	Reguler
3.5	8.067	8.067	8.067	8.067	8.067	9.680	11.293	Reguler
0	0	0	0	0	0	0	0	

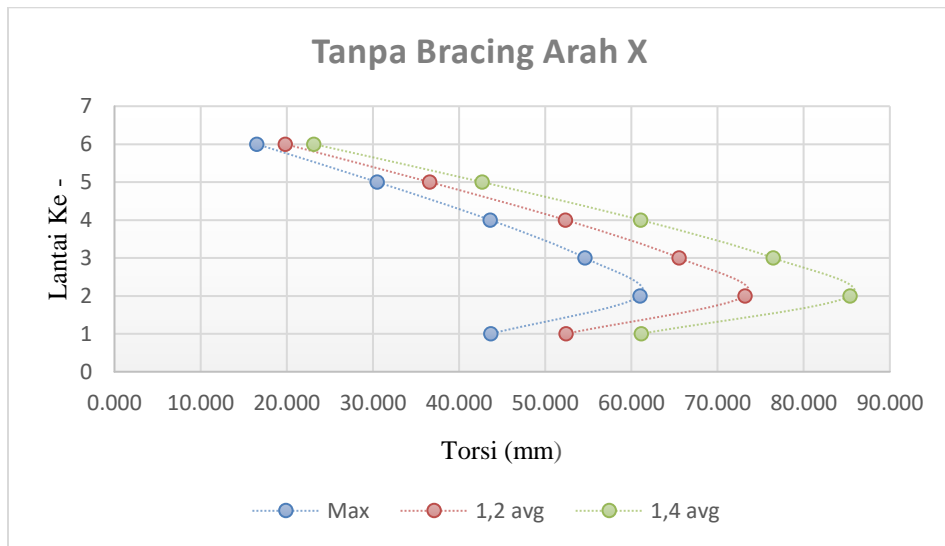
Tabel 5. 15 Cek Ketidakberaturan Torsi Arah X Struktur Baja Dengan Bresing Tipe V

Elevasi (mm)	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	$\delta_{max} (i-1)$	$\delta_{min} (i-1)$	δ_{avg} (mm)	$1.2\delta_{avg}$ (mm)	$1.4\delta_{avg}$ (mm)	Keterangan
21	55.550	55.550	5.977	5.977	5.977	7.172	8.367	Reguler
17,5	49.573	49.573	8.103	8.103	8.103	9.724	11.345	Reguler
14	41.470	41.470	9.717	9.717	9.717	11.660	13.603	Reguler
10,5	31.753	31.753	10.743	10.743	10.743	12.892	15.041	Reguler
7	21.010	21.010	11.440	11.440	11.440	13.728	16.016	Reguler
3.5	9.570	9.570	9.570	9.570	9.570	11.484	13.398	Reguler
0	0	0	0	0	0	0	0	

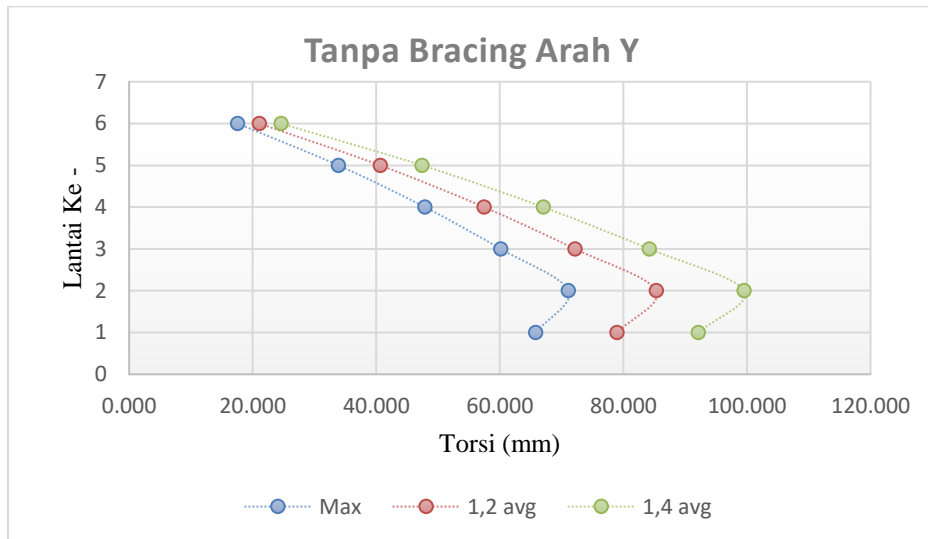
Tabel 5.16 Cek Katidakberaturan Torsi Arah Y Struktur Baja Dengan Bresing Tipe V

Elevasi (mm)	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	$\delta_{max} (i-1)$	$\delta_{min} (i-1)$	δ_{avg} (mm)	$1.2\delta_{avg}$ (mm)	$1.4\delta_{avg}$ (mm)	Keterangan
21	59.730	59.730	4.473	4.473	4.473	5.368	6.263	Reguler
17,5	55.257	55.257	5.940	5.940	5.940	7.128	8.316	Reguler
14	49.317	49.317	7.040	7.040	7.040	8.448	9.856	Reguler
10,5	42.277	42.277	7.773	7.773	7.773	9.328	10.883	Reguler
7	34.503	34.503	7.935	7.935	7.935	9.522	11.109	Reguler
3.5	15.960	15.960	7.184	7.184	7.184	8.621	10.058	Reguler
0	0	0	0	0	0	0	0	

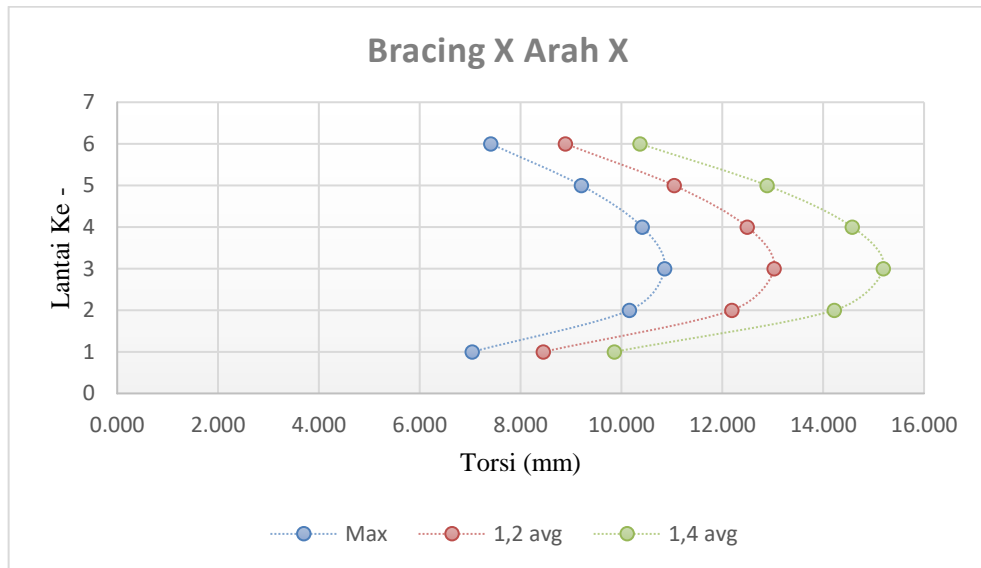
Gambar grafik antara nomor 5.12 hingga 5.17 menunjukkan variasi torsi yang tidak teratur pada konstruksi baja tanpa sistem perkuatan *bracing*, konstruksi baja dengan perkuatan *bracing* model X, dan konstruksi baja dengan perkuatan *bracing* model V



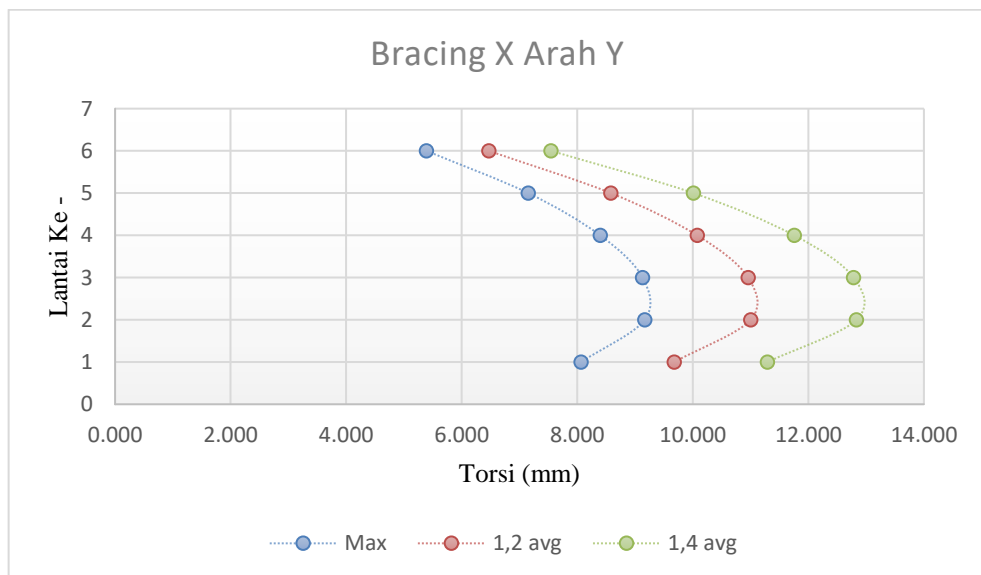
Gambar 5.12 Ketidakberaturan Torsi Tanpa Bracing Arah X



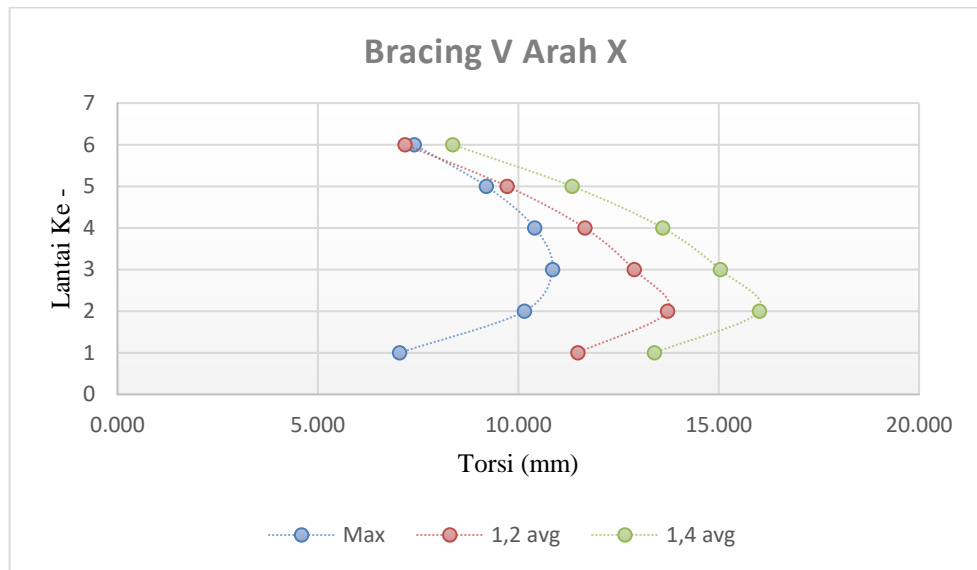
Gambar 5.13 Ketidakberaturan Torsi Tanpa Bracing Arah Y



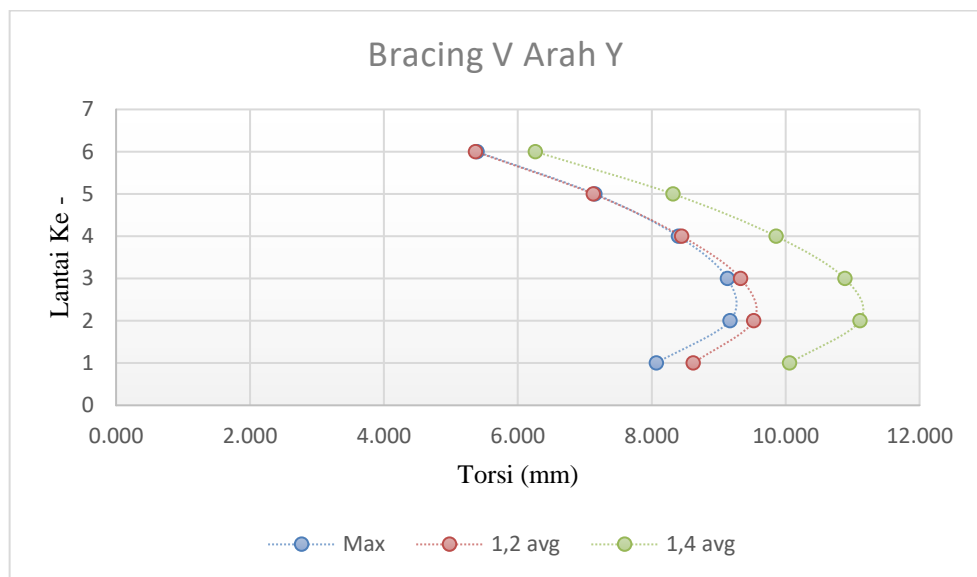
Gambar 5.14 Ketidakbaraturan Torsi Bresing X Arah X



Gambar 5.15 Ketidakberaturan Torsi Bresing X Arah Y



Gambar 5.16 Ketidakberaturan Torsi Bracing V Arah X

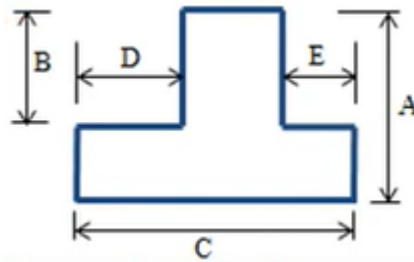


Gambar 5.17 Ketidakberaturan Torsi Bracing V Arah Y

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa pada ketiga model yang diselidiki, δ_{max} tak melampaui baik $1,2\delta_{avg}$ maupun $1,4\delta_{avg}$. Situasi ini mengindikasikan bahwa pada tiga model yang diamati, yakni struktur tanpa *bracing*, struktur dengan *bracing X*, dan struktur dengan *bracing V*, tidak ada kecenderungan ketidakseimbangan torsi.

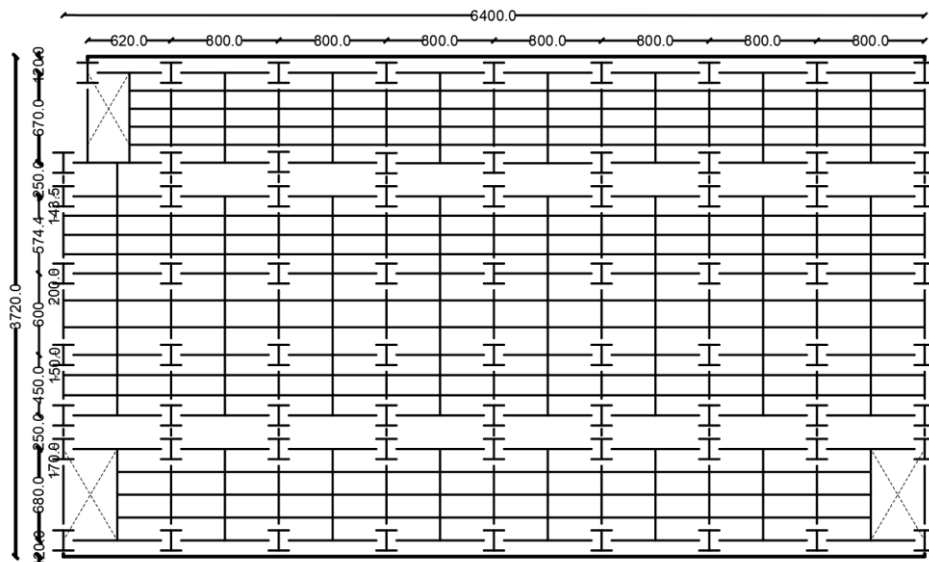
2. Ketidakberaturan Sudut Dalem

Ketidakteraturan sudut dalam diartikan ketika kadua proyaksi rencana sturktur sudut melebihi 15% dari dimensi rencana struktur yang telah ditentukan. Ilustrasi kasus ketidakteraturan sudut dalam terdapat dalam Gambar 5.18 di bawah ini.



Gambar 5.18 Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakteraturan sudut dalam dapat disimpulkan terjadi ketika B melebihi 15% dari A, E melebihi 15% dari C, dan D melebihi 15% dari C. Anda dapat melihat ilustrasi denah bangunan yang akan dianalisis pada Gambar 5.19 di bawah ini.



Gambar 5.19 Denah Bangunan sturktur Baja

Ditemukan bahwa rentang terbesar dalam arah X untuk struktur yang akan dianalisis adalah 64 meter, sementara rentang terkecilnya adalah 1,8 meter. Selanjutnya, ditemukan bahwa rentang terbesar dalam arah Y untuk struktur yang sedang dipelajari adalah 37,2 meter, dan rentang terkecilnya adalah 7,9 meter. Oleh karena itu, ketidakberaturan sudut internal dapat diidentifikasi melalui persamaan berikut ini.

a. $1,8 > 15\% \times 64$

$$\frac{1,8}{64} < 15\%$$

$$2,81\% < 15\%$$

b. $7,9 > 15\% \times 37,2$

$$\frac{7,9}{37,2} > 15\%$$

$$21,2\% > 15\%$$

Hasil perhitungan sebelumnya menunjukkan bahwa nilai pada denah sudut dalam arah Y melebihi 15%, menunjukkan adanya ketidakberaturan sudut yang signifikan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa struktur menunjukkan ketidakberaturan sudut dalamnya. Mengingat adanya ketidakberaturan sudut dalam, metode analisis ekuivalen statis (ELF) tidak diperkenankan untuk digunakan dalam menganalisis kategori desain seismik DEF pada struktur ini.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma diidentifikasi saat terdapat area kosong pada suatu lantai atau daerah yang terbuka yang melampaui 50% dari total luas denah bruto yang tertutup. Berikut adalah perhitungan untuk mengidentifikasi ketidakteraturan diskontinuitas diafragma pada lantai 1. Berdasarkan referensi dari Gambar 5.12, ditemukan bahwa total luas bukaan mencapai 981436 cm² dan luas denah bruto adalah 22151400 cm². Suatu struktur akan dianggap memiliki ketidakteraturan diskontinuitas diafragma jika bukaan yang ada melebihi setengah dari total luas bruto bangunan yang sedang dianalisis. Berdasarkan perhitungan ini, dilakukan kontrol terhadap potensi ketidakteraturan diskontinuitas diafragma sebagai berikut.

$$\frac{\text{Luas Bukaannya Total}}{\text{Luas Total Bruto}} \times 100\% < 50\%$$

$$\frac{981436}{22151400} \times 100\% < 50\%$$

$$4,43\% < 50\%$$

Berdasarkan evaluasi sebelumnya, ditemukan bahwa perbandingan antara total luas bukaan dengan luas bruto adalah sekitar 4,43%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa lantai 1 tidak menunjukkan adanya ketidakberaturan atau diskontinuitas pada diafragma struktur. Informasi rinci mengenai perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dirujuk pada Tabel 5.17 yang tertera di bawah ini.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Story	Luas Bruto	Luas Bukaannya	Rasio Bukaannya	Keterangan
	cm ²	cm ²	%	
6	22151400	0	0.00	Reguler
5	22151400	981436	4.43	Reguler
4	22151400	981436	4.43	Reguler
3	22151400	981436	4.43	Reguler
2	22151400	981436	4.43	Reguler
1	22151400	981436	4.43	Reguler

Berdasarkan data dalam tabel di atas, dapat diamati bahwa tidak ada ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada bangunan yang diperiksa. Selain itu, pada bangunan luas bukaan tidak melebihi 50% dari total luas bangunan. Informasi menarik lainnya adalah bahwa perbandingan luas bukaan di setiap lantai bangunan yang dianalisis adalah sekitar 4,43%.

5.6.2 Ketidakberaturan Struktur Vertikal

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Berdasarkan SNI 1726:2019, terjadi tingkat lunak ketidakberaturan kekakuan apabila mencapai suatu level di mana kekakuan lateralnya kurang dari 69 persen dari kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 79 persen dari kekakuan tiga tingkat di atasnya. Sementara itu, dikategorikan sebagai ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak yang berlebihan, jika mencapai

suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen dari kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen dari kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Penilaian kekakuan ini diperoleh melalui perbandingan hasil nilai gaya geser di setiap tingkat dengan nilai simpangan antar lantai di titik pusat massa. Sebagai contoh penghitungan lebih lanjut mengenai ketidakberaturan dalam kekakuan tingkat yang lunak, diuraikan dalam perhitungan berikut ini.

$$K_1 = 362,991 \text{ kN/mm}$$

$$K_2 = 163,977 \text{ kN/mm}$$

$$K_3 = 91,704 \text{ kN/mm}$$

$$K_4 = 54,934 \text{ kN/mm}$$

$$K_{i+1} = 0,7 \times K_2 = 0,7 \times 163,977 = 114,7839 \text{ kN/mm}$$

$$Avg(K_{i+1}, i+2, i+3) = 0,8 \times \left(\frac{K_2 + K_3 + K_4}{3} \right)$$

$$Avg(K_{i+1}, i+2, i+3) = 0,8 \times \left(\frac{163,977 + 91,704 + 54,934}{3} \right)$$

$$Avg(K_{i+1}, i+2, i+3) = 82,83 \text{ kN/mm}$$

Keterangan :

K_1 = Kekakuan pada tingkat yang ditinjau

$K_{(i+1)}$ = Kekakuan pada tingkat di atasnya

$Avg(K_{i+1}, i+2, i+3)$ = rata – rata kekakuan tingkat di atasnya

Ringkasan dari perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak hasil dari analisis tiga modal yang sedang dipelajari dapat ditemukan dalam rentang Tabel 5.18 hingga Tabel 5.23 di bawah ini.

Tabel 5.18 Ketidakberturan Lateral Tingkat Tanpa Bresing Arah X

<i>Story</i>	Kekakuan Tingkat Lunak	Ki + 1	avg (Ki-1, -2, i-3)
	kN/mm	70%	80%
6	22.897	-	-
5	32.790	Ok	-
4	54.934	Ok	-
3	91.704	Ok	Ok
2	163.977	Ok	Ok
1	362.991	Ok	Ok

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Lateral Tingkat Tanpa Bresing Arah Y

<i>Story</i>	Kekakuan Tingkat Lunak	Ki + 1	avg (Ki-1, I-2, I-3)
	kN/mm	70%	80%
6	15.196	-	-
5	28.131	Ok	-
4	49.892	Ok	-
3	83.550	Ok	Ok
2	147.660	Ok	Ok
1	341.906	Ok	Ok

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan Bresing X Arah X

<i>Story</i>	Kekakuan Tingkat Lunak	Ki + 1	Avg (Ki-1, I-2, i-3)
	kN/mm	70%	80%
6	142.045	-	-
5	196.915	Ok	-
4	276.413	Ok	-
3	384.123	Ok	Ok
2	543.281	Ok	Ok
1	810.081	Ok	Ok

Tabel 5.21 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan Bresing X Arah Y

<i>Story</i>	Kekakuan Tingkat Lunak	Ki + 1	avg (Ki-1,I-2,i-3)
	kN/mm	70%	80%
6	123.967	-	-
5	218.182	Ok	-
4	328.587	Ok	-
3	476.380	Ok	Ok
2	699.301	Ok	Ok
1	1113.173	Ok	Ok

Tabel 5.22 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan Bresing V Arah X

<i>Story</i>	Kekakuan Tingkat Lunak	Ki + 1	avg (Ki-1,I-2,i-3)
	kN/mm	70%	80%
6	104.493	-	-
5	174.825	Ok	-
4	279.243	Ok	-
3	411.664	Ok	Ok
2	617.030	Ok	Ok
1	1003.904	Ok	Ok

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Lateral Tingkat dengan Bresing V Arah Y

<i>Story</i>	Kekakuan Tingkat Lunak	Ki + 1	avg (Ki-1,I-2,i-3)
	kN/mm	70%	80%
6	62.657	-	-
5	107.855	Ok	-
4	385.935	Ok	-
3	568.182	Ok	Ok
2	841.751	Ok	Ok
1	1341.282	Ok	Ok

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak muncul apabila ada suatu level dimana kelenturan lateralnya berada di bawah 70 persen dari kekakuan

lateral tingkat yang lebih tinggi, atau kurang dari 80 persen dari kekakuan rata-rata tiga tingkat lebih atasnya. Data dalam tabel sebelumnya menunjukkan bahwa dari tiga model yang dianalisis, yakni struktur baja tanpa *bracing*, struktur baja dengan sistem *bracing* tipe X, dan struktur baja dengan sistem *bracing* tipe V, tidak ada yang menunjukkan tanda-tanda ketidakberaturan kekakuan pada tingkat lunak, dan semuanya memenuhi syarat sebagai bangunan bersifat reguler.

2. Ketidakberaturan berat (Massa)

Ketidakteraturan massa didefinisikan ada jika massa efektif tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di atasnya. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan berat massa pada bangunan yang akan ditinjau, dapat dilihat pada Tabel 5.24 dan Tabel 5.26.

Tabel 5.24 Persentase Ketidakberaturan Berat Struktur Baja Tanpa Breising

<i>Story</i>	Berat (kN)	Persentase di atas (%)	Persentase di bawah (%)
6	8454.125	-	93.28
5	9063.608	107.21	100
4	9063.608	100	100
3	9063.608	100	100
2	9063.608	100	100
1	9063.608	100	-

Tabel 5.25 Persentase Ketidakberaturan Berat Struktur Baja dengan Bresing X

<i>Story</i>	Berat (kN)	Persentase di atas (%)	Persentase di bawah (%)
6	8470.6867	-	93.29
5	9080.169	107.20	100
4	9080.169	100	100
3	9080.169	100	100
2	9080.169	100	100
1	9080.169	100	-

**Tabel 5.26 Persentase Ketidakberaturan Berat Struktur Baja dengan
Bresing V**

<i>Story</i>	Berat (kN)	Persentase di atas (%)	Persentase di bawah (%)
6	8465.854	-	93.29
5	9075.010	107.20	100
4	9075.010	100	100
3	9075.010	100	100
2	9075.010	100	100
1	9075.010	100	-

Dari data dalam tabel yang disajikan, dapat diamati bahwa lantai 5 menunjukkan persentase berat ketidakberaturan struktur yang paling signifikan, mencapai 107,21% untuk konstruksi tanpa penggunaan sistem *bracing*, serta 107,20% untuk konstruksi yang mengadopsi sistem *bracing* X dan V. Walaupun demikian, hasil ini masih memenuhi kriteria ketidakberaturan berat, karena tidak melampaui batas yang ditetapkan massa efektif lantai tidak melebihi 140% dari massa efektif lantai di atasnya.

3. Ketidakberaturan Vertikal Geometri

Ketidakberaturan vertikal geometri diartikan terjadi apabila dimensi horizontal dari sistem penahan gaya seismik pada lantai memiliki perbandingan lebih dari 130% dibandingkan dimensi horizontal sistem penahan gaya seismik yang berdekatan. Dalam merencanakan struktur bangunan ini, kolom dan struktur *bracing* tetap konsisten dari dasar hingga puncaknya. Ukuran kolom yang diimplementasikan dalam bangunan ini memiliki dimensi 200x200x8x12, sementara dimensi *bracing* adalah 100x100x6x8, dengan mutu baja BJ 37 yang sama digunakan pada keduanya. Berdasarkan parameter ini, dapat disimpulkan bahwa struktur ini menjaga konsistensi geometri vertikalnya tanpa ketidakaturan yang signifikan.

4. Ketidakberaturan discontinuitas bidang elemen pada elemen vertical pemikul gaya lateral

Ketidaturaturan ini muncul saat terjadi pergeseran (*offset*) elemen penahan yang lebih besar dari lebar (d) elemen tersebut, atau adanya pengurangan kekakuan elemen penahan pada tingkatan di bawahnya. Pada struktur bangunan yang sedang dianalisis, tidak terdapat perpindahan pada elemen penahan gaya lateral yang melampaui ukuran elemen itu sendiri. Oleh karena itu, perencanaan struktur ini tidak menunjukkan adanya ketidaturaturan pada diskontinuitas bidang elemen pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

5. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketika mempertimbangkan ketidakberaturan tiangkat lunak, pengaruh nilai gaya geser pada setiap tingkat dapat menjadi faktor penting. Gambaran perhitungan ketidakberaturan tingkat lunak disajikan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
V_{1x} &= 845,17 \text{ kN} \\
V_{1y} &= 934,58 \text{ kN} \\
V_{2x} &= 500,47 \text{ kN} \\
V_{2y} &= 420,16 \text{ kN} \\
V_{2x-5a} &= 0.8 \times 934,58 \\
&= 747,664 \text{ kN} \\
&= V_{1x} > V_{2x-5a}, \text{ maka } \textit{story} \text{ tanpa ketidakberaturan kuat lateral} \\
&\text{tingkat} \\
V_{2y-5a} &= 0.8 \times 420,16 \\
&= 336,128 \text{ kN} \\
&= V_{1y} > V_{2y-5a}, \text{ maka } \textit{story} \text{ tanpa ketidakberaturan kuat lateral} \\
&\text{tingkat} \\
V_{2x-5b} &= 0.65 \times 934,58 \\
&= 607,477 \text{ kN} \\
&= V_{1x} > V_{2x-5b}, \text{ maka } \textit{story} \text{ tanpa ketidakberaturan kuat lateral} \\
&\text{tingkat} \\
V_{2y-5b} &= 0.65 \times 420,16 \\
&= 273,104 \text{ kN} \\
&= V_{1y} > V_{2y-5b}, \text{ maka } \textit{story} \text{ tanpa ketidakberaturan kuat lateral} \\
&\text{tingkat}
\end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
V_{1x} &= \text{Gaya geser gempa arah X } \textit{story}\text{-1} \\
V_{2x} &= \text{Gaya geser gempa arah X } \textit{story}\text{-2} \\
V_{1y} &= \text{Gaya geser gempa arah Y } \textit{story}\text{-1} \\
V_{2y} &= \text{Gaya geser gempa arah Y } \textit{story}\text{-2} \\
V_{1x-5a} &= \text{Kuat lateral tingkat persyaratan pertama} \\
V_{1x-5b} &= \text{Kuat lateral tingkat persyaratan kedua}
\end{aligned}$$

Ringkasan mengenai ketidakberaturan kuat lateral tingkat tersedia dalam Tabel 5.27 hingga 5.32 berikut ini.

Tabel 5.27 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Tanpa *Bracing* 5a

<i>Story</i>	Vx (kN)	Vy (kN)	Cek 80% (X)	Cek 80% (Y)
6	1.09	2.26	-	-
5	3.59	1.80	Reguler	Ketidakteraturan 5a
4	27.40	5.78	Reguler	Reguler
3	185.58	27.40	Reguler	Reguler
2	500.47	420.16	Reguler	Reguler
1	845.17	934.58	Reguler	Reguler

Tabel 5.28 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Tanpa *Bracing* 5b

<i>Story</i>	Vx (kN)	Vy (kN)	Cek 65% (X)	Cek 65% (Y)
6	1.09	2.26	-	-
5	3.59	1.80	Reguler	Ketidakteraturan 5b
4	27.40	5.78	Reguler	Reguler
3	185.58	27.40	Reguler	Reguler
2	500.47	420.16	Reguler	Reguler
1	845.17	934.58	Reguler	Reguler

Tabel 5.29 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan *Bracing* X 5a

<i>Story</i>	Vx (kN)	Vy (kN)	Cek 80% (X)	Cek 80% (Y)
6	37.14	70.37	-	-
5	50.98	78.88	Reguler	Reguler
4	109.51	100.31	Reguler	Reguler
3	81.09	119.72	Reguler	Reguler
2	1087.06	355.12	Reguler	Reguler
1	6909.63	6911.58	Reguler	Reguler

Tabel 5.30 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan *Bracing X* 5b

<i>Story</i>	Vx (kN)	Vy (kN)	Cek 65% (X)	Cek 65% (Y)
6	37.14	70.37	-	-
5	50.98	78.88	Reguler	Reguler
4	109.51	100.31	Reguler	Reguler
3	81.09	119.72	Reguler	Reguler
2	1087.06	355.12	Reguler	Reguler
1	6909.63	6911.58	Reguler	Reguler

Tabel 5.31 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan *Bracing V 5a*

<i>Story</i>	Vx (kN)	Vy (kN)	Cek 80% (X)	Cek 80% (Y)
6	24.54	1.55	-	-
5	25.11	1.08	Reguler	Reguler
4	64.54	4.58	Reguler	Reguler
3	124.88	31.27	Reguler	Reguler
2	1366.52	391.82	Reguler	Reguler
1	6337.50	4138.89	Reguler	Reguler

Tabel 5. 32 Cek Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dengan *Bracing V* 5b

<i>Story</i>	Vx (kN)	Vy (kN)	Cek 65% (X)	Cek 65% (Y)
6	24.54	1.55	-	-
5	25.11	1.08	Reguler	Reguler
4	64.54	4.58	Reguler	Reguler
3	124.88	31.27	Reguler	Reguler
2	1366.52	391.82	Reguler	Reguler
1	6337.50	4138.89	Reguler	Reguler

Ketidakteraturan kuat lateral tingkat dinyatakan ada jika kekuatan lateralnya di bawah 80% untuk tipe 5a dan di bawah 66% untuk tipe 5b dari kekseatan lateral tingkat di atasnya. Kekaeatan lateral tingkat merujuk pada total kekuatan dari semua elemen pemikul gempa yang berbagi gaya geser pada arah yang ditinjau. Berdasarkan informasi dalam tabel di atas, dapat dilihat bahwa dari ketiga model bangunan yang dianalisis, struktur tanpa

penggunaan *bracing* mengalami ketidakteraturan tipe 5a dan tipe 5b pada lantai 5. Sebaliknya, bangunan yang dilengkapi dengan *bracing* tipe X dan *bracing* tipe V menunjukkan pola keberaturan atau tidak memiliki ketidakteraturan kuat lateral tingkat.

5.7 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, perlu dihitung simpangan antar lantai yang tidak melebihi batas simpangan ijin antar tingkat yang ditetapkan. Dalam konteks penelitian ini, objek yang dianalisis adalah bangunan rumah sakit. Diketahui dari Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 bahwa bangunan ini diklasifikasikan sebagai kategori desain seismik D. Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2, untuk bangunan dengan kategori desain seismik D yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi, faktor redundansi (ρ) seharusnya memiliki nilai 1,3. Hasil perhitungan simpangan antar lantai ijin untuk kategori risiko IV diperoleh sebesar 0,02 h_{sx} . Selanjutnya, akan paparkan perhitungan lebih lanjut terkait simpangan antar lantai dari dua model yang sedang ditinjau.

1. Simpangan antar lantai struktur baja tanpa bresing

$$\begin{aligned} \delta_n &= 68,16 \text{ mm} \\ \delta_{n-1} &= 63,65 \text{ mm} \\ \Delta &= \frac{(\delta_n - \delta_{n-1}) \times cd}{le} \\ &= \frac{(68,26 - 63,65) \times 5.5}{1,5} \\ &= 16,86 \text{ mm} \\ \Delta_a &= 0,02 \times h_{sx} \\ &= 0,02 \times 3500 \\ &= 70 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Simpangan antar lantai struktur baja dengan bresing X

$$\begin{aligned}
\delta_n &= 15,02 \text{ mm} \\
\delta_{n-1} &= 13 \text{ mm} \\
\Delta &= \frac{(\delta_n - \delta_{n-1}) \times cd}{I_e} \\
&= \frac{(15,02 - 13) \times 5,5}{1,5} \\
&= 7,4 \text{ mm} \\
\Delta_a &= 0,02 \times h_{sx} \\
&= 0,02 \times 3500 \\
&= 70 \text{ mm}
\end{aligned}$$

3. Simpangan antar lantai struktur baja dengan bresing V

$$\begin{aligned}
\delta_n &= 15,15 \text{ mm} \\
\delta_{n-1} &= 13,52 \text{ mm} \\
\Delta &= \frac{(\delta_n - \delta_{n-1}) \times cd}{I_e} \\
&= \frac{(15,15 - 13,52) \times 5,5}{1,5} \\
&= 5,97 \text{ mm} \\
\Delta_a &= 0,02 \times h_{sx} \\
&= 0,02 \times 3500 \\
&= 70 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis yang telah dijelaskan di atas, jika Δ kurang dari Δ_a , maka pada titik tersebut simpangan antar lantai akan masuk dalam kategori yang dianggap aman atau tidak akan melebihi batas simpangan yang telah diijinkan. Pengujian simpangan ini dilakukan pada setiap lantai di titik dengan defleksi terbesar. Informasi rinci mengenai simpangan antar lantai dapat ditemukan dalam Tabel 5.33 hingga 5.38 sebagai berikut.

Tabel 5.33 Cek Simpangan Antar Lantai Tanpa Bresing Arah X

<i>Story</i>	δx_{ei} (mm)	<i>Ie</i>	<i>Cd</i>	Δi (mm)	Δa (mm)	Cek Simpangan Antar Lantai
6	11.91	1.5	5.5	43.674	70.000	Aman
5	28.55	1.5	5.5	60.995	70.000	Aman
4	43.44	1.5	5.5	54.611	70.000	Aman
3	55.34	1.5	5.5	43.619	70.000	Aman
2	63.65	1.5	5.5	30.492	70.000	Aman
1	68.16	1.5	5.5	16.529	70.000	Aman

Tabel 5.34 Cek Simpangan Antar Lantai Tanpa Bresing Arah Y

<i>Story</i>	δx_{ei} (mm)	<i>Ie</i>	<i>Cd</i>	Δi (mm)	Δa (mm)	Cek Simpangan Antar Lantai
6	17.95	1.5	5.5	65.806	70.000	Aman
5	37.34	1.5	5.5	71.097	70.000	Tidak Aman
4	53.74	1.5	5.5	60.130	70.000	Aman
3	66.79	1.5	5.5	47.876	70.000	Aman
2	76.03	1.5	5.5	33.862	70.000	Aman
1	80.81	1.5	5.5	17.549	70.000	Aman

Tabel 5.35 Cek Simpangan Antar Lantai dengan Bresing X Arah X

<i>Story</i>	δx_{ei} (mm)	<i>Ie</i>	<i>Cd</i>	Δi (mm)	Δa (mm)	Cek Simpangan Antar Lantai
6	1.92	1.5	5.5	7.040	70.000	Aman
5	4.69	1.5	5.5	10.157	70.000	Aman
4	7.65	1.5	5.5	10.853	70.000	Aman
3	10.49	1.5	5.5	10.413	70.000	Aman
2	13.00	1.5	5.5	9.203	70.000	Aman
1	15.02	1.5	5.5	7.407	70.000	Aman

Tabel 5.36 Cek Simpangan Antar Lantai dengan Bresing X Arah Y

<i>Story</i>	δx_{ei} (mm)	Ie	Cd	Δi (mm)	Δa (mm)	Cek Simpangan Antar Lantai
6	2.20	1.5	5.5	8.067	70.000	Aman
5	4.70	1.5	5.5	9.167	70.000	Aman
4	7.19	1.5	5.5	9.130	70.000	Aman
3	9.48	1.5	5.5	8.397	70.000	Aman
2	11.43	1.5	5.5	7.150	70.000	Aman
1	12.90	1.5	5.5	5.390	70.000	Aman

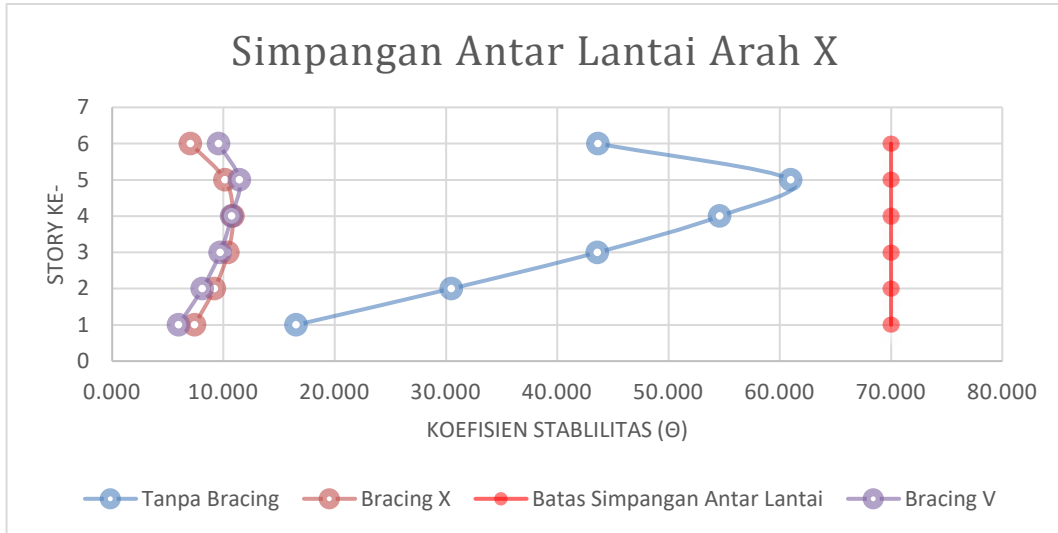
Tabel 5.37 Cek Simpangan Antar Lantai dengan Bresing V Arah X

<i>Story</i>	δx_{ei} (mm)	Ie	Cd	Δi (mm)	Δa (mm)	Cek Simpangan Antar Lantai
6	1.92	1.5	5.5	9.570	70.000	Aman
5	4.69	1.5	5.5	11.440	70.000	Aman
4	7.65	1.5	5.5	10.743	70.000	Aman
3	10.49	1.5	5.5	9.717	70.000	Aman
2	13.00	1.5	5.5	8.103	70.000	Aman
1	15.02	1.5	5.5	5.977	70.000	Aman

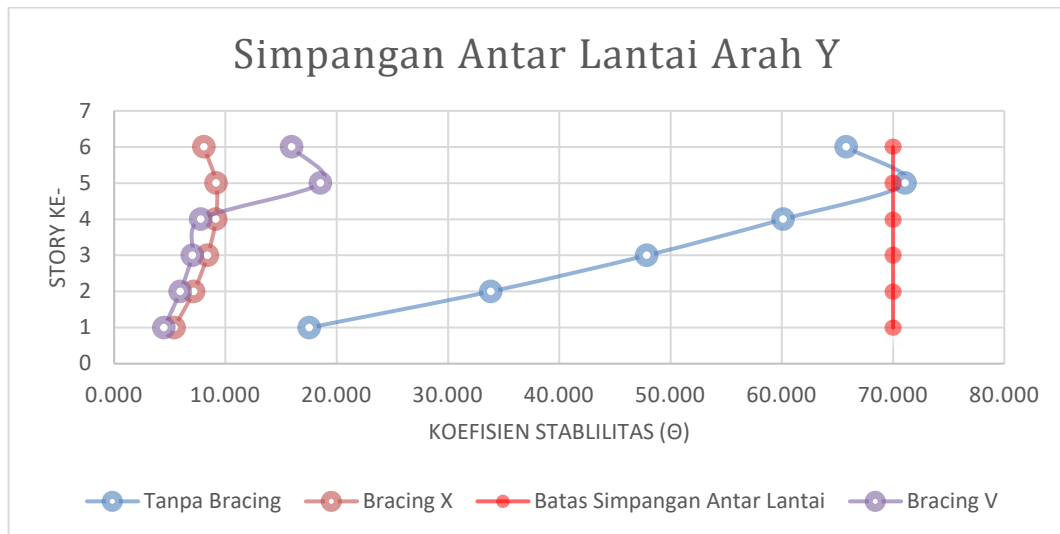
Tabel 5.38 Cek Simpangan Antar Lantai dengan Bresing V Arah Y

<i>Story</i>	δx_{ei} (mm)	Ie	Cd	Δi (mm)	Δa (mm)	Cek Simpangan Antar Lantai
6	2.20	1.5	5.5	15.960	70.000	Aman
5	4.70	1.5	5.5	18.543	70.000	Aman
4	7.19	1.5	5.5	7.773	70.000	Aman
3	9.48	1.5	5.5	7.040	70.000	Aman
2	11.43	1.5	5.5	5.940	70.000	Aman
1	12.90	1.5	5.5	4.473	70.000	Aman

Dalam Gambar 5.20 dan 5.21 menggambarkan perbandingan simpangan antar lantai pada struktur baja tanpa bracing, struktur baja dengan tambahan bracing tipe X, serta struktur baja dengan tambahan bracing tipe V.



Gambar 5.20 Grafik Simpaengan Antar Lantai Arah X



Gambar 5.21 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y

Berdasarkan informasi dalam diagram yang sudah dijabarkan, ditemukan bahwa simpangan antar lantai tertinggi pada struktur tanpa *bracing* terjadi pada sumbu Y, yakni mencapai 71.097 mm. Pada struktur dengan *bracing* tipe X, simpangan terbesar terjadi pada sumbu X, dengan nilai 10.853 mm. Sementara itu, pada model *bracing* tipe V, simpangan paling besar pada sumbu Y, yaitu sekitar 18.543 mm. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan sebesar 36,05% dalam simpangan antar lantai di antara ketiga model tersebut. Hasil ini menunjukkan implementasi sistem *bracing* berpotensi dapat mengurangi simpangan antar lantai pada struktur bangunan bertingkat.

5.8 Rasio Simpangan Antar Lantai

Dalam analisis tugas akhir ini, untuk mengevaluasi performa struktur, diperhitungkan parameter rasio simpangan antar lantai (*Drift Ratio*), sejalan dengan pedoman SNI 1726:2019. Rasio simpangan antar lantai dihitung melalui perbandingan antara simpangan lantai khusus tertentu terhadap tinggi lantai yang bersangkutan.

1. Rasio Simpangan Antar Lantai pada Struktur Baja Tanpa Bracing

$$\Delta n = 43,674 \text{ mm}$$

$$L = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Drift Resio} = \frac{\Delta n}{L}$$

$$= \frac{43,674}{3500}$$

$$= 1,25 \%$$

2. Rasio Simpangan Antar Lantai pada Struktur Baja dengan Bresing X

$$\Delta n = 7,04 \text{ mm}$$

$$L = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Drift Rasio} = \frac{\Delta n}{L}$$

$$= \frac{7,04}{3500}$$

$$= 0,20 \%$$

3. Rasio Simpangan Antar Lantai pada Struktur Baja dengan Bresing V

$$\Delta n = 9,57 \text{ mm}$$

$$L = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Drift Rasio} = \frac{\Delta n}{L}$$

$$= \frac{9,57}{3500}$$

$$= 0,27 \%$$

Ringkasan perbandingan rasio simpangan antar lantai pada struktur baja tanpag bresng, struktur baja dengan tambahan bresing tipe X, serta struktur baja dengan tambahan *bracing* tipe V dapat diamati dalam rentang Tabel 5.39 hingga Tabel 5.44 sebagai berikut.

Tabel 5.39 Rasio Simpangan Struktur Baja Tanpa Bresing Arah X

<i>Story</i>	<i>Drift Ratio (%)</i>
6	0.47
5	0.87
4	1.25
3	1.56
2	1.74
1	1.25

Tabel 5.40 Rasio Simpangan Struktur Baja Tanpa Bresing Arah Y

<i>Story</i>	<i>Drift Ratio (%)</i>
6	0.50
5	0.97
4	1.37
3	1.72
2	2.03
1	1.88

Tabel 5.41 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan Bresing X Arah X

<i>Story</i>	<i>Drift Ratio (%)</i>
6	0.21
5	0.26
4	0.30
3	0.31
2	0.29
1	0.20

Tabel 5.42 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan Bresing X Arah Y

<i>Story</i>	<i>Drift Ratio (%)</i>
6	0.15
5	0.20
4	0.24
3	0.26
2	0.26
1	0.23

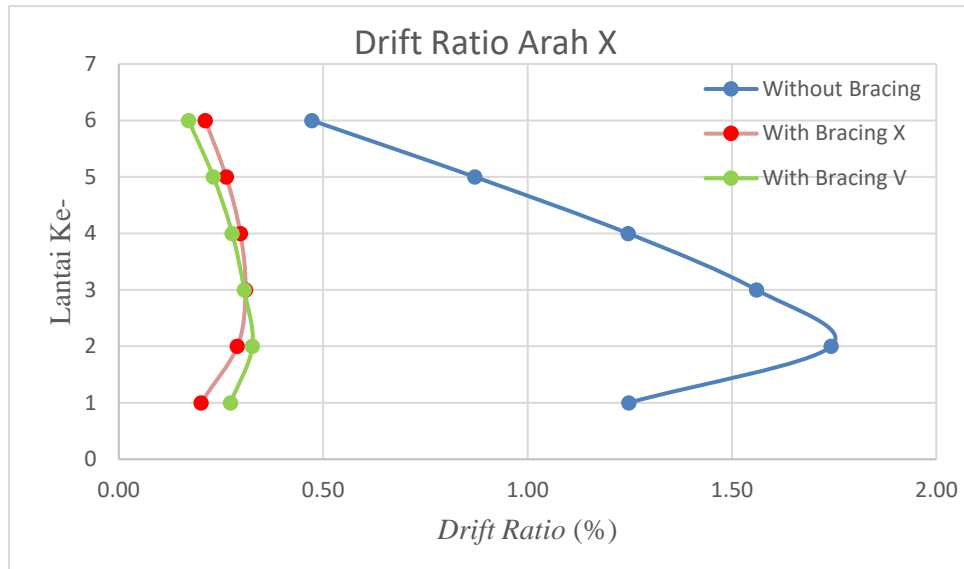
Tabel 5.43 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan Bresing V Arah X

<i>Story</i>	<i>Drift Ratio (%)</i>
6	0.17
5	0.23
4	0.28
3	0.31
2	0.33
1	0.27

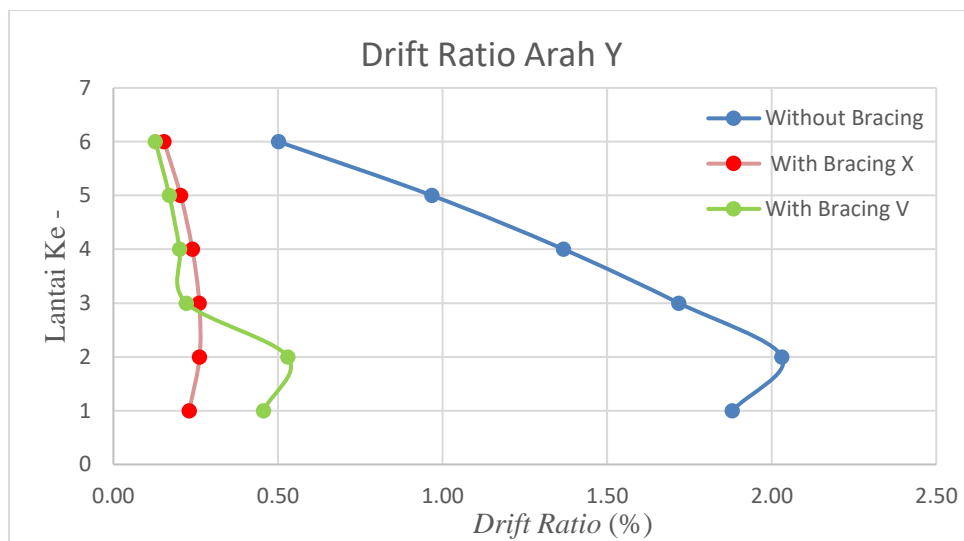
Tabel 5.44 Rasio Simpangan Struktur Baja dengan Bresing V Arah Y

<i>Story</i>	<i>Drift Ratio (%)</i>
6	0.13
5	0.17
4	0.20
3	0.22
2	0.53
1	0.46

Gambar 5.22 dan 5.23 menggambarkan grafik korelasi antara *drift ratio* pada struktur baja tanpa bresing, struktur baja dengan tambahan bresing tipe X, dan struktur baja dengan tambahan *bracing* tipe V.



Gambar 5. 22 Perbandingan *Drift Ratio* Arah X



Gambar 5. 23 Perbandingan *Drift Ratio* Arah Y

Drift rasio mengindikasikan karakteristik dari struktur yang sedang dianalisis, apakah bersifat rigid atau pun fleksibel. Semakin rendah nilai *drift rasio*, semakin besar kekakuan yang dimiliki oleh struktur yang telah direncanakan. Berdasarkan informasi yang tergambar dalam diagram di atas, tampak bahwa struktur yang menerapkan sistem perkuatan *bracing* memiliki *drift rasio* yang lebih

minim dibandingkan dengan struktur tanpa penerapan sistem perkuatan *bracing*. Oleh karena itu, integrasi sistem perkuatan *bracing* pada struktur dapat berkontribusi dalam meningkatkan tingkat kekakuan struktur yang dianalisis.

5.9 Koefisien Stabilitas Struktur

Apabila suatu struktur menghasilkan angka koefisien stabilitas melewati batas yang diizinkan, maka dibutuhkan penghitungan efek P-delta atau nilai koefisien stabilitas kurang dari 0,1. Tidak diperbolehkan bagi suatu struktur untuk memiliki angka koefisien stabilitas pada titik tertentu yang melebihi nilai maksimum koefisien stabilitasnya. Jika situasi tersebut muncul, desain struktur tersebut menjadi tidak layak digunakan karena termasuk dalam kategori ketidakamanan. Upaya perlu dilakukan untuk meningkatkan stabilitas struktur. Sebuah contoh perhitungan dalam pencarian nilai koefisien stabilitas dapat ditemukan dalam penjelasan di bawah ini.

1. Struktur Baja Tanpa *Bracing*

Diketahui :

$$P_x = 92853,525 \text{ kN}$$

$$\Delta = 43,674 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$V_x = 5544,167 \text{ kN}$$

$$H_x = 3500 \text{ mm}$$

$$Cd = 5,5$$

$$\beta = 1$$

Jawab :

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times H_x \times Cd} \\ &= \frac{92853,525 \times 43,674 \times 1,5}{5544,167 \times 3500 \times 5,5} \\ &= 0,057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{max} &= \frac{0,5}{Cd \times \beta} \\ &= \frac{0,5}{5,5 \times 1} \\ &= 0,091 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang telah disajikan, ditemukan angka koefisien stabilitas sekitar 0,057 dan nilai puncak koefisien stabilitas mencapai 0,091. Implikasinya, dalam konteks lantai yang sedang ditinjau, konstruksinya dapat dikategorikan sebagai kokoh dan stabil. Maka dari itu, dampak P-delta pada titik tersebut dianggap tidak signifikan karena nilainya berada di bawah 0,1.

2. Struktur Baja dengan *Bracing* X

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 P_x &= 92952,173 \text{ kN} \\
 \Delta &= 7,04 \text{ mm} \\
 I_e &= 1,5 \\
 V_x &= 6909,633 \text{ kN} \\
 H_x &= 3500 \text{ mm} \\
 C_d &= 5,5 \\
 \beta &= 1
 \end{aligned}$$

Jawab :

$$\begin{aligned}
 \theta &= \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times H_x \times C_d} \\
 &= \frac{92952,173 \times 7,04 \times 1,5}{6909,633 \times 3500 \times 5,5} \\
 &= 0,0074 \\
 \theta_{max} &= \frac{0,5}{C_d \times \beta} \\
 &= \frac{0,5}{5,5 \times 1} \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang telah disajikan, ditemukan angka koefisien stabilitas sekitar 0,0074 dan nilai puncak koefisien stabilitas mencapai 0,91. Implikasinya, dalam konteks lantai yang sedang ditinjau, konstruksinya dapat dikategorikan sebagai kokoh dan stabil. Maka dari itu, dampak P-delta pada titik tersebut dianggap tidak signifikan karena nilainya berada di bawah 0,1.

2. Struktur Baja dengan *Bresing* V

Diketahui :

$$P_x = 92921,198 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta &= 9,57 \text{ mm} \\
 Ie &= 1,5 \\
 Vx &= 6337,497 \text{ kN} \\
 Hx &= 3500 \text{ mm} \\
 Cd &= 5,5 \\
 \beta &= 1
 \end{aligned}$$

Jawab :

$$\begin{aligned}
 \theta &= \frac{Px \times \Delta \times Ie}{Vx \times Hx \times Cd} \\
 &= \frac{92921,198 \times 9,57 \times 1,5}{6337,497 \times 3500 \times 5,5} \\
 &= 0,0011 \\
 \theta_{max} &= \frac{0,5}{Cd \times \beta} \\
 &= \frac{0,5}{5,5 \times 1} \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang telah disajikan, ditemukan angka koefisien stabilitas sekitar 0,0011 dan nilai puncak koefisien stabilitas mencapai 0,91. Implikasinya, dalam konteks lantai yang sedang ditinjau, konstruksinya dapat dikategorikan sebagai kokoh dan stabil. Maka dari itu, dampak P-delta pada titik tersebut dianggap tidak signifikan karena nilainya berada di bawah 0,1.

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 Px &= \text{Beban vertikal akibat beban gravitasi (kN)} \\
 \Delta &= \text{Simpangan antar lantai (mm)} \\
 Ie &= \text{Faktor keutamaan gempa} \\
 Vx &= \text{Gaya geser gempa per lantai (kN)} \\
 Hx &= \text{Tinggi lantai (mm)} \\
 Cd &= \text{Faktor perbesar defleksi} \\
 \beta &= \text{Rasio geser}
 \end{aligned}$$

Ringkasan perhitungan koefisien stabilitas dapat dilihat pada Tabel 5.45 sampai tabel 5.50 dibawah ini.

Tabel 5.45 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas Tanpa Bresing Arah X

<i>Story</i>	Ie	Cd	Δ_i	Px (kN)	Vx (kN)	Hx (mm)	θ	θ_{max}	Cek $\theta < \theta_{max}$
6	1.5	5.5	3.306	8972.643	9.547	3500	1.211	0.091	Tidak Aman
5	1.5	5.5	6.098	25748.712	18.248	3500	3.353	0.091	Tidak Aman
4	1.5	5.5	8.724	42524.782	27.396	3500	5.276	0.091	Tidak Aman
3	1.5	5.5	10.922	59300.852	185.578	3500	1.360	0.091	Tidak Aman
2	1.5	5.5	12.199	76076.922	1315.64	3500	0.275	0.091	Tidak Aman
1	1.5	5.5	8.735	92853.525	5544.167	3500	0.057	0.091	Aman

Tabel 5.46 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas Tanpa Bresing Arah Y

<i>Story</i>	Ie	Cd	Δ_i	Px (kN)	Vx (kN)	Hx (mm)	θ	θ_{max}	Cek $\theta < \theta_{max}$
6	1.5	5.5	17.549	8972.643	5.479	3500	2.239	0.091	Tidak Aman
5	1.5	5.5	33.862	25748.712	10.287	3500	6.604	0.091	Tidak Aman
4	1.5	5.5	47.876	42524.782	48.248	3500	3.288	0.091	Tidak Aman
3	1.5	5.5	60.130	59300.852	105.481	3500	2.634	0.091	Tidak Aman
2	1.5	5.5	71.097	76076.922	349.071	3500	1.207	0.091	Tidak Aman
1	1.5	5.5	65.806	92853.525	3617.391	3500	0.132	0.091	Tidak Aman

Tabel 5.47 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan Bresing X Arah X

<i>Story</i>	Ie	Cd	Δi	Px (kN)	Vx (kN)	Hx (mm)	θ	θ_{max}	Cek $\theta < \theta_{max}$
6	1.5	5.5	0.741	8989.173	37.144	3500	0.014	0.091	Aman
5	1.5	5.5	0.920	25781.773	50.976	3500	0.036	0.091	Aman
4	1.5	5.5	1.041	42574.373	109.507	3500	0.032	0.091	Aman
3	1.5	5.5	1.085	59366.973	81.091	3500	0.062	0.091	Aman
2	1.5	5.5	1.016	76159.573	1087.061	3500	0.006	0.091	Aman
1	1.5	5.5	0.704	92952.173	6909.633	3500	0.001	0.091	Aman

Tabel 5.48 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan Bresing X Arah Y

<i>Story</i>	Ie	Cd	Δi	Px (kN)	Vx (kN)	Hx (mm)	θ	θ_{max}	Cek $\theta < \theta_{max}$
6	1.5	5.5	0.539	8989.173	70.37	3500	0.005	0.091	Aman
5	1.5	5.5	0.715	25781.773	78.881	3500	0.018	0.091	Aman
4	1.5	5.5	0.840	42574.373	100.305	3500	0.028	0.091	Aman
3	1.5	5.5	0.913	59366.973	119.716	3500	0.035	0.091	Aman
2	1.5	5.5	0.917	76159.573	355.123	3500	0.015	0.091	Aman
1	1.5	5.5	0.807	92952.173	6911.584	3500	0.001	0.091	Aman

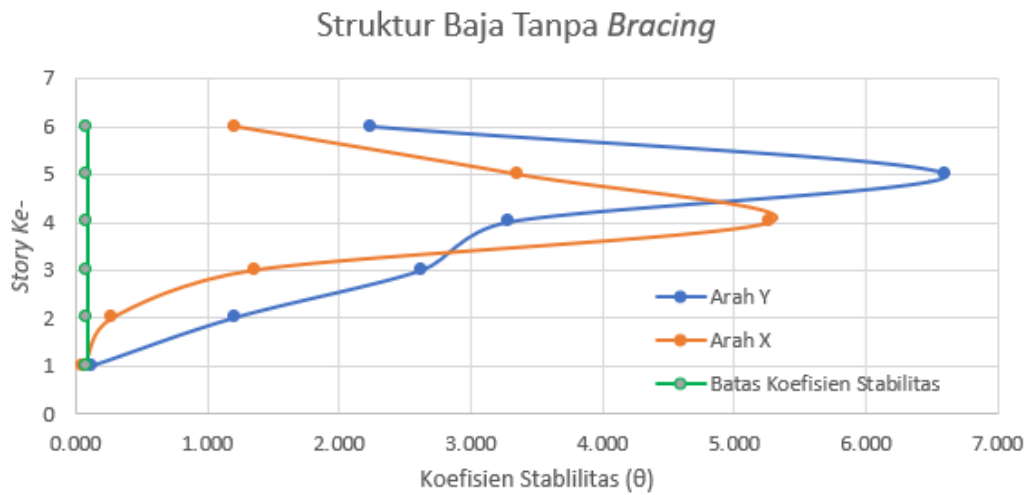
Tabel 5.49 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan Bresing V Arah X

<i>Story</i>	Ie	Cd	Δ_i	Px (kN)	Vx (kN)	Hx (mm)	θ	θ_{max}	Cek $\theta < \theta_{max}$
6	1.5	5.5	0.598	8984.099	24.542	3500	0.017	0.091	Aman
5	1.5	5.5	0.810	25771.625	25.106	3500	0.065	0.091	Aman
4	1.5	5.5	0.972	42558.619	64.535	3500	0.050	0.091	Aman
3	1.5	5.5	1.074	59346.145	124.884	3500	0.040	0.091	Aman
2	1.5	5.5	1.144	76133.672	1366.518	3500	0.005	0.091	Aman
1	1.5	5.5	0.957	92921.198	6337.497	3500	0.001	0.091	Aman

Tabel 5.50 Rekapitulasi Koefisien Stabilitas dengan Bresing V Arah Y

<i>Story</i>	Ie	Cd	Δ_i	Px (kN)	Vx (kN)	Hx (mm)	θ	θ_{max}	Cek $\theta < \theta_{max}$
6	1.5	5.5	0.447	8984.099	1.552	3500	0.020	0.091	Aman
5	1.5	5.5	0.594	25771.625	1.077	3500	0.074	0.091	Aman
4	1.5	5.5	0.704	42558.619	4.583	3500	0.051	0.091	Aman
3	1.5	5.5	0.777	59346.145	31.272	3500	0.038	0.091	Aman
2	1.5	5.5	0.854	76133.672	391.817	3500	0.013	0.091	Aman
1	1.5	5.5	2.596	92921.198	4138.89	3500	0.005	0.091	Aman

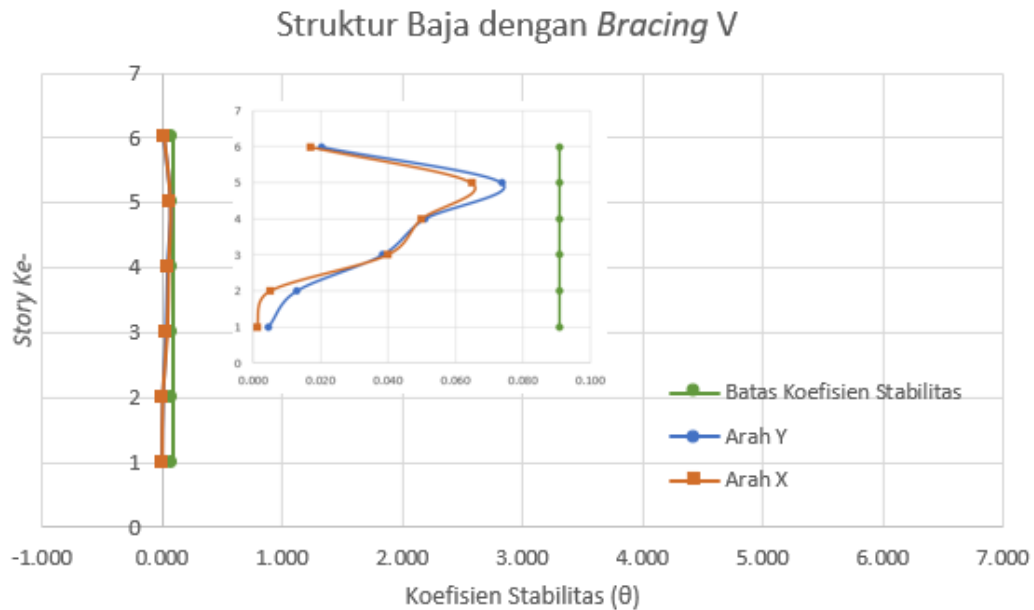
Gambar 5.24 hingga Gambar 5.26 menampilkan diagram perbandingan koefisien stabilitas pada struktur baja tanpa bresing, struktur baja dengan tambahan bresing tipe X, dan struktur baja dengan tambahan bracing tipe V.



Gambar 5.24 Grafik Koefisien stabilitas Struktur Baja tanpa *Bracing*



Gambar 5.25 Grafik Koefisien stabilitas Struktur Baja dengan *Bracing X*



Gambar 5.26 Grafik Koefisien stabilitas Struktur Baja dengan *Bracing* V

Stabilitas struktur menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian ini. Pemasangan elemen bresing memiliki potensi untuk meningkatkan kekakuan bangunan dan mengurangi deformasi, sehingga penambahan elemen *bracing* berpotensi untuk meningkatkan stabilitas bangunan serta mengurangi risiko deformasi yang signifikan pada arah horizontal. Dalam penelitian ini, tiga model berbeda dievaluasi, dan hasil menunjukkan bahwa stabilitas struktur paling besar terjadi pada bangunan yang tidak menggunakan *bracing* pada arah Y, dengan nilai 6,604. Pada bangunan yang menerapkan sistem *bracing* X, nilai stabilitas mencapai 0,062, sementara pada bangunan dengan sistem *bracing* V, nilai stabilitas adalah 0,074. Semakin rendah nilai koefisien stabilitas, semakin tinggi tingkat stabilitas struktur. Dapat diartikan bahwa semakin rendah nilai koefisien stabilitas, semakin baik stabilitas struktur, dengan memperhatikan batas koefisien stabilitas yang diizinkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan tentang dampak variasi penggunaan bresing X dan V terhadap respons struktur bangunan baja pada gedung bertingkat banyak akibat gempa, dapat diambil simpulan berikut.

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai waktu getar alami pada struktur bangunan baja menggunakan SAP 2000 adalah 1,4142 detik pada bangunan tanpa *bracing*, 0,7965 detik pada bangunan dengan tambahan *bracing* X, dan 0,9738 detik pada bangunan dengan tambahan *bracing* V. Terlihat bahwa penggunaan *bracing* X mengakibatkan penurunan 43,67% dalam nilai waktu getar alami, sementara *bracing* V mengakibatkan penurunan 31,14%.
2. Pada analisis simpangan antar lantai, nilai tertinggi tercatat pada arah Y pada bangunan tanpa *bracing*, mencapai 71,097 mm. Bangunan dengan tambahan *bracing* X mengalami simpangan antar lantai tertinggi pada arah X, yaitu 10,853 mm, sementara bangunan dengan tambahan *bracing* V memiliki simpangan antar lantai tertinggi pada arah Y, mencapai 18,543 mm. Implementasi *bracing* X menghasilkan penurunan sebesar 84,73% dalam simpangan antar lantai, sedangkan penambahan *bracing* V menghasilkan penurunan sebesar 73,91%.
3. Koefisien stabilitas mengindikasikan bahwa bangunan dengan tambahan *bracing* X mengalami peningkatan stabilitas sebesar 98,57%, sementara bangunan dengan tambahan *bracing* V mengalami peningkatan sebesar 97,98%. Penggunaan sistem *bracing* pada bangunan mampu meningkatkan kekakuan struktural dan menjadikan bangunan makin stabil.

6.2 Saran

Dari penelitian ini diharapkan bisa bermanfaat dalam rekayasa struktur dengan penerapan perkuatan bresing. Berikut beberapa saran yang diperoleh dari analisis penelitian ini.

1. Menggunakan aplikasi lain yang dapat mendukung penelitian, contohnya Tekla Structure.
2. Menambahkan variabel tambahan dalam mengatasi gaya lateral, seperti penambahan dinding geser (*shsear wall*) dan *ouftrigger*.
3. Mempertimbangkan struktur dengan denah ketidakberaturan horizontal atau vertiCal pada perencanaan gedung yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, C.P. 2019. *Analisis Respons Struktur Bangunan Setback dengan Dua Penempatan Bresing Konsentrik Tipe V dan Inverted V (X 2-Lantai)*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1729:2020. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727:2013. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726:2012. Jakarta.
- Elvarando, A. 2018. *Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Hermon Dedi. 2015. *Geografi Bencana Alam*. In: Geografi Bencana Alam. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Jurusan Teknik Sipil. 2017. *Pedoman Tugas Akhir*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Setiawan, A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Erlangga Jakarta
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitiann Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. CV Alfabeta. Bandung
- Vismanath K.G, Prakash K.B., dan Anant Desai.2010. *Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames*. *International Journal of Civil and Structural Engineering* Vol.1, No 1, 2010.

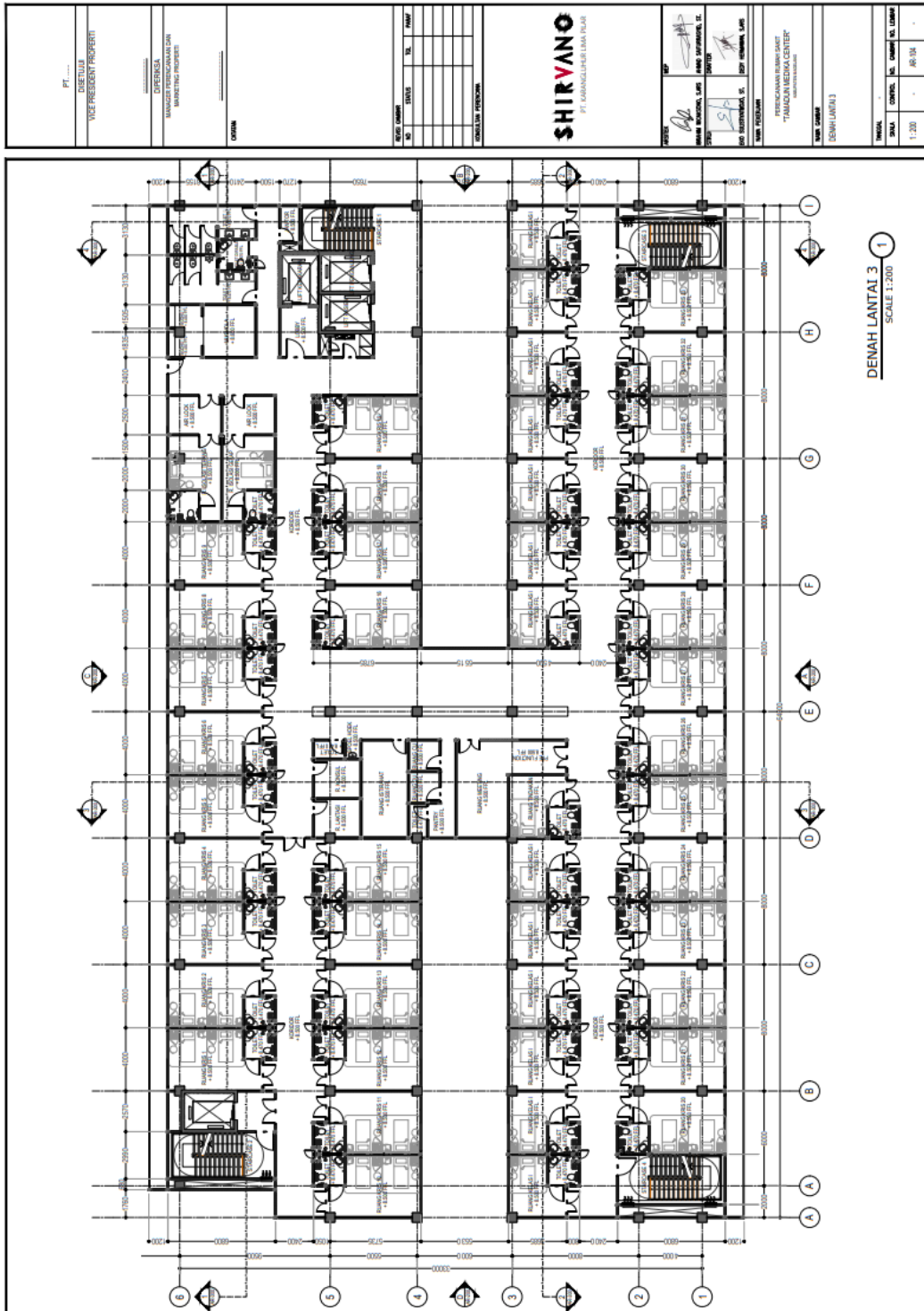
Widodo. 2001. *Respon Dinamik Struktur Elastik*. Jurusan Teknik Sipil FTSP. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

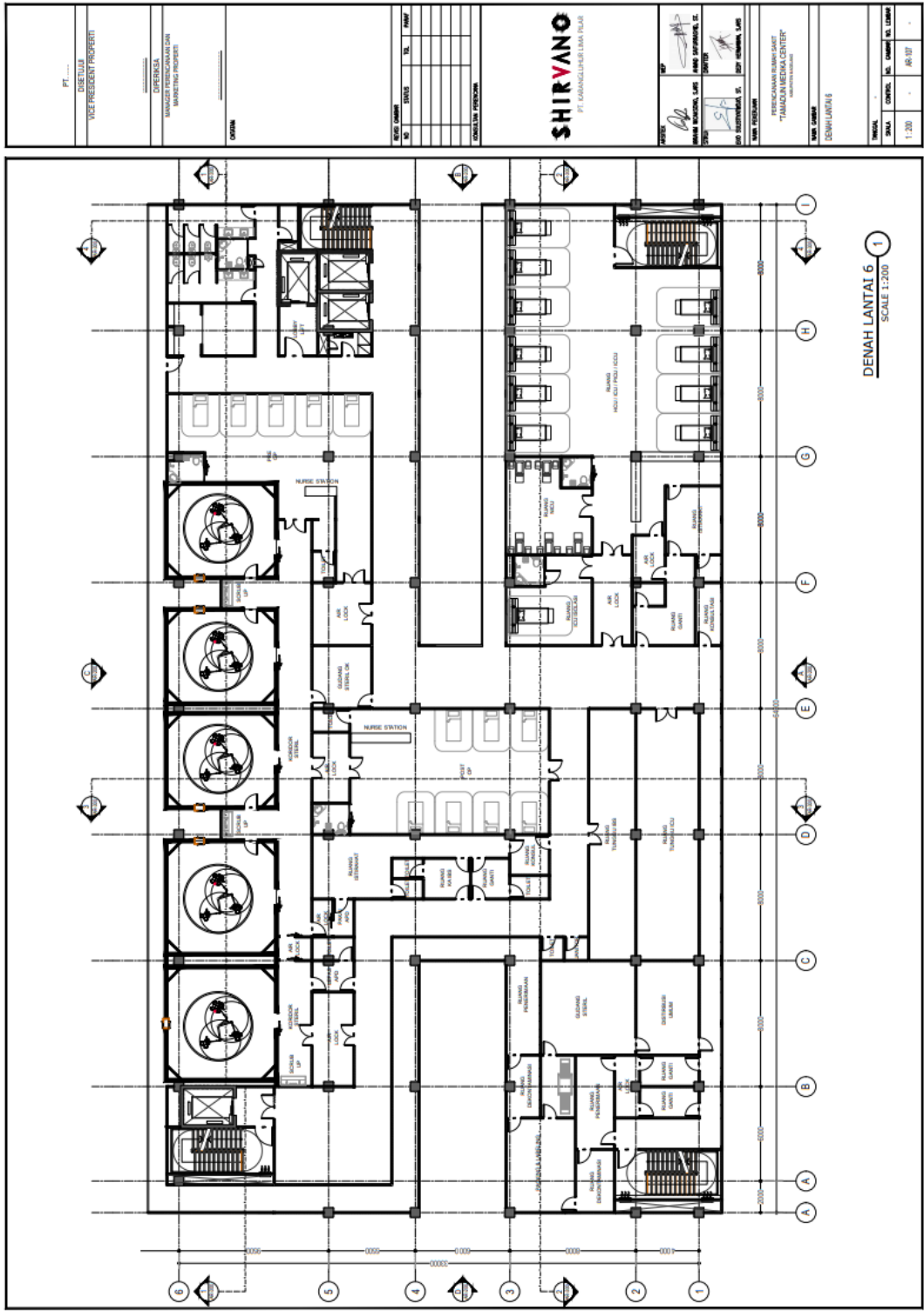
LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

Bulan ke- Minggu ke- Kegiatan	Jam Kerja	Bobot	1					2					3					4					5				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
			Tahap Persiapan																								
studi literatur	15	7.77%	1.94%	1.94%	1.94%	1.94%																					
pengumpulan data	10	5.18%			2.59%	2.59%																					
Tahap pelaksanaan																											
penodelan SAP2000	10	5.18%				2.59%																					
pembebanan	15	7.77%				1.94%	1.94%																				
melakukan Trial and Error	46	23.83%				5.96%	5.96%	5.96%	5.96%																		
kontrol Kinerja struktur	25	12.95%				2.59%	2.59%	2.59%	2.59%																		
melakukan analisis struktur	20	10.36%																									
membandingkan respon struktur bangunan	15	7.77%																									
pembahasan dan kesimpulan	12	6.22%																									
Tahap Penyusunan laporan																											
penyusunan laporan	25	12.95%																									
Jumlah	193		1.94%	3.89%	1.94%	5.83%	10.36%	15.54%	20.08%	22.02%	29.92%	37.82%	46.37%	54.92%	59.59%	64.25%	68.91%	73.58%	81.35%	90.28%	93.52%	96.76%	100.00%				

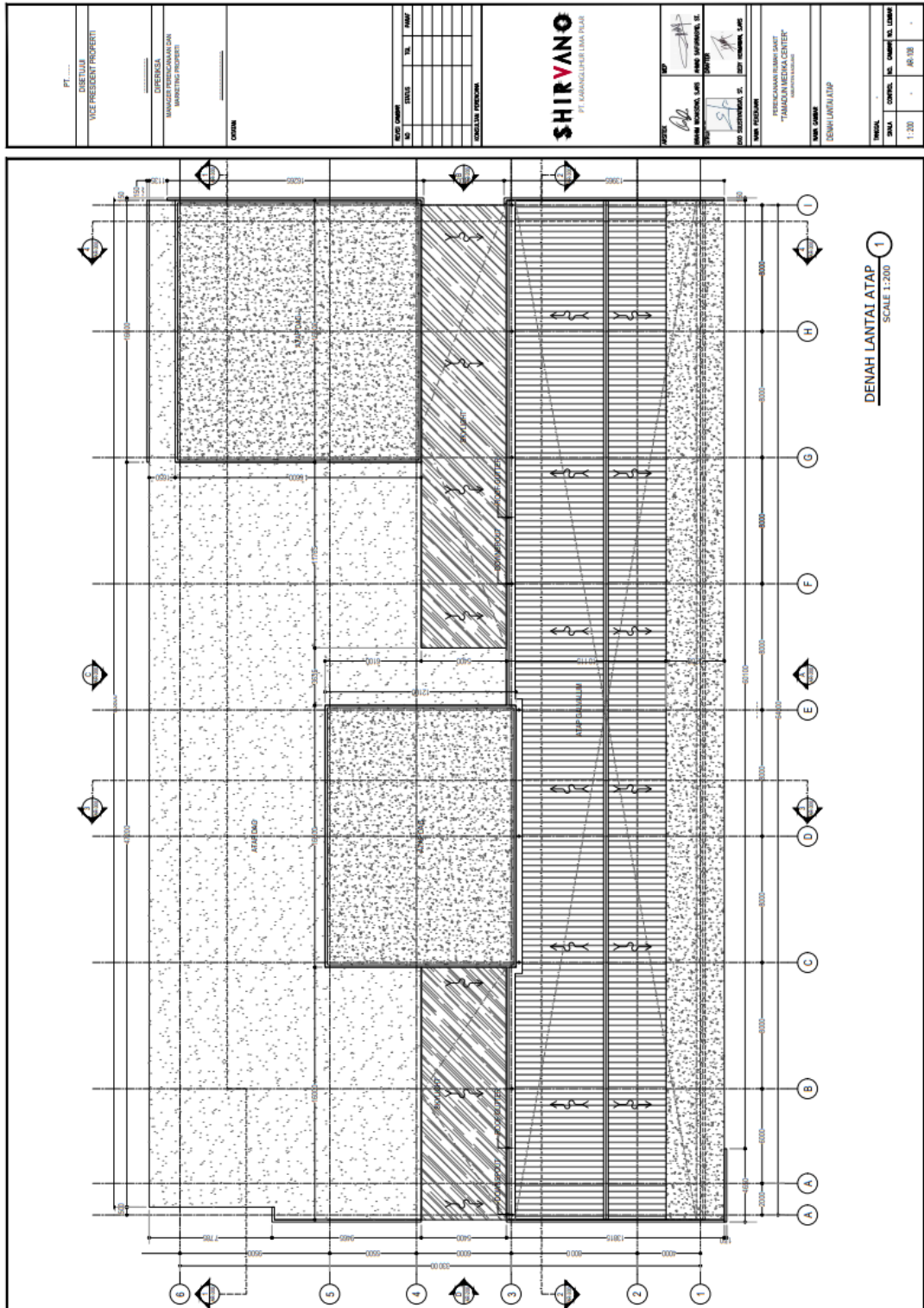
Lampiran 2 Gambar Teknis Rumah Sakit Tamadun Medical Center





DENAH LANTAI 6
SCALE 1:200

<p>PT. DIREKTUR INDEPENDENT PROPERTY</p> <p>OPERENSA MANAJER PERENCANAAN DAN MARKETING PROPERTY</p> <p>CONTRAK</p>	<p>NO. STASUS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>NO.</td><td>STATUS</td><td>VL.</td><td>AMK</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> <p>SKALA 1:200</p>	NO.	STATUS	VL.	AMK																	<p>SHIRVANO PT. KAWANGLIHA LAMA PIJAR</p>	<p>PROJEKSI RUMAH KUNYUN, LAMPUNG SARANGGATI, BANGUNAN DITARIK</p> <p>DESAIN RUMAH KUNYUN, LAMPUNG SARANGGATI, BANGUNAN DITARIK</p> <p>REVISI RUMAH KUNYUN, LAMPUNG SARANGGATI, BANGUNAN DITARIK</p>	<p>PERENCANAAN LANTAI DAN TATA RUANG DITARIK</p> <p>REVISI RUMAH KUNYUN, LAMPUNG SARANGGATI, BANGUNAN DITARIK</p>
NO.	STATUS	VL.	AMK																					



DENAH LANTAI ATAP
SCALE 1:200

PT. SHIRVANO VICE PRESIDENT PROJECT	DIREKTORA MANAJEMEN PERENCANAAN DAN MANAJEMEN PROYEKSI	DIREKTORA MANAJEMEN PERENCANAAN DAN MANAJEMEN PROYEKSI	DIREKTORA MANAJEMEN PERENCANAAN DAN MANAJEMEN PROYEKSI	DIREKTORA MANAJEMEN PERENCANAAN DAN MANAJEMEN PROYEKSI	DIREKTORA MANAJEMEN PERENCANAAN DAN MANAJEMEN PROYEKSI												
SHIRVANO PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR																	
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;"> PERENCANAAN HANAN ALWANDI, S.P. ARSITEK PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR JALAN SUDIRMAN NO. 101 BOJONEgara, DE. JEP. KEDIRI, 54132 NIM 1405007001 </td> <td style="width: 33%;"> DESAIN HANAN ALWANDI, S.P. ARSITEK PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR JALAN SUDIRMAN NO. 101 BOJONEgara, DE. JEP. KEDIRI, 54132 NIM 1405007001 </td> <td style="width: 33%;"> PERENCANAAN RUMAH SAKIT "TAMBAH MEDIA CENTER" (KAWANGLUR LAMA PIJAR) NIM 1405007001 </td> </tr> </table>						PERENCANAAN HANAN ALWANDI, S.P. ARSITEK PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR JALAN SUDIRMAN NO. 101 BOJONEgara, DE. JEP. KEDIRI, 54132 NIM 1405007001	DESAIN HANAN ALWANDI, S.P. ARSITEK PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR JALAN SUDIRMAN NO. 101 BOJONEgara, DE. JEP. KEDIRI, 54132 NIM 1405007001	PERENCANAAN RUMAH SAKIT "TAMBAH MEDIA CENTER" (KAWANGLUR LAMA PIJAR) NIM 1405007001									
PERENCANAAN HANAN ALWANDI, S.P. ARSITEK PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR JALAN SUDIRMAN NO. 101 BOJONEgara, DE. JEP. KEDIRI, 54132 NIM 1405007001	DESAIN HANAN ALWANDI, S.P. ARSITEK PT. KAWANGLUR LAMA PIJAR JALAN SUDIRMAN NO. 101 BOJONEgara, DE. JEP. KEDIRI, 54132 NIM 1405007001	PERENCANAAN RUMAH SAKIT "TAMBAH MEDIA CENTER" (KAWANGLUR LAMA PIJAR) NIM 1405007001															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">NOVA</td> <td style="width: 25%;">CORTEL</td> <td style="width: 25%;">NOVA</td> <td style="width: 25%;">CORTEL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1:200</td> <td style="text-align: center;">1:200</td> <td style="text-align: center;">1:200</td> <td style="text-align: center;">1:200</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table>						NOVA	CORTEL	NOVA	CORTEL	1:200	1:200	1:200	1:200	1	1	1	1
NOVA	CORTEL	NOVA	CORTEL														
1:200	1:200	1:200	1:200														
1	1	1	1														