

**PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR RANGKA BRESING  
TERHADAP VARIASI MODUL STRUKTUR MENGGUNAKAN  
KONFIGURASI TIPE – X**

**TUGAS AKHIR  
SKRIPSI PENELITIAN  
2021/2022**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana Teknik  
Strata Satu (S1) pada Program Studi Arsitektur



Oleh:

**ASTRINA MASDA  
D051171009**

**DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**HALAMAN JUDUL**  
**PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR RANGKA BRESING**  
**TERHADAP VARIASI MODUL STRUKTUR MENGGUNAKAN**  
**KONFIGURASI TIPE – X**

**TUGAS AKHIR**  
**SKRIPSI PENELITIAN**  
**2021/2022**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana Teknik  
Strata Satu (S1) pada Program Studi Arsitektur



Oleh:

**ASTRINA MASDA**  
**D051171009**

**DEPARTEMEN ARSITEKTUR**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**“Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Terhadap Variasi Modul Struktur Menggunakan Konfigurasi Tipe-X”**

Disusun dan diajukan oleh

Astrina Masda  
D051171009

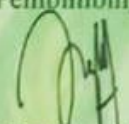
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Juni 2022

Menyetujui

Pembimbing I


  
Dr. Eng. Ir. Masruddin, ST., MT.  
NIP. 19710316 199702 1 001


Pembimbing II

  
Dr. Imriyanti, ST., MT  
NIP. 19730208 200604 2 001

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur

  
Dr. H. Edward Syarif, MT.  
NIP. 19690612 199802 1 001



## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Astrina Masda  
NIM : D051171009  
Program Studi : S1 Teknik Arsitektur

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Terhadap Variasi Modul Struktur Menggunakan Konfigurasi Tipe – X* adalah karya ilmiah yang bebas dari plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Makassar, 21 Juni 2022

Yang menyatakan,



**Astrina Masda**

NIM. D051171009

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas karunia-Nya sehingga penulis telah menyelesaikan skripsi dengan judul “**Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Terhadap Variasi Modul Struktur Menggunakan Konfigurasi Tipe – X**”. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) program studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, **Mansuruddin, S.Pd** dan **Dahliah, S.Ag** yang telah memberikan dukungan materil dan spiritual yang tak henti-hentinya sehingga menjadi motivasi bagi penulis.
2. Bapak **Dr. Eng. Ir. Nasruddin, ST., MT** dan Ibu **Dr. Imriyanti, ST., MT** selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak **Dr. Ir. Hartawan, MT** dan Ibu **Pratiwi Mushar, ST., MT** selaku dosen penguji yang selain menjadi penguji juga senantiasa memberikan masukan serta kritik yang membangun bagi perkembangan penulisan skripsi ini dan untuk pribadi penulis.
4. Bapak **Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST., MT** selaku ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh **Dosen, Staf dan Karyawan Departemen Arsitektur** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuan dan arahan yang penulis terima selama pengurusan berkas skripsi ini, serta ilmu yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
6. **Santika Miftahul Annisa, Intan Nurhaliza, Astrid Nuraini Lentang** serta seluruh teman-teman angkatan **Arsitektur 2017** yang turut membantu dan menemani selama masa perkuliahan.

7. **Wa Ode Denti Damayanti, Siti Sarah, Andi Nur Israfiah**, serta teman-teman di **Laboratorium Bahan, Struktur, dan Konstruksi Bangunan** yang senantiasa memberi dukungan selama proses tugas akhir (skripsi).
8. Kak **Nurul Annisa, S.Ars** dan Kak **A. Nur Anisah Rahayu Agich, S.Ars** senior Arsitektur angkatan 2016 yang telah memberi saran selama pengerjaan skripsi dan membantu penulis dalam menjalankan aplikasi ETABS
9. Kak **Angga Pradhana**, Kak **Asih Andrestari**, Kak **Alif Muhammad Reza**, serta kakak-kakak online lainnya yang telah banyak membantu penulis dan bersabar menanggapi ketidaktahuan penulis baik dalam hal penggunaan aplikasi ETABS maupun terkait ilmu dibidang struktur sehingga memudahkan penulis menyelesaikan tugas akhir (skripsi) ini.
10. Channel youtube **Asih Andrestari** dan **8 Minutes Learn** yang telah sangat berjasa dengan konten yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dan masih terdapat kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dari penulis. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata semoga atas kesediaan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini, selalu mendapatkan rahmat dan karunia dari Allah SWT. Penulis berharap agar hasil dari tulisan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 21 Juni 2022

**Astrina Masda**

# **COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF THE BRACING FRAME STRUCTURE TO THE VARIATION OF THE STRUCTURE MODULE USING TYPE - X CONFIGURATION**

Astrina Masda<sup>1)</sup>, Nasruddin<sup>2)</sup>, Imriyanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Students of the Hasanuddin University Architecture Department,

<sup>2),3)</sup>Lectures of the Hasanuddin University Architecture Department

Email: astrinamasda9@gmail.com

## **ABSTRACT**

Currently, many high-rise buildings have been built and have fairly large stretches with careful planning, especially during an earthquake, lateral stiffeners are needed to strengthen the building. Bracing is a technology that can be used to reduce the value of eccentricity and increase the stability of the building. This study aims to produce the superiority of the braced configuration used, as well as to compare the performance of the braced frame structure to the variation of the 16-story building structure module. The building structure uses steel material with the function of the building as an office. The earthquake load analysis was carried out on the structure using dynamic analysis of the response spectrum referring to SNI 03-1726-2019. The analysis was carried out using the ETABS program. The results revealed that in testing the superiority of the brace configuration, the X-3 model was found to be superior to other models. In the building displacement test, the lowest displacement in the X and Y directions occurs in the A8 model with an average displacement in the X direction of 8.20 mm and the Y direction of 8.33 mm. In testing the performance of the service limit and the performance of the ultimate limit, the three research models on the structural module variation show good performance against earthquakes in the X direction and Y direction earthquakes. The performance level of all research models belongs to the Immediate Occupancy (IO) category, that is, when exposed to an earthquake, the building structure is safe

Keywords: Brace, Variation of Structural Modules, Spacing, Structural Performance, 16-Story Building.

# **PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR RANGKA BRESING TERHADAP VARIASI MODUL STRUKTUR MENGGUNAKAN KONFIGURASI TIPE - X**

Astrina Masda<sup>1)</sup>, Nasruddin<sup>2)</sup>, Imriyanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin, <sup>2),3)</sup>Dosen  
Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin

Email: astrinamasda9@gmail.com

## **ABSTRAK**

Saat ini telah banyak dibangun bangunan bertingkat tinggi dan memiliki bentangan cukup besar dengan perencanaan yang matang, terutama pada saat terjadi gempa, maka diperlukan pengaku lateral untuk memperkuat bangunan tersebut. Bresing merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk memperkecil nilai eksentrisitas dan meningkatkan stabilitas gedung. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan keunggulan konfigurasi bresing yang digunakan, serta membandingkan kinerja struktur rangka bresing terhadap variasi modul struktur bangunan 16 lantai. Struktur bangunan menggunakan material baja dengan fungsi bangunan sebagai perkantoran. Analisis beban gempa yang dilakukan pada struktur menggunakan analisis dinamik respon spektrum mengacu pada SNI 03-1726-2019. Analisa dilakukan menggunakan bantuan program ETABS. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa pada pengujian keunggulan konfigurasi bresing didapatkan model X-3 lebih unggul dibandingkan model lainnya. Pada pengujian displacement bangunan didapatkan displacement terendah arah X dan arah Y terjadi pada model A8 dengan nilai rata-rata displacement arah X sebesar 8,20 mm dan arah Y sebesar 8,33 mm. Pada pengujian kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit, ketiga model penelitian pada variasi modul struktur menampilkan kinerja yang baik terhadap gempa arah X dan gempa arah Y. Level kinerja semua model penelitian termasuk kategori Immediate Occupancy (IO) yaitu apabila terkena gempa struktur bangunan aman.

Kata Kunci: Bresing, Variasi Modul Struktur, Bentangan, Kinerja Struktur, Bangunan 16 Lantai



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRACT .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Lingkup Pembahasan.....	4
F. Batasan Masalah.....	5
G. Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Sistem Struktur Bangunan.....	7
1. Perilaku Struktur Bangunan .....	7
B. Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen (SRPM) .....	11
C. Sistem Struktur Rangka Bresing (SRB).....	12
1. Sistem Struktur Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) .....	13
2. Sistem Struktur Rangka Bresing Eksentrik (SRBE).....	16
D. Baja .....	17
1. Sifat Mekanis Baja.....	18
2. Perencanaan Struktur Baja .....	19
E. Pembebanan .....	20

1. Beban Mati .....	20
2. Beban Hidup .....	21
3. Beban Angin.....	22
4. Beban Gempa .....	28
F. Kombinasi Pembebanan .....	38
G. Kinerja Struktur.....	39
1. Kinerja Batas Layan .....	39
2. Kinerja Batas Ultimit .....	39
3. Level Kinerja Berdasarkan <i>Applied Technologi Council -40</i> .....	40
H. Analisis Liniear Gempa .....	42
1. Analisis Statik Ekiwalen .....	42
2. Analisis Dinamik.....	42
I. Program ETABS.....	47
J. Penelitian Terdahulu .....	49
K. Kerangka Pikir .....	52
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>53</b>
A. Jenis dan Metode Penelitian .....	53
B. Variabel Penelitian .....	53
1. Pengujian Tujuan I .....	54
2. Pengujian Tujuan II .....	54
C. Objek dan Unit Penelitian .....	54
1. Objek Penelitian .....	54
2. Unit Penelitian .....	56
D. Spesifikasi Material .....	56
E. Taraf Penjepitan Lateral .....	57
F. Metode Pengujian Tujuan I.....	58
G. Metode Pengujian Tujuan II.....	59
H. Perhitungan Pembebanan pada Bangunan.....	62

I. Kombinasi Pembebanan .....	69
J. Analisis Struktur .....	71
K. Analisis <i>Displacement</i> .....	73
L. Analisis Kinerja Struktur .....	73
M. Alur Penelitian .....	75
N. Langkah Pengujian Pada ETABS.....	76
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	80
A. Hasil Pengujian Tujuan I.....	80
B. Hasil Pengujian Tujuan II.....	90
C. Kinerja Batas Layan .....	108
D. Kinerja Batas Ultimit .....	112
E. Evaluasi Level Kinerja Struktur Menurut ATC-40 .....	116
F. Rangkuman Hasil Pengujian .....	119
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	124
A. Kesimpulan.....	124
B. Saran.....	125
DAFTAR PUSTAKA.....	127
GLOSARIUM .....	131
LAMPIRAN.....	133

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Soft Storey .....	8
Gambar 2.2 Setback pada Bangunan.....	9
Gambar 2.3 Invert Set Back.....	9
Gambar 2.4 Short Coloumn .....	10
Gambar 2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen .....	11
Gambar 2.6 Perilaku Tarik pada Elemen Diagonal .....	13
Gambar 2.7 Jenis jenis SRBK.....	14
Gambar 2.8 Rangka Bresing Eksentrik.....	17
Gambar 2.9 Ss Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tersesuaikan (MCER), untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik dengan nisbah redaman 5 %, Kelas Situs SB.....	32
Gambar 2.10 S <sub>1</sub> Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tersesuaikan (MCER), untuk Percepatan Respons Spektral 1,0 detik dengan nisbah redaman 5 %, Kelas Situs SB.....	32
Gambar 2.11 Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 .....	40
Gambar 2.12 Spektrum Respons Desain .....	44
Gambar 2.13 Penentuan Simpangan Antar Lantai .....	46
Gambar 2.14 Kerangka Pikir.....	52
Gambar 3.1 Model Dasar Bangunan .....	55
Gambar 3.2 Tampak Depan Model Pengujian Tujuan I .....	58
Gambar 3.3 Modul Struktur Model A6.....	60
Gambar 3.4 Modul Struktur Model A7.....	60
Gambar 3.5 Modul Struktur Model A8.....	61
Gambar 3.6 Titik dan Arah Pembebanan Beban Angin (Denah Dasar) 67	
Gambar 3.7 Titik dan Arah Pembebanan Angin (3D Perspektif).....	68
Gambar 3.8 Alur Penelitian.....	75
Gambar 3.9 Pengaturan Unit di ETABS.....	76

Gambar 3.10	Membuat Grid pada ETABS.....	76
Gambar 3.11	Pengaturan Material.....	77
Gambar 3.12	Pemilihan Bentuk Struktur Kolom/Balok.....	77
Gambar 3.13	Penginputan Ukuran Struktur.....	78
Gambar 3.14	Define Load Patterns .....	78
Gambar 3.15	Penginputan Kombinasi Pembebanan .....	79
Gambar 3.16	Grafik Respon Spektrum.....	79
Gambar 4.1	Nilai Rata-Rata Displacement Sumbu arah X dan Y Keempat Model Penelitian.....	89
Gambar 4.2	Grafik Nilai Displacement Sumbu arah X dari Ketiga Model Variasi Modul Struktur Tanpa Bresing.....	92
Gambar 4.3	Grafik Nilai Displacement Sumbu arah Y dari Ketiga Model Variasi Modul Struktur Tanpa Bresing.....	93
Gambar 4.4	Massa Struktur dari Ketiga Model Variasi Modul Struktur	96
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Respon Spektrum Sumbu arah X pada Ketiga Model Variasi Modul Struktur .....	99
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Respon Spektrum Sumbu arah Y pada Ketiga Model Variasi Modul Struktur .....	99
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai dari Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu arah X.....	104
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai dari Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu arah Y.....	105
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Displacement dari Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah X .....	106
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Displacement Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah Y .....	108

Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Kinerja Batas Layan Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah X .....	110
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Kinerja Batas Layan Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah Y .....	112
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Kinerja Batas Ultimit Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah X .....	114
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Kinerja Batas Ultimit Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah Y .....	116

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat mekanis baja struktural .....	18
Tabel 2.2 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung.....	21
Tabel 2.3 Beban Hidup pada Struktur.....	22
Tabel 2.4 Kecepatan Angin Rata Rata di Kota Makassar .....	23
Tabel 2.5 Faktor Arah Angin .....	24
Tabel 2.6 Koefisien Eksposur .....	25
Tabel 2.7 Koefisien Tekanan Internal .....	27
Tabel 2.8 Koefisien Tekanan Dinding, Cpf.....	27
Tabel 2.9 Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa .....	28
Tabel 2.10 Faktor Keutamaan Gempa.....	30
Tabel 2.11 Klasifikasi Situs .....	33
Tabel 2.12 Koefisien Situs, Fa .....	34
Tabel 2.13 Koefisien Situs, Fy .....	34
Tabel 2.14 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek .....	36
Tabel 2.15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1.0 detik.....	36
Tabel 2.16 Koefisien Batas Atas Periode (Cu).....	37
Tabel 2.17 Nilai Periode Pendekatan Ct dan x .....	37
Tabel 2.18 Level Kinerja Struktur.....	41
Tabel 2.19 Batasan Rasio Drift .....	42
Tabel 2.20 Penelitian Terdahulu .....	49
Tabel 3.1 Dimensi Struktur Kolom, Balok dan Bresing .....	56
Tabel 3.2 Spesifikasi Plat Lantai .....	57
Tabel 3.3 Tabel Model Pengujian Tujuan I .....	58
Tabel 3.4 Tabel Model Pengujian Tujuan II .....	59
Tabel 3.5 Nilai Koefisien Eksposur .....	64
Tabel 3.6 Beban Angin Perlantai Bangunan .....	65

Tabel 3.7	Beban Angin pada Arah X dan Arah Y Bangunan .....	66
Tabel 3.8	Kombinasi Sistem Perangkai .....	69
Tabel 3.9	Kombinasi Pembebanan .....	69
Tabel 4.1	Perioda Getar Struktur Keempat Model Penelitian Pada Sumbu arah X .....	80
Tabel 4.2	Perioda Getar Struktur Keempat Model Penelitian Pada Sumbu arah Y .....	81
Tabel 4.3	MPMR dari Keempat Model Penelitian .....	81
Tabel 4.4	Massa Total dari Keempat Model Penelitian .....	82
Tabel 4.5	Koefisien Respon Seismik, $C_s$ dari Keempat Model Penelitian Sumbu arah X .....	83
Tabel 4.6	Koefisien Respon Seismik, $C_s$ dari Keempat Model Penelitian Sumbu arah Y .....	83
Tabel 4.7	Gaya Geser Dasar Statik Ekuivalen Keempat Model Penelitian .....	83
Tabel 4.8	Gaya Geser Dasar Respon Spektrum Keempat Model Penelitian .....	84
Tabel 4.9	Koreksi Gaya Geser Dasar Respon Spektrum Keempat Model Penelitian .....	84
Tabel 4.10	Simpangan Antar Lantai Sumbu arah X Keempat Model Penelitian .....	86
Tabel 4.11	Hasil Analisis Displacement Keempat Model Penelitian .....	87
Tabel 4.12	Nilai Displacement Ketiga Model Variasi Modul Struktur Tanpa Bresing .....	90
Tabel 4.13	Nilai Rata-Rata Displacement Ketiga Model Variasi Modul Struktur .....	93
Tabel 4.14	Perioda Getar Struktur Ketiga Model Variasi Modul Struktur Sumbu arah X .....	94
Tabel 4.15	Perioda Getar Struktur Ketiga Model Variasi Modul Struktur Sumbu arah Y .....	94



Tabel 4.16	Modal Participation Mass Ratio Ketiga Model Variasi Modul Struktur .....	95
Tabel 4.17	Massa Total Ketiga Model Variasi Modul Struktur .....	95
Tabel 4.18	Koefisien Respon Seismik pada Ketiga Model Variasi Modul Struktur Sumbu Arah X .....	96
Tabel 4.19	Koefisien Respon Seismik pada Ketiga Model Variasi Modul Struktur Sumbu Arah Y .....	97
Tabel 4.20	Gaya Geser Dasar Statik Ekuivalen Sumbu arah X dan Sumbu arah Y pada Ketiga Model Variasi Modul Struktur ....	97
Tabel 4.21	Gaya Geser Dasar Respon Spektrum Sumbu arah X dan Y pada Ketiga Model Variasi Modul Struktur .....	98
Tabel 4.22	Koreksi Gaya Geser Dasar Respon Spektrum.....	98
Tabel 4.23	Simpangan Antar Lantai Model A6.....	101
Tabel 4.24	Simpangan Antar Lantai A7 .....	102
Tabel 4.25	Simpangan Antar Lantai A8 .....	103
Tabel 4.26	Hasil Analisis Displacement Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah X.....	105
Tabel 4.27	Hasil Analisis Displacement Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah Y.....	107
Tabel 4.28	Hasil Analisis Kinerja Batas Layan Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah X.....	109
Tabel 4.29	Hasil Analisis Kinerja Batas Layan Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah Y .....	111
Tabel 4.30	Hasil Analisis Kinerja Batas Ultimit Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu Arah X.....	113
Tabel 4.31	Hasil Analisis Kinerja Batas Ultimit Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu arah Y .....	114
Tabel 4.32	Evaluasi Level Kinerja Struktur Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu arah X .....	117
Tabel 4.33	Evaluasi Level Kinerja Struktur Ketiga Model Variasi Modul Struktur Pada Sumbu arah Y .....	117

Tabel 4.34 Hasil Pengujian Tujuan I .....	119
Tabel 4.35 Hasil Pengujian Tujuan II .....	121
Tabel 5.1 Efektifitas Setiap Model Terhadap Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit.....	125

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbanyak ke empat di dunia. Jumlah penduduk 2018 secara data Ditjen Dukcapil pada Triwulan II 2018 mencapai 263,9 juta jiwa. Sedangkan BPS dan Bappenas memproyeksi dari 2015-2045 data penduduk Indonesia mencapai 264,2 juta jiwa (Kompas, 2020). Peningkatan jumlah penduduk merupakan salah satu permasalahan global yang muncul di dunia dan memiliki dampak yang besar bagi kota itu sendiri, salah satunya adalah jumlah kebutuhan rumah tinggal semakin banyak namun lahan yang tersedia semakin terbatas, sehingga dilakukan pembangunan secara vertikal atau bangunan bertingkat tinggi (Salim, 2020).

Bangunan bertingkat tinggi terdiri dari komposisi kolom dan balok. Kolom merupakan batang tekan vertikal dari suatu struktur yang memikul beban dari balok dalam hal ini kolom memegang peranan penting yaitu sebagai suatu elemen struktur tekan dari suatu konstruksi, sedangkan balok merupakan batang horizontal yang memikul beban dari pelat yang berada di atasnya dan sebagai media pembagi beban pada kolom (Yasar, 2020).

Sejalan dengan perkembangan teknologi konstruksi saat ini, banyak struktur bangunan konstruksi yang telah mengalami perubahan. Sekarang telah banyak dibuat bangunan-bangunan bertingkat tinggi dan memiliki bentang-bentang besar dengan perencanaan struktur yang sulit dan arsitektur yang indah guna meningkatkan nilai estetika dari bangunan tersebut (Hasan dan Imron, 2013 dalam Kurniawan 2017). Salah satu diantara keinginan arsitek dalam meningkatkan nilai estetika dari sebuah bangunan ialah menciptakan ruangan yang luas namun tanpa ada kolom-kolom yang mengganggu pada ruangan tersebut. Hal ini menyebabkan jarak-jarak kolom yang direncanakan

akan semakin berjauhan sehingga perlu digunakan balok dengan bentang besar sebagai solusinya (Kurniawan, 2017).

Penggunaan balok dengan bentang besar memerlukan perencanaan yang matang, terutama pada saat terjadi gempa. Fenomena gempa bumi merupakan salah satu penyebab kerusakan pada struktur bangunan, beberapa kejadian gempa yang lalu menimbulkan banyak kerusakan pada bangunan gedung hingga memakan korban jiwa. Untuk mengurangi dampak kerusakan pada bangunan akibat beban gempa, maka diperlukan pengaku lateral untuk memperkuat bangunan tersebut (Affandi, 2018).

Pengaku gaya lateral yang lazim digunakan salah satunya adalah rangka pengaku (bresing) atau yang biasa disebut dengan Sistem Rangka Bresing (SRB). Bresing merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk memperkecil nilai eksentrisitas dan meningkatkan stabilitas gedung. Jenis SRB umum yang digunakan yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK), dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE).

Tren terbaru dalam perencanaan konstruksi dan penilaian seismik saat ini adalah perencanaan berbasis kinerja yang dikenal dengan *Performance Based Seismic Design* (PBSD). PBSD merupakan salah satu konsep mendesain bangunan dimana target kinerja bangunan ditentukan terlebih dahulu, dan pada akhir proses desain, target tersebut dijadikan parameter minimum yang harus dipenuhi. Pada tahap perencanaan struktur berbasis kinerja, keselamatan dan keamanan bangunan tidak hanya bergantung pada tingkat kekuatan dan kekakuan struktur tapi juga pada tingkat daktilitas serta tingkat energi terukur pada level kinerja struktur. Penentuan kinerja struktur sangat penting karena sasaran dari kinerja stuktur yang direncanakan dapat dinyatakan secara jelas, sehingga penyewa, pemilik, pemerintah atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan

level kinerja yang dipilih sehingga nantinya akan digunakan oleh perencana sebagai pedoman dalam perencanaannya (Heri, 2019).

Penelitian yang membandingkan kinerja antara Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) salah satunya dilakukan oleh Semadi (2016) perbandingan perilaku struktur baja dengan bresing konsentrik tipe-X dan bresing eksentrik V-terbalik. Hasil analisisnya dapat disimpulkan bahwa dengan dimensi elemen struktur yang sama, model SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) memiliki simpangan dan daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan model SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik). Tapi kekuatan dan kekakuan model SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) lebih besar dibandingkan model SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik). Hasil analisis menunjukkan bahwa model SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) dan SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik) berada pada level kinerja yang sama yaitu *Life Safety* (LS).

Penelitian SRBE juga yang dilakukan oleh Pradhana, dkk (2015), dengan menguji SRBE tipe *Inverted-V* dan didapatkan struktur SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik)  $L/H=1,75$  memiliki kekakuan dan gaya geser dasar maksimal yang paling besar dibandingkan dengan struktur lainnya. Hal tersebut menunjukkan peningkatan  $L/H$  pada SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik) tipe V-terbalik, terbukti dapat meningkatkan kekakuan struktur, namun dilihat dari mekanisme terjadinya sendi plastis, SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik)  $L/H=1,75$  tidak menunjukkan mekanisme keruntuhan yang baik, karena terjadi sendi plastis pada kolom lantai dasar bagian atas.

Berdasarkan pernyataan di atas, perlu dilakukan adanya suatu pengembangan analisis mengenai “Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Terhadap Variasi Modul Struktur Menggunakan Konfigurasi Tipe – X” Analisis dilakukan pada bangunan baja 16 lantai dengan analisa tiga dimensi.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas maka didapatkan rumusan masalah yaitu

1. Bagaimana keunggulan konfigurasi bresing yang digunakan pada bangunan 16 lantai?
2. Bagaimana perbandingan kinerja struktur rangka bresing terhadap variasi modul struktur bangunan 16 lantai?

## **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini yaitu

1. Menghasilkan keunggulan konfigurasi bresing yang digunakan pada bangunan 16 lantai.
2. Membandingkan kinerja struktur rangka bresing terhadap variasi modul struktur bangunan 16 lantai.

## **D. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu

1. Bagi khasanah ilmu arsitektur, penelitian ini dapat menambah wawasan tentang struktur bangunan bertingkat tinggi, khususnya terkait sistem rangka bresing pada bangunan.
2. Bagi praktisi arsitektur, dapat menjadi referensi dan menambah wawasan dalam menjalankan suatu proyek.
3. Bagi kebijakan pemerintah, penelitian ini diharapkan agar mengetahui gambaran mengenai bresing yang merupakan jenis struktur yang bisa digunakan untuk mengurangi dampak dari beban gempa.
4. Bagi peneliti selanjutnya, dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya.

## **E. Lingkup Pembahasan**

Adapun lingkup pembahasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Model bangunan merupakan bangunan 16 lantai dengan fungsi sebagai perkantoran.

2. Bangunan menggunakan struktur baja yang dianalisis menggunakan SNI 1729-2002 tentang spesifikasi gedung baja.
3. Analisis beban angin mengacu pada SNI 1727-2013 sedangkan beban gempa mengacu pada SNI 03-1726-2019.
4. Analisis yang dilakukan adalah analisis respon spektrum.

#### **F. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari permasalahan yang ada sehingga pembahasan dapat tertuju dan mengarah, maka dibutuhkan batasan masalah. Adapun batasan batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Konfigurasi bresing yang digunakan adalah konfigurasi tipe X dengan tiga model yaitu X-1 (konfigurasi tipe X satu lantai), X-2 (konfigurasi tipe X dua lantai) dan X-3 (konfigurasi tipe X dua lantai yang menggunakan *link*).
2. Kinerja struktur ditinjau dari nilai *displacement*, kinerja batas layan, dan kinerja batas ultimit.
3. Penentuan level kinerja struktur mengacu pada ATC- 40
4. Posisi bresing pada penelitian ini diletakkan di tepi bangunan agar dapat mengekang bangunan dari beban horizontal.
5. Tidak menghitung struktur bawah (pondasi).
6. Tidak terlalu mendetail dalam perencanaan sambungan.
7. Variasi modul struktur dibuat dalam 3 model (Model A6, Model A7 dan Model A8)
8. Penelitian struktur dengan menggunakan software ETABS trial V.17 (*Extended Three Dimension Analysis of Building System*)

#### **G. Sistematika Penulisan**

BAB I PENDAHULUAN : Pada bab ini berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, lingkup

	pembahasan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	: Bab ini berisi teori-teori yang menjadi acuan dari penulisan penelitian ini.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	: Bab ini menjelaskan tentang jenis dan metode penelitian, objek yang akan diteliti, unit penelitian, alur penelitian, dan variabel penelitian dan metode pengujian
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	: Dalam bab ini, berisikan hasil pengujian berdasarkan tujuan I dan II.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	: Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari penelitian ini, serta saran untuk perbaikan selanjutnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Sistem Struktur Bangunan**

Sistem struktur dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem vertikal dan sistem horizontal. Sistem vertikal mencakup sistem struktur lateral yang dapat meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan komponen vertikal. Sedangkan sistem horizontal mencakup pengaku-pengaku horizontal atau *horizontal bracing* berupa lantai dan sistem *deck framing* yang biasa disebut dengan diafragma horisontal (Majore, 2015 dalam Nadia, 2018).

Untuk meningkatkan kekakuan lateral, sistem struktur horizontal (penahan beban lateral) yang biasa digunakan antara lain: portal penahan momen (Struktur Rangka Penahan Momen), rangka pengaku (*Braced Frames*), dan dinding geser (*shear wall*). Portal penahan momen terdiri dari komponen (subsistem) horizontal berupa balok dan komponen vertikal yang berupa kolom yang dihubungkan secara kaku (*rigid joints*). Kekuatan portal tergantung pada dimensi balok dan kolom, serta proporsional terhadap jarak lantai ke lantai dan jarak kolom ke kolom. Rangka pengaku (*braced frame*) terdiri dari balok dan kolom yang ditambahkan pengaku diagonal. Adanya pengaku diagonal ini akan berpengaruh pada fleksibilitas perpanjangan/perpendekan lantai (simpangan) tempat pengaku berada. Rangka pengaku banyak digunakan pada gedung bertingkat yang menggunakan struktur baja.

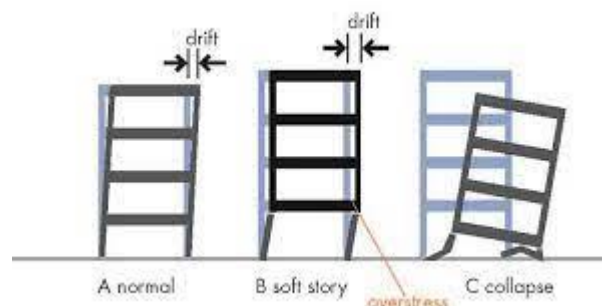
#### **1. Perilaku Struktur Bangunan**

Konfigurasi bangunan mempengaruhi respon atau perilaku struktur bangunan pada saat digetarkan oleh gempa bumi, akibat bekerjanya gaya-gaya lateral pada bangunan. Penempatan elemen-elemen struktur dan bentuk massa bangunan yang tidak sederhana atau rumit tertentu akan mempengaruhi perilaku bangunan pada saat terkena gaya-gaya yang bekerja padanya.

Hubungan yang erat penyebab struktur berdeformasi akibat pengaruh gaya atau perubahan gaya yang diakibatkan beban-beban, juga dipengaruhi karakteristik struktur itu sendiri, kaku atau fleksibel, serta pengaruh bahan dan metode konstruksi. Seperti elemen kaku, tidak mengalami perubahan bentuk yang besar dibawah pengaruh gaya atau perubahan gaya yang diakibatkan oleh beban-beban.

Mekanisme torsi terjadi karena eksentrisitas pada denah bangunan, di mana titik pusat massa bangunan tidak berimpit dengan titik pusat kekakuan lateral. Semakin besar eksentrisitasnya, torsinya semakin besar. Mekanisme kegagalan struktur yang diakibatkan bentukan massa bangunan, bentukan bangunan seperti :

a. *Soft storey* ( $P - \Delta$  effect)

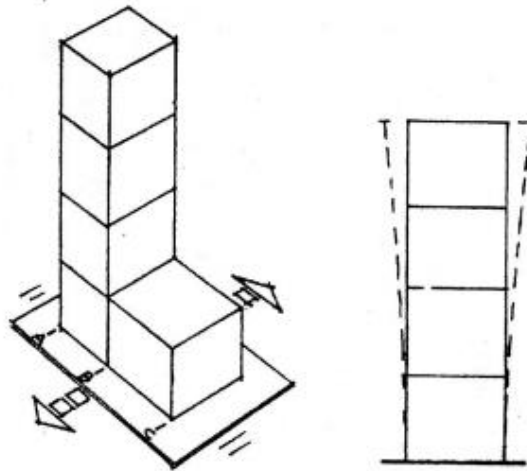


**Gambar 2.1** *Soft Storey*

Sumber: Jun Yin (2018)

Salah satu definisi bangunan gedung tidak beraturan adalah adanya suatu tingkat yang lemah, yang kekakuannya jauh lebih kecil dari pada tingkat-tingkat yang lain (*soft storey*). Yang dimaksud dengan struktur lemah (tingkat lunak) adalah suatu tingkat yang mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya.

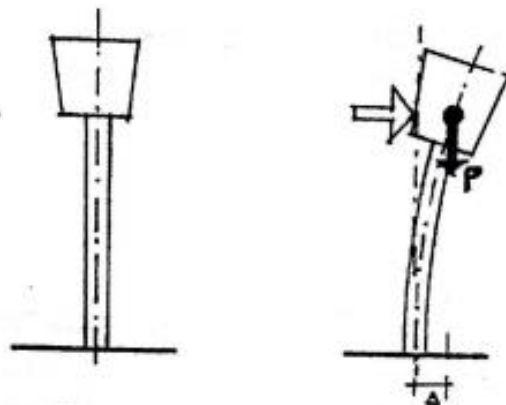
b. *Set back*



**Gambar 2.2** *Setback* pada Bangunan  
Sumber: Maer (2013)

Bangunan *setback* adalah bangunan apabila bagian atas bangunan yang bersangkutan menjorok ke dalam. Bangunan setback baik dalam satu arah maupun dua arah merupakan termasuk dalam bangunan ireguler, karena pusat massa tidak berimpit secara vertikal.

c. *Invert set back*

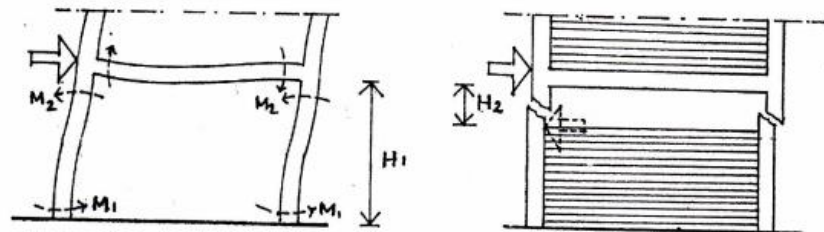


**Gambar 2.3** *Invert Set Back*  
Sumber: Maer (2013)

Bentuk massa kebalikan dari *set back*, yaitu penonjolan ada dibagian atas bangunan (misalnya water tower). Bagian

atas sangat berat, titik berat massa jauh dari pondasi, gaya inersia akibat gempa akan menghasilkan momen lentur yang besar pada pendukung vertikal, oleh karena itu bisa terjadi simpangan lateral ( $A$ ) yang besar sehingga massa ( $P$ ) mengalami eksentrisitas sebesar  $A$  terhadap sumbu elemen pendukung vertikal, semua ini akan mengakibatkan terjadi momen eksentris yang besar ( $P \times A$ ). Kalau bangunannya water tower, maka guncangan air didalam tandonnya akan menambah perilaku dinamis struktur.

d. *Short coloumn*



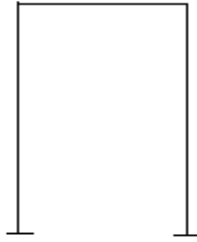
**Gambar 2.4** *Short Coloumn*

Sumber: Maer (2013)

Mekanisme *short column* adalah mekanisme keruntuhan kolom akibat pemusatan gaya geser pada kolom yang signifikan tanpa terencana sebelumnya. *Short column* bisa dikatakan sebagai "kolom yang diperpendek", artinya kolom yang awalnya dirancang dengan panjang tertentu, "menjadi pendek" karena pemasangan elemen non struktural yang punya kekakuan cukup signifikan seperti: dinding, tangga dll. yang menempel/ diikat pada kolom tersebut sehingga sisa kolom yang "bebas" menjadi pendek. Korelasi antara gaya geser dan momen kolom akibat gaya lateral menjadi berubah dengan adanya perubahan panjang kolom. Dengan momen yang sama, gaya geser pada kolom yang diperpendek menjadi lebih besar dibanding gaya geser pada panjang kolom yang asli.

## B. Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem rangka lentur adalah sistem struktur yang terdiri dari rangka kolom-balok, yang digunakan untuk menahan beban gempa, dan dinding pengisi tidak diperhitungkan memikul beban gempa.



**Gambar 2.5** Sistem Rangka Pemikul Momen  
Sumber: Affandi (2018).

Rangka pemikul momen memiliki kapasitas penyerapan energi yang baik, namun memerlukan simpangan yang cukup besar antar lantai untuk membentuk sendi plastis pada balok untuk menyerap energi gempa. Simpangan yang begitu besar akan menyebabkan struktur tidak kaku sehingga mengakibatkan kerusakan non-struktural yang besar. Karena bentang balok yang lebar (tanpa pengaku) SRPM dapat memberikan deformasi yang cukup besar sehingga sistem ini memiliki daktilitas yang cukup besar dibandingkan dengan jenis portal baja seismik lainnya. Meskipun deformasinya besar, SRPM memiliki kekakuan yang lebih rendah.

Berdasarkan daktilitasnya, SRPM terbagi menjadi dua kategori yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

### 1. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB)

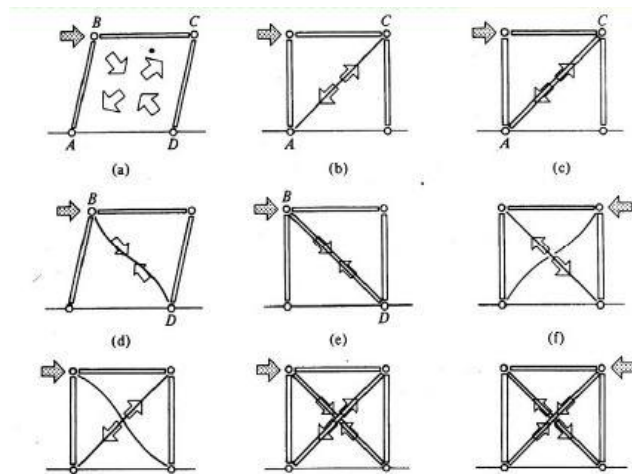
SRPMB dipengaruhi oleh gaya gempa desain akibat elemen struktur dan deformasi inelastis terbatas pada sambungan ini. SRPMB memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan SRBPMK sehingga memiliki daktilitas yang lebih kecil.

## 2. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

SRPMK adalah suatu rangka pemikul momen yang dipasang horizontal. SRPMK memiliki segmen khusus yang terdiri dari beberapa panel dengan batang yang didesain khusus. SRPMK dirancang untuk menahan deformasi inelastis yang cukup besar pada segmen khusus Ketika mengalami gaya akibat beban seismik desain. Sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu di zona 5 hingga zona 6.

### C. Sistem Struktur Rangka Bresing (SRB)

Bresing adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk memperkecil nilai eksentrisitas dan meningkatkan stabilitas gedung. Struktur rangka bresing merupakan sistem struktur yang didesain untuk menahan beban lateral berupa gempa. Elemen bresing berperilaku sebagai rangka batang yaitu hanya menerima gaya tarik atau tekan. Bresing dapat meminimalisir besarnya simpangan horisontal (*displacement*) dan meningkatkan kapasitas gaya geser lantai dasar (*base shear*) pada struktur sehingga kemungkinan terjadi retak (*crack*) pada sambungan antara balok dan kolom yang menyebabkan kegagalan struktur dapat dihindari. Penggunaan bresing dimaksudkan agar saat terjadi gempa, gaya lateral yang mengenai struktur tidak hanya ditahan oleh elemen balok dan kolom pada struktur tetapi juga ditahan oleh sistem bresing.



**Gambar 2.6** Perilaku Tarik pada Elemen Diagonal  
Sumber: Zuhri (2011)

Umumnya bresing ditempatkan menyilang (diagonal) dengan konfigurasi bervariasi pada bagian dalam portal struktur. Penggunaan bresing menambah kekakuan suatu portal secara efisien, karena pemasangan secara diagonal menyebabkan batang bresing hanya akan menahan gaya aksial saat melayani gaya geser horisontal (Smith and Coull, 1991). Menurut Nilwan dkk (2018) dalam Susilowati (2020) elemen pengaku portal (bresing) adalah elemen struktur yang diletakkan secara menyilang pada struktur portal yang berfungsi untuk menopang/mengaku portal dalam menahan beban pada struktur.

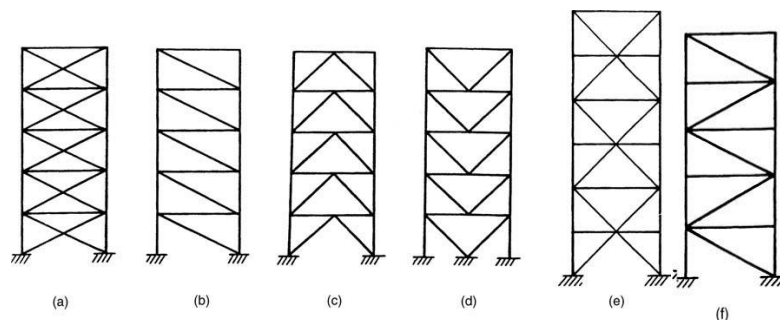
Sistem struktur rangka bresing dikenal ada dua jenis yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE).

### 1. Sistem Struktur Rangka Bresing Konsentrik (SRBK)

Sistem struktur rangka bresing konsentrik telah mendapat banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena kekakuan awal yang besar dan konstruksi yang relatif sederhana (Seker, 2015). SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau lebih dikenal dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) dianggap memiliki keuletan yang lebih

rendah karena kekuatannya yang tinggi dan biasanya digunakan sistem penahan beban lateral oleh para insinyur struktur di seluruh dunia. SRBK cenderung efisien dalam menahan gaya lateral karena dapat memberikan kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Karakteristik ini juga dapat mengakibatkan respons seismik yang kurang disukai, seperti kapasitas *drift* rendah dan akselerasi yang lebih tinggi. SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) adalah sistem struktur yang dapat menahan beban lateral melalui sistem truss konsentris vertikal, sumbu dari anggota menyelaraskan konsentris pada sendi.

Mekanisme keruntuhan SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) direncanakan terjadi pada elemen bresing dan pelat buhul sambungan bresing ke balok dan kolom. Pada saat terjadi gempa besar, diharapkan terjadi tekuk pada batang bresing (akibat beban aksial yang diterimanya) sehingga terjadi putaran sudut pada ujung bresing yang kemudian menyebabkan pelat buhul pada sambungan ujung bresing leleh (terjadi sendi plastis). Struktur rangka bresing konsentrik (SRBK) merupakan sistem struktur yang elemen bresing diagonalnya bertemu disatu titik.



**Gambar 2.7** Jenis jenis SRBK

(a) Penguat X satu lantai; (b) Penguat diagonal tunggal; (c) & (d) penguat *chevron* (V dan Inverted V) ; (e) Penguat X dua lantai (*Two Story*); (f) diagonal tunggal.

Sumber: Taranath (th)



Pada SRBK (Sistem Rangka Bresing Konsentrik) salah satu batangnya akan berperilaku sebagai batang tekan dan batang tarik tergantung dari pengaruh beban lateral akibat gempa. SRBK dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu struktur rangka breising konsentrik biasa (SRBKB) dan struktur rangka breising konsentrik khusus (SRBKK). SRBKK telah menjadi salah satu sistem penahan beban lateral yang paling menarik yang dipelajari oleh para peneliti struktural selama dua dekade terakhir. Sumber utama kapasitas drift di SRBKK adalah melalui tekuk dan hasil dari pengaku diagonal. Aturan proporsional dan detail untuk bresing memastikan keuletan aksial yang memadai, yang diterjemahkan ke dalam kapasitas penyimpangan lateral untuk sistem. Desain khusus dan aturan perincian untuk sambungan, balok, dan kolom sebagai upaya untuk mencegah mode respons yang kurang ulet yang dapat mengakibatkan berkurangnya kapasitas penyimpangan lateral.

Sistem SRBKK umumnya merupakan sistem yang ekonomis digunakan untuk bangunan bertingkat rendah di daerah dengan kegempaan tinggi. SRBKK dirancang menggunakan prosedur desain kapasitas, dengan kawat gigi yang berfungsi sebagai sekering sistem. SRBKK diharapkan memberikan kapasitas deformasi inelastis yang signifikan terutama mengalami tekuk dan menghasilkan bresing dengan kolom dan gelagarnya diharapkan tetap elastis. Oleh karena itu, balok dan kolom dari SRBKK dirancang berdasarkan pendekatan desain kapasitas dengan menggunakan gaya-gaya yang tidak seimbang karena perbedaan antara gaya tegangan yang diharapkan dan gaya tekuk atau pasca-tekuk yang diharapkan dari bresing dalam ketegangan dan kompresi, masing-masing. Ketentuan Seismik AISC saat ini mengantisipasi bahwa bresing di semua lantai mengalami gesper atau hasil secara bersamaan dengan pola pembebanan mode pertama untuk desain gelagar dan kolom. Karena gaya vertikal

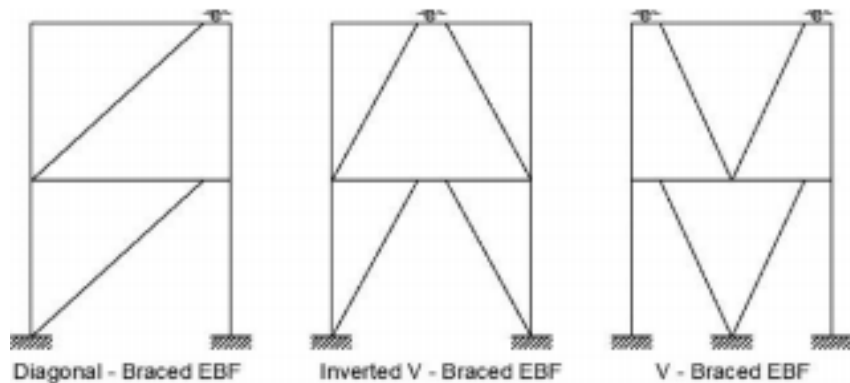
yang tidak seimbang, bresing memberikan beban yang sangat besar pada girder SRB tipe V terbalik.

## 2. **Sistem Struktur Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)**

Sistem struktur rangka bresing eksentrik merupakan sistem struktur yang unik, karena menggabungkan kekakuan dan kekuatan yang dimiliki sistem rangka bresing dengan karakteristik disipasi energi secara inelastik yang dimiliki sistem rangka pemikul momen. Sistem ini disebut eksentrik karena ujung batang dari bresing direncanakan memiliki eksentrisitas yang biasanya terletak pada balok. Segmen eksentrik pada balok disebut dengan link dimana komponen ini berfungsi sebagai fuse (sekring) pada struktur.

Elemen link akan mengalami leleh terlebih dahulu melalui mekanisme lentur dan atau geser sebelum terjadi tekuk pada elemen yang mengalami tekan. Link merupakan elemen yang mampu menyerap energi gempa dan mengalami proses plastifikasi pada bagian elemen yang rusak tersebut sebagai sarana pemancaran energi (Andrianda, 2017)

Pada SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik), semua sumbu elemen (kolom, balok dan bresing) saling berpotongan pada satu titik yang sedemikian rupa sehingga terbentuk gaya aksial. Ada berbagai macam pemasangan bresing diantaranya adalah *Single Diagonal Braced*, *Two Story X-Bresing*, *V- Bresing* dan *Inverted V-Bresing*.



**Gambar 2.8** Rangka Bresing Eksentrik

Sumber: Rochmah (2020).

Pada SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik) diharapkan dapat terjadi deformasi inelastis yang cukup besar pada link saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Kolom-kolom, batang bresing, dan bagian dari balok di luar link harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh link pada saat mengalami pelelehan penuh.

#### D. Baja

Baja merupakan salah satu material struktur yang paling umum digunakan saat ini. Baja merupakan logam paduan, di mana logam besi merupakan unsur dasar dan beberapa elemen logam lainnya sebagai unsur tambahan. Unsur logam yang ada pada material baja terdiri dari:

- a. Besi (Fe)  $\pm$  98 %
- b. Karbon (C) maksimal 1,7 %
- c. Manganese (Mn) maksimal 1,65 %
- d. Silikon (Si) maksimal 0,6 %
- e. Tembaga (Cu) maksimal 0,6 %
- f. Fosfor (P) dan belerang (S)

Baja yang digunakan untuk keperluan struktur dikelompokkan menjadi 4 yaitu (ASTM):

- a. Baja Karbon (*Carbon steel*). Umumnya mempunyai tegangan leleh  $f_y$  berkisar antara 210 – 280 Mpa.

- b. Baja paduan rendah mutu tinggi (*High strength low alloy steel/HSLA*). Mempunyai tegangan leleh  $f_y$  berkisar antara 280 – 490 Mpa.
- c. Baja paduan rendah dengan perlakuan panas karbon (*Heat treated carbon and high-strength low alloy steels*). Mempunyai tegangan leleh 322 – 700 Mpa.
- d. Baja struktural paduan rendah dengan perlakuan panas (*Heat-treated constructional alloy steels*). Mempunyai tegangan leleh 630 – 700 Mpa.

### 1. Sifat Mekanis Baja

Sifat mekanis dari suatu material adalah kemampuan bahan-bahan tersebut untuk memberikan perlawanan ketika diberi beban pada bahan tersebut atau dapat kita katakan adalah sifat mekanik bahan dalam kekuatan untuk menanggung beban yang datang dari luar. Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel berikut:

**Tabel 2.1** Sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum $f_u$ (Mpa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (Mpa)	Peregangan 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

Sumber : SNI-03-1729-2002

Tegangan leleh ( $f_y$ ) dan tegangan putus ( $f_u$ ) untuk perencanaan tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 1. Adapun sifat mekanis baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

- Modulus elastisitas :  $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Modulus geser :  $G = 80.000 \text{ MPa}$
- Nisbah poisson :  $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian :  $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

## 2. Perencanaan Struktur Baja

Untuk mencapai kinerja struktur baja tahan gempa yang baik, terdapat beberapa persyaratan yang harus diperhatikan yaitu:

### a. Spesifikasi bahan

Spesifikasi bahan harus dapat menjamin beberapa hal yaitu:

- 1) Terjadinya deformasi leleh berupa regangan plastis bahan yang cukup besar tanpa mengalami fraktur
- 2) Adanya kuat lebih bahan yang signifikan melampaui kemampuan strain-hardening ( $f_y / f_u < 0,85$ ).
- 3) Tidak terjadi kegagalan pada sambungan las
- 4) Mudah untuk dilas

### b. Stabilitas penampang komponen dan struktur

Stabilitas penampang, komponen, dan struktur harus dipenuhi untuk menjamin daktilitas dan disipasi energi. Dalam hal baja, stabilitas penampang dan komponen mencakup isu kelangsingan, kekompakan penampang, dan tekuk. Penampang yang boleh digunakan dalam struktur baja tahan gempa pun dibatasi oleh peraturan.

### c. Daktilitas struktur

Selain daktilitas material yang telah dijelaskan sebelumnya, daktilitas penampang komponen, dan struktur juga harus dijamin ketercapaiannya. Secara keseluruhan, struktur dikatakan daktail apabila mampu mencapai kekuatan batasnya tanpa terjadi ketidakstabilan struktur seperti *soft-story*.

### d. Detailing

Detailing yang baik diperlukan untuk memastikan struktur memiliki perilaku daktail ketika terkena gempa kuat. Detailing dapat berupa perkuatan pada daerah yang kritis, seperti sambungan yang rentan oleh fraktur, pengaku penampang

untuk mencegah tekuk lokal, dan pengaku lateral untuk mencegah tekuk lateral torsi komponen. Tanpa detailing yang baik, perilaku struktur yang didesain daktail dan mampu menyerap energi gempa tidak dijamin.

e. Batas kelangsingan

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan  $\lambda = L_k/r$  dibatasi sebesar 200. Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan  $L/r$  dibatasi sebesar 300 untuk batang sekunder dan 240 untuk batang primer. Ketentuan di atas tidak berlaku untuk batang bulat dalam tarik. Batang-batang yang ditentukan oleh gaya tarik, namun dapat berubah menjadi tekan yang tidak dominan pada kombinasi pembebanan yang lain, tidak perlu memenuhi batas kelangsingan batang tekan

## E. Pembebanan

Beban merupakan sekelompok gaya yang akan bekerja pada suatu luasan struktur. Beban yang akan dipikul oleh suatu struktur harus direncanakan dengan benar. Kesalahan dalam perencanaan beban atau penerapan beban pada perhitungan akan mengakibatkan kesalahan fatal pada hasil desain bangunan. Beban yang umum direncanakan pada struktur yaitu:

### 1. **Beban Mati (*Dead Load*)**

Beban mati dinyatakan dengan lambing DL. Menurut Setiawan (2008) beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung/bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur-unsur tambahan, finishing, mesin mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung/bangunan tersebut. Termasuk dalam beban ini adalah berat struktur pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai dan plafon. Berikut beberapa contoh berat dari beberapa komponen

bangunan yang penting digunakan untuk menentukan besarnya beban mati suatu gedung/bangunan diperlihatkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.2** Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>
Bahan Bangunan	2200 kg/m <sup>3</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Kayu (kelas I)	1000 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (kering udara)	1600 kg/m <sup>3</sup>
Komponen Gedung	
Spesi dari semen, per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>
Dinding bata merah	250 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap genting	50 kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai ubin semen per cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983

Dalam menentukan beban mati untuk perencanaan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui pihak yang berwenang.

## 2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup dinyatakan dengan lambang LL. Dalam SNI 1727 2013, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup meliputi manusia, barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup bangunan. Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung. Beban hidup berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung yaitu:

**Tabel 2.3** Beban Hidup pada Struktur

Beban Hidup Pada Lantai Bangunan	Besar Beban (kg/m <sup>2</sup> )
Lantai Apartemen	250
Lantai dan tangga rumah tinggal	200
Ruang dansa	500
Lantai sekolah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250
Lantai ruang olahraga	400
Lantai balkon dalam dari ruang pertemuan	400
Tangga dan Bordes	300
Lantai Ruang Rapat	400
Panggung penonton	500
Lantai Gedung parkir bertingkat, untuk lantai bawah	800
Balkon menjorok bebas keluar	300

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983

### 3. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin dinyatakan dengan lambang  $W$ . Beban angin adalah beban pada struktur akibat tekanan gerakan angin. Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau hisapan pada bangunan. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi besarnya tekanan dan isapan pada bangunan pada saat angin bergerak adalah kecepatan angin. Besarnya kecepatan angin berbeda-beda untuk setiap lokasi geografi. Kecepatan angin rencana biasanya didasarkan untuk periode ulang 50 tahun. Karena kecepatan angin akan semakin tinggi dengan ketinggian di atas tanah, maka tinggi kecepatan rencana juga demikian.

Berdasarkan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan dan struktur lain, untuk mengatur beban



angin pada suatu bangunan gedung, maka perlu untuk menentukan kecepatan angin dasar ( $V$ ), faktor arah angin ( $K_d$ ), kategori eksposur, faktor topografi ( $K_{zt}$ ), faktor pengaruh tiupan angin, dan koefisien tekanan internal ( $G C_{pi}$ ).

a. Kecepatan Angin Dasar ( $V$ )

Kecepatan angin dasar merupakan kecepatan tiupan angin dalam tiga detik pada ketinggian 33 ft di atas tanah. Untuk menentukan kecepatan angin dasar harus ditentukan dari instansi yang berwenang sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan struktur. Berikut data rata-rata kecepatan angin di Kota Makassar berdasarkan Data BMKG Wilayah IV, Stasiun Meteorologi Maritim Paotere Makassar, Tahun 2018 :

**Tabel 2.4** Kecepatan Angin Rata Rata di Kota Makassar

Bulan	Kecepatan Angin Rata-Rata (knot)	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)
Januari	4	2,06
Februari	3	1,54
Maret	4	2,06
April	3	1,54
Mei	3	1,54
Juni	3	1,54
Juli	3	1,54
Agustus	4	2,06
September	4	2,06
Oktober	4	2,06
November	3	1,54
Desember	4	2,06

Sumber: Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Makassar, 2019.

b. Faktor Arah Angin ( $K_d$ )

Berikut faktor arah angin berdasarkan SNI 1727-2013 yaitu:

**Tabel 2.5** Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin ( $K_d$ )
Bangunan Gedung:	
Sistem penahan beban angin utama	0,85
Komponen dan klading bangunan gedung	0,85
Atap lengkung	0,85
Cerobong asap, tangki, dan struktur yang sama:	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
Papan reklame terbuka dan kerangka isi	0,85
Rangka batang menara :	
Segitiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Sumber : SNI 03-1727-2013.

c. Kategori Eksposur

Kategori eksposur terbagi menjadi 3 kategori berdasarkan pasal 26.7 pada SNI 1727-2013 yaitu kategori B, C dan D.

- 1) Kategori B, daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga-keluarga atau lebih besar.
- 2) Kategori C, dataran terbuka dengan penghalang terbesar memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9.1 m) Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
- 3) Kategori D area datar, area tidak terhalang dan permukaan air. Kategori ini berisi lumpur halus, padang garam, dan es tak terputus.

Berdasarkan pasal 27.3 (SNI-1727-2013) mengenai tekanan velositas, koefisien eksprosurs harus ditentukan berdasarkan Tabel 6 berikut:

**Tabel 2.6** Koefisien Eksprosurs

Tinggi di atas level tanah, z		Eksprosurs		
ft	m	B	C	D
15	0 – 4,6	0,57	0,85	1,03
20	6,1	0,62	0,90	1,08
25	7,6	0,66	0,94	1,12
30	9,1	0,7	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,22
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	1,24	1,40
100	30,5	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61	1,2	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1,89

Sumber: SNI 03-1727-2013

Pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai eksprosurs berbeda beda tergantung ketinggian lantai bangunan serta letak atau posisi bangunan itu berada yang terdiri atas 3 kategori yaitu kategori B, C dan D.

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposurs lawan angin didasarkan pada kekasaran permukaan tanah

yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas yang dibangun (Soelarso, dkk, 2017).

d. Faktor Topografi ( $K_{zt}$ )

Berdasarkan pasal 26.8 pada SNI-1727-2013 mengenai efek topografi, efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam yang terisolasi akan menimbulkan perubahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kategori eksposur, harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin bila kondisi bangunan gedung dan kondisi lokasi struktur memenuhi kondisi berikut:

- 1) Bukit, bukit memanjang atau tebing curam yang terisolasi dan tidak terhalang angin arah vertikal ke atas oleh pengaruh topografi serupa dari ketinggian yang setara untuk 100 kali tinggi fitur topografi (100H) atau 2 mil, dipilih yang terkecil. Jarak ini harus diukur horizontal dari titik dimana tinggi H pada bukit, punggung bukit atau tebing yang ditentukan.
- 2) Bukit, bukit memanjang atau tebing curam yang menonjol di atas ketinggian fitur dataran arah vertikal ke atas antara radius 2 mil untuk setiap kuadran dengan faktor dua atau lebih.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan di atas maka nilai  $K_{zt}$  adalah 1.0.

e. Faktor Efek Tiupan Angin ( $G_w$ )

Berdasarkan SNI 1727-2013 faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0.85.

f. Koefisien Tekanan Internal ( $G_{Cpi}$ ).

Berikut nilai koefisien tekanan internal berdasarkan SNI 1727-2013:

**Tabel 2.7** Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	C <sub>pi</sub>
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+0,55 -0,55
Bangunan gedung tertutup	+0,18 -0,18

Sumber : SNI 03-1727-2013.

Catatan: tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan internal.

g. Koefisien Tekanan Eksternal

Mengenai bangunan gedung kaku tertutup dan tertutup sebagian, koefisien tekanan eksternal ditentukan berdasarkan Tabel 2.8. Berikut:

**Tabel 2.8** Koefisien Tekanan Dinding, *C<sub>pf</sub>*

Permukaan	L/B	<i>C<sub>pf</sub></i>
Dinding di sisi angin datang	Seluruh Nilai	0,8
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5
	2	-0,3
	≥ 4	-0,2
Dinding tepi	Seluruh Nilai	-0,7

Sumber : SNI 03-1727-2013

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan
2. Diperkenankan interpolasi linear untuk nilai L/B. Interpolasi hanya boleh dilakukan diantara nilai-nilai dengan tanda yang sama. Apabila nilai tidak memiliki tanda yang sama, asumsikan 0,0 untuk interpolasi.
3. Notasi B yaitu dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur tegak lurus terhadap arah angin. Sedangkan L yaitu dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur sejajar terhadap arah angin.

#### 4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa dinyatakan dengan lambang E. Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa, ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa adalah gaya-gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa.

Menurut SNI 1726 2012, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama tetapi efektifitasnya 30%. Salah satu cara untuk memahami fenomena-fenomena yang terlibat dapat ditinjau terlebih dahulu bagaimana suatu struktur kaku memberikan respon terhadap gerak getaran sederhana, struktur mempunyai fleksibilitas seperti umumnya struktur gedung.

##### a. Faktor Keutamaan

Berdasarkan pasal 4.1.2 SNI 1726-2019 untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung maka pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori IV.

**Tabel 2.9** Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	I

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
1) Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan 2) Fasilitas sementara 3) Gedung penyimpanan 4) Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/ rumah susun f. Pusat perbelanjaan/ mall g. Bangunan industri h. Fasilitas manufaktur i. Pabrik	II
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas penitipan anak f. Penjara g. Bangunan untuk orang jompo  Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: a. Pusat pembangkit listrik biasa b. Fasilitas penanganan air c. Fasilitas penanganan limbah d. Pusat telekomunikasi  Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya,	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Bangunan-bangunan monumental</li> <li>b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>c. Rumah ibadah</li> <li>d. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>e. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat</li> <li>f. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>g. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>h. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>i. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat.</li> <li>j. Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ol> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Sumber: SNI 03-1726-2019

Adapun faktor keutamaan gempa yaitu

**Tabel 2.10** Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25



Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
IV	1,50

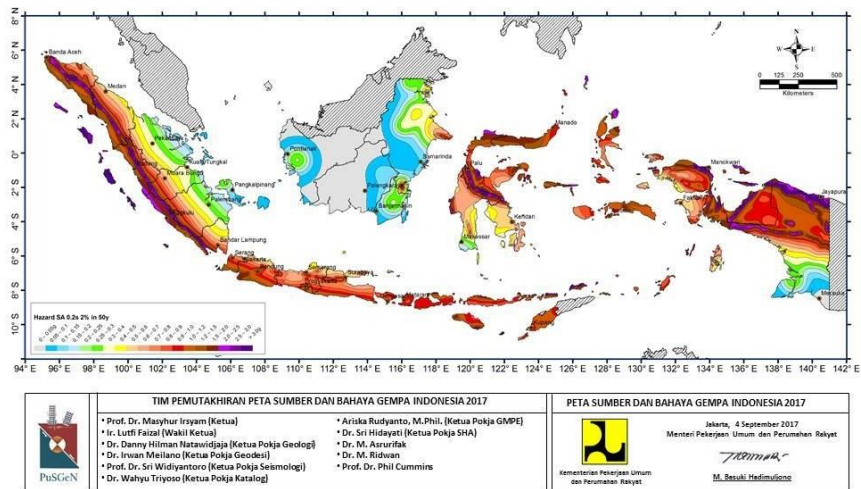
Sumber: SNI 03-1726-2019

Setelah menentukan kategori risiko bangunan, selanjutnya dikalikan dengan faktor keutamaan gempa dengan tujuan untuk memperbesar gempa rencana, agar stuktur dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang panjang.

b. Nilai Spektral Percepatan

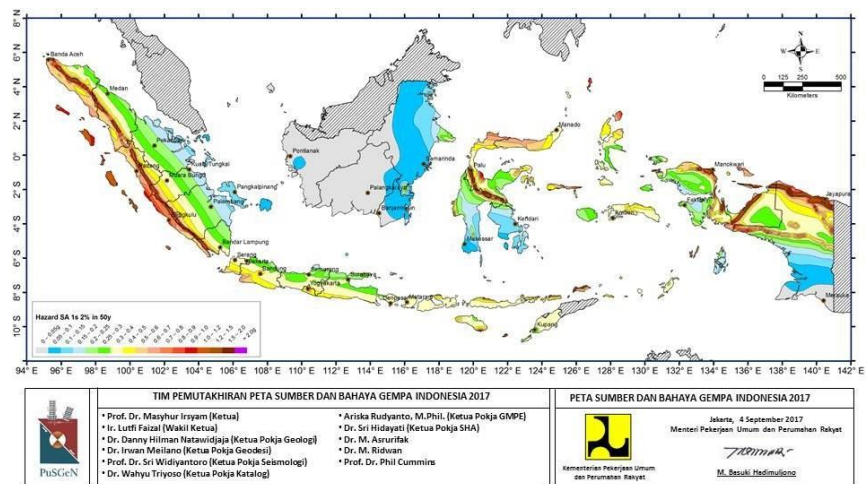
Terdapat dua buah parameter percepatan gempa yaitu parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek ( $S_s$ ) dan parameter percepatan batuan dasar pada perioda 1,0 detik ( $S_1$ ). Parameter percepaan batuan dasar perioda pendek dan perioda 1 detik ini harus ditetapkan masing masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1,0 detik dalam peta gerak tanah seismik.

Untuk mendapatkan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  didapatkan dari web Desain Spektra Indonesia <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> .



**Gambar 2.9** Ss Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tersesuaikan (MCER), untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik dengan nisbah redaman 5 %, Kelas Situs SB

Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia (2017)



**Gambar 2.10** S<sub>1</sub> Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tersesuaikan (MCER), untuk Percepatan Respons Spektral 1,0 detik dengan nisbah redaman 5 %, Kelas Situs SB.

Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia (2017)

Gambar di atas merujuk pada penentuan nilai spektral percepatan. Misalnya area Makassar. Pada Gambar 2.9 (penentuan S<sub>s</sub>) warna yang ditunjukkan adalah hijau muda yang berarti nilai spektral percepatan berada kisaran 0,2-0,25.

Sedangkan pada Gambar 2.10 (penentuan  $S_1$ ) warna yang ditunjukkan adalah biru laut, yang berarti nilai spektralnya berada kisaran 0,05-0,1.

c. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs merupakan klasifikasi yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah lapisan 30 meter dari permukaan tanah. Terdapat 6 klasifikasi situs yaitu situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF. Klasifikasi situs menurut SNI 1726-2019, ditetapkan sesuai tabel berikut:

**Tabel 2.11** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	VS (m/detik)	N atau Nch	Su (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 -1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 - 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dari karakteristik berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$ ) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan $PI > 75$ ) 4. Lapisan lempung lunak dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa.		

Sumber: SNI 03-1726-2019

Catatan:

N/A = Tidak dapat dipakai

d. Koefisien Situs

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Berikut adalah tabel faktor amplifikasi perioda pendek ( $F_a$ ) berdasarkan koefisien kelas situs.

**Tabel 2.12** Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda 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	$SS^a$					

Sumber: SNI 03-1726-2019

Adapun tabel faktor amplifikasi terkait percepatan getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ) berdasarkan koefisien kelas situs.

**Tabel 2.13** Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek $T=1.0$ detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,3	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^b$					

Sumber: SNI 03-1726-2019

Catatan:

- (a) Untuk nilai nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b)  $S_s =$  Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1,0 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = Fa \times S_S$$

$$S_{M1} = Fv \times S_1$$

Keterangan :

$Fa$  = Percepatan pada getaran periode pendek

$Fv$  = Percepatan pada getaran periode 1,0 detik

$S_S$  = Parameter respons spektrum percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek

$S_1$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik

Rumus di atas digunakan untuk mencari nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  yang nantinya digunakan untuk menghitung nilai parameter percepatan spektral desain.

e. Parameter Percepatan Spektral Desain.

Menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan untuk periode 1,0 detik ( $S_{D1}$ ) dengan persamaan:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

Keterangan:

$S_{DS}$  : Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

$S_{D1}$  : Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1,0 detik

$S_{MS}$  : Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek

$S_{M1}$  : Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1,0 detik

f. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI-1726-2019 mengenai kategori desain seismik, struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori seismik yang mengikuti Tabel 2.14 berikut:

**Tabel 2.14** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	C
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 03-1726-2019

**Tabel 2.15** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1,0 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	B
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	C
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 03-1726-2019

Setelah menghitung nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , nilai tersebut kemudian di cocokkan pada tabel 2.14. dan tabel 2.15. Jika nilai pada  $S_{DS}$  mendapat B dan  $S_{D1}$  juga B maka kategori risikonya adalah B.

g. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda, sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Jika sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai faktor modifikasi respons (R), faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ), dan faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ) harus dikenakan pada setiap sistem termasuk batasan

sistem strukturnya. Untuk menentukan nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  dapat dilihat dalam SNI-1726-2019 pasal 7.2.2

h. Periode Fundamental Pendekatan

Dalam periode fundamental pendekatan, koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ditentukan berdasarkan pasal 7.8.2.1 pada SNI 1726-2019.

**Tabel 2.16** Koefisien Batas Atas Periode ( $C_u$ )

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

Sumber: SNI 03-1726-2019

Adapun untuk nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$  ditentukan berdasarkan tabel berikut:

**Tabel 2.17** Nilai Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

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

Sumber: SNI 03-1726-2019

## F. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas, maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727-2013 di bawah ini:

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

Keterangan:

- D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.
- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejutan, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
- $L_r$  adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air
- W adalah beban angin
- E adalah beban gempa dengan,

Kekecualian: Faktor beban untuk  $L$  di dalam kombinasi pembebanan pada persamaan 3, 4 dan 5 harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum, dan semua daerah di mana beban hidup lebih besar dari pada 5 kPa.



## **G. Kinerja Struktur**

### **1. Kinerja Batas Layan**

Kinerja batas layan pada struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat yang terjadi akibat gempa rencana dengan tujuan untuk membatasi terjadinya pelepasan baja dan peretakan beton yang berlebihan. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui  $\frac{0,03}{R}$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm. bergantung nilai terkecilnya.

### **2. Kinerja Batas Ultimit**

Kinerja batas ultimit pada struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan dengan tujuan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar gedung yang terdilatasi. Simpangan dan simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal dikalikan dengan suatu faktor pengali  $\xi$

a. Untuk struktur gedung beraturan:

$$\xi = 0,7 R$$

b. Untuk struktur gedung tidak beraturan:

$$\xi = \frac{0,7 R}{\text{Faktor Skala}}$$

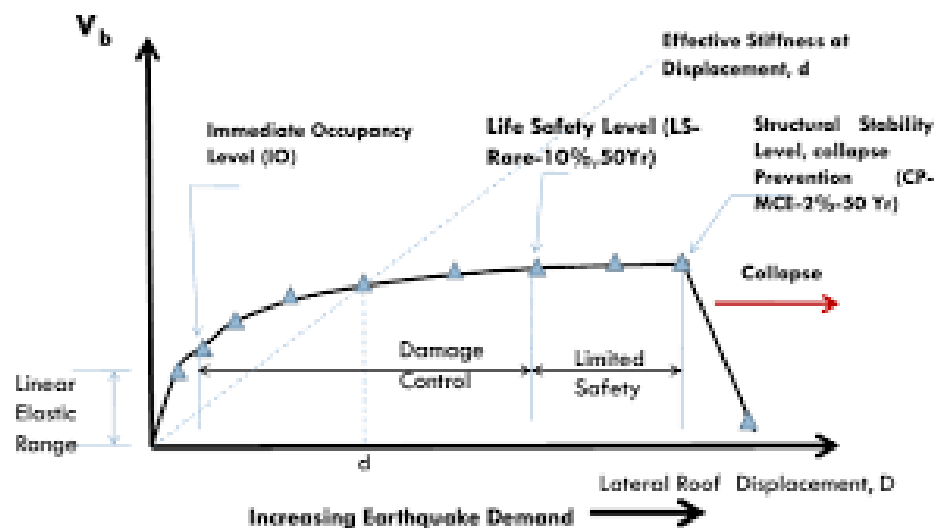
dengan R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0.02 kali tingkat bersangkutan.

### 3. Level Kinerja Berdasarkan *Applied Technology Council -40*

SNI 03-1726-2002 mengatur bahwa tingkat kinerja struktur bangunan akibat gempa rencana adalah *life safety*, yaitu walaupun struktur bangunan dapat mengalami tingkat kerusakan yang cukup parah namun keselamatan penghuni tetap terjaga karena bangunan tidak sampai runtuh. Sasaran kinerja terdiri atas kejadian gempa rencana yang ditentukan dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut.

*Applied Technology Council -40* (1996) memberikan beberapa pertimbangan kondisi kerusakan dan kinerja bangunan menjadi 6 kategori.



**Gambar 2.11** Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40  
Sumber: ATC-40 (1996)

Penjelasan lebih lanjut mengenai kinerja struktur menurut ATC- 40 adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.18** Level Kinerja Struktur

Tingkat Kinerja	Uraian	Keterangan
SP – 1	<i>Immediate occupancy</i> (Penggunaan sedang)	Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
SP – 2	<i>Damage control</i> (Kontrol kerusakan)	Dalam kategori ini, pemodelan bangunan gedung dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yg peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%
SP – 3	<i>Life safety</i> (Aman untuk dihuni)	Bila terjadi gempa, muncul kerusakan yg cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dpt dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
SP – 4	<i>Limited safety</i> (Keamanan terbatas)	Kondisi bangunan tidak sebaik level life safety dan tidak seburuk level structural stability, termasuk ketika level life safety tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
SP – 5	<i>Structural Stability</i> (Stabilitas Struktural)	Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
SP – 6	<i>Not Considered</i> (Tidak Diperhitungkan)	Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat

Tingkat Kinerja	Uraian	Keterangan
		dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

Sumber : *Applied Technology Council (ATC) 40, 1996*

ATC-40 juga memberikan Batasan rasio *drift* pada *performance point* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur. Batasan rasio drift dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.19** Batasan Rasio *Drift*

Parameter	Performance Level			
	<i>IO</i>	<i>Damage Control</i>	<i>LS</i>	<i>Structural Stability</i>
Maksimum total <i>drift</i>	0.01	0.01 s.d 0.02	0.02	$0.33 \frac{v_i}{p_i}$
Maksimum <i>inelastic drift</i>	0.005	0.005 s.d 0.015	No. limit	No. limit

Sumber : ATC-40, (1996)

## H. Analisis Linier Gempa

Analisis linear gempa terbagi dua yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik (respons spektrum dan riwayat waktu).

### 1. Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen adalah salah satu metode analisis struktur terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa nominal ekuivalen yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama, dan biasanya distribusi gaya ini di sederhanakan sebagai segitiga terbalik. Metode statik ekuivalen hanya diijikan untuk perencanaan struktur dengan ketinggian tidak lebih dari 40 meter atau 10 tingkat.

### 2. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2 macam, yaitu analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu. Analisis respon spektrum adalah analisis dimana total respon didapat melalui

superposisi dari respon masing-masing ragam getar sedangkan analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

a. Analisis Respon Spektrum

Spektrum respon adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik antara periode getar struktur  $T$  lawan respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Nilai spektrum respon dipengaruhi oleh periode getar, rasio redaman, tingkat daktilitas dan jenis tanah.

Spektrum respon berfungsi sebagai alat untuk mengestimasi penentuan *strenght demand*. Estimasi kebutuhan kekuatan struktur akibat beban gempa pada prinsipnya adalah menentukan seberapa besar beban horizontal yang akan bekerja pada tiap massa. Spektrum respon dapat digunakan untuk menentukan gaya horizontal maupun simpangan struktur di mana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar (Reksoroharjo, 2017).

b. Spektrum Respons Desain

Berdasarkan SNI-1726-2012 bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$  spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  harus diambil dari persamaan:

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

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$  spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$
3. Untuk perida lebih besar dari  $T_s$  spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan:

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

Keterangan :

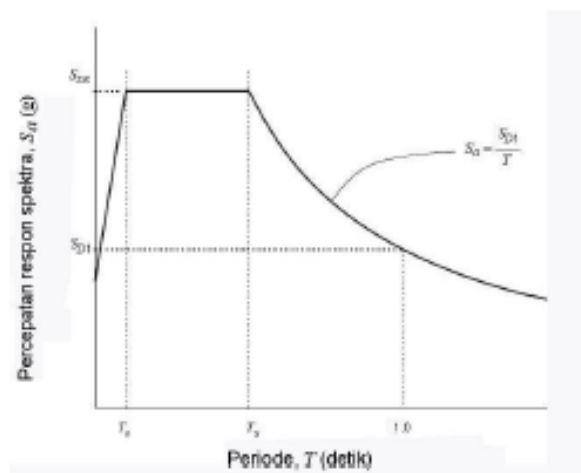
$S_{DS}$  : Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

$S_{D1}$  : Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1.0 Detik

$T$  : Periode Fundamental Struktur (s)

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

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



**Gambar 2.12** Spektrum Respons Desain  
Sumber: SNI 03-1726-2019

c. Jumlah Ragam

Analisis respons spektrum harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 100 % dari massa aktual dalam masing masing arah horizontal orthogonal struktur yang ditinjau.

d. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat atasnya. Untuk struktur dengan kategori seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa di tingkat ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

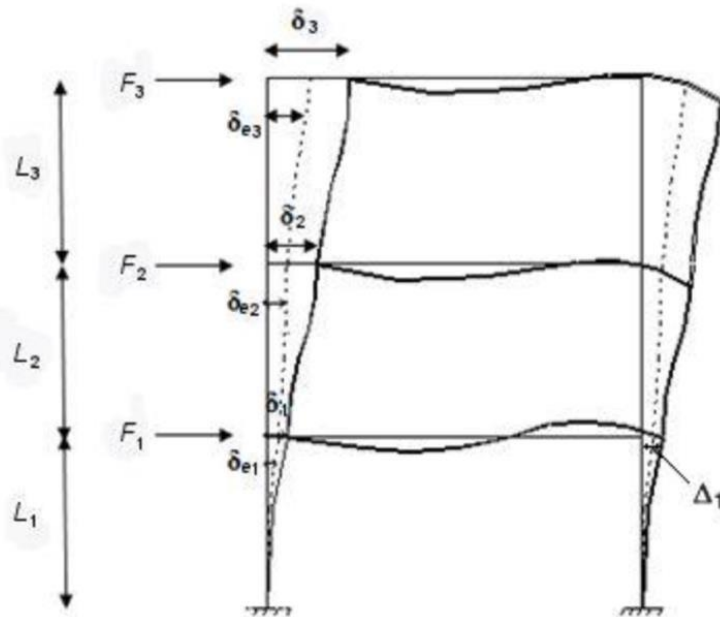
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

$C_d$  : Faktor Amplifikasi Defleksi

$\delta_{xe}$  : Defleksi pada Lokasi yang Diisyaratkan

$I_e$  : Faktor Keutamaan Gempa



**Gambar 2.13** Penentuan Simpangan Antar Lantai  
Sumber: SNI 03-1726-2019

Tingkat 1

$F_1$  : Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e1}$  : Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya  $F_1$

$\delta_1$  :  $\frac{c_d \delta_{xe}}{I_e}$  = perpindahan yang diperbesar

$\Delta_1$  :  $\delta_{e1} \leq \Delta_a$

$\delta_3$  : Perpindahan total

Tingkat 2

$F_2$  : Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e2}$  : Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya  $F_2$

$\delta_2$  :  $\frac{c_d \delta_{x2}}{I_e}$  = perpindahan yang diperbesar

$\Delta_2$  :  $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) c_d / I_e \leq \Delta_a$



Tingkat 3

$F_3$  : Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e3}$  : Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya  $F_3$

$\delta_3$  :  $\frac{c_d \delta_{x3}}{I_e}$  = perpindahan yang diperbesar

$\Delta_3$  :  $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) c_d / I_e \leq \Delta_a$

Adapun simpangan antar lantai tingkat ( $\Delta$ ) yang dihitung dengan metode di atas tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) seperti yang tercantum pada Tabel berikut:

**Tabel 2.20** Simpangan antar tingkat izin,  $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori Riziko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{ex}^c$	$0,020h$	$0,015h_{ex}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{ex}$	$0,010h_{ex}$	$0,010h_{ex}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{ex}$	$0,007h_{ex}$	$0,007h_{ex}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{ex}$	$0,015h_{ex}$	$0,010h_{ex}$

Sumber: SNI 03-1726-2019

Dimana  $h_{ex}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

## I. Program ETABS

ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Bulding Systems*) adalah salah satu program komputer yang dikembangkan oleh perusahaan CSI (*Computers and Structures Inc*) yang digunakan

khusus untuk perencanaan gedung dari pemodelan, desain, dan analisis menggunakan konstruksi beton, baja maupun komposit. ETABS memiliki tampilan yang hampir sama dengan SAP 2000.

Program ETABS mempermudah dalam menganalisis struktur bangunan dan keakuratannya lebih terjamin dibandingkan dihitung secara manual. Beberapa keunggulan dari program ETABS yaitu:

1. Fitur yang lebih lengkap dalam hal ini untuk perencanaan struktur gedung
2. Lebih ringan dan cepat saat diinstal dibandingkan SAP 2000
3. Lebih cepat dalam melakukan *run analysis* dibandingkan SAP 2000
4. Tampilan 2D dan 3D yang bisa mencakup seluruh elemen
5. Lebih cepat melakukan pemodelan struktur

## J. Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.21** Penelitian Terdahulu

Judul	Penulis	Tahun	Lokasi	Fokus	Metode	Hasil
Analisis Perilaku Dan Kinerja Struktur Rangka Bresing Eksentris V-Terbalik Dengan L/H Bervariasi	A.A. Ngurah Agung Angga Pradhana, dkk	2015	Denpasar	L/H bervariasi pada Gedung 10 lantai rangka baja	Analisis <i>Pushover</i> dengan aplikasi SAP 2000	Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa SRBE dengan L/H=1,75 memiliki kekakuan dan gaya geser dasar maksimal yang paling besar dibandingkan dengan struktur lainnya. Namun, dilihat dari mekanisme terjadinya sendi plastis, SRBE dengan L/H=1,75 tidak menunjukkan mekanisme keruntuhan yang baik karena terjadi sendi plastis pada kolom. lantai dasar bagian atas. SRBE L/H=1,75 juga memiliki berat total struktur 11,34% lebih besar dibandingkan SRPM, sehingga menjadi salah satu kekurangan struktur tersebut.
Perbandingan Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Baja dengan Sistem Bresing Konsentrik tipe-X dan Sistem Bresing Eksentrik V-Terbalik	I Dewa Gede Amertha Semadi	2016	Bali	SRBK tipe X dan SRBE tipe V terbalik	Analisis linear dan analisis static nonlinear <i>pushover</i> dengan bantuan ETABS	Hasil analisisnya dapat disimpulkan bahwa dengan dimensi elemen struktur yang sama, model SRBK memiliki simpangan dan daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan model SRBE. Tapi kekuatan dan kekakuan model SRBK lebih besar dibandingkan model SRBE. Hasil analisis menunjukkan bahwa model SRBK dan SRBE berada pada level kinerja yang sama yaitu <i>Life Safety</i> (LS).
<i>Comparative Story Drift Analysis of High Rise Building Structure between X-Braced Frame and Two Story X-Braced Frame</i>	Sayed Ahmad Fauzan, Nugraha Bintang Wirawan, Ahmad Yudi	2018	Sumatera	SRBK Tipe X satu lantai dan Tipe X dua lantai	<i>Comparative Story Drift Analysis</i>	Disimpulkan bahwa model dengan bresing tipe <i>Two Story X</i> lebih efektif dibandingkan bresing tipe X dan simpangan lantai bresing tipe <i>Two Story X</i> lebih kecil dibandingkan bresing tipe X.

Judul	Penulis	Tahun	Lokasi	Fokus	Metode	Hasil
Perbandingan Bresing X-1 dan X-2 Pada Gedung Struktur Baja Ditinjau Dari Nilai Drift	Agustina Panjaitan dkk	2018	Surabaya	Perbandingan bangunan tanpa bresing, dan menggunakan bresing X-1 dan X-2 (SRBKK)	Membandingkan nilai drift yang dihasilkan dari Analisa SAP 2000 v18	Gedung yang diberi beban gempa diperoleh nilai drift (simpangan horisontal) tiap lantai portal dengan bresing X-1 diperoleh lebih kecil dibanding portal dengan bresing X-2.
Studi Pengaruh Variasi Tipe Pengaku Diagonal Pada Struktur Bangunan Baja Bertingkat Terhadap Perpindahan Lateral	Clement Kristianto Halim dkk.	2020	.	Variasi tipe pengaku diagonal pada bangunan perkantoran (5 dan 10 lantai)	Analisis Pushover	Jenis pengaku diagonal X lebih unggul dibandingkan jenis lainnya ( <i>Single Diagonal dan Inverted V</i> )
Perbandingan Simpangan Gedung Lantai Rendah dengan Menggunakan 2 Tipe Bresing	Nurul Rochmah	2020	Surabaya	Tipe V terbalik dengan 2 jenis bresing yaitu Konsentrik dan eksentrik	Sap 2000	Hasil yang diperoleh yaitu simpangan akibat bresing eksentrik lebih kecil dibandingkan bresing konsentrik.
<i>Buckling Restrained Brace (BRB)</i> Terhadap Displacement di Bangunan Jangkung	A.Nur Anisah Rahayu Agich	2020	Makassar	Penampang bresing (lingkaran dan persegi). Dan perbandingan displacement antara bangunan tanpa bresing dan yang menggunakan bresing	Etabs dengan menggunakan analisis respon spektrum	Bresing tipe <i>buckling restrained brace</i> (BRB) dengan bentuk penampang lingkaran lebih unggul dibanding bentuk penampang persegi pada konfigurasi bresing-X. Pada pengujian displacement bangunan, didapatkan nilai rata-rata displacement pada 8 kombinasi pembebanan untuk bangunan tanpa bresing adalah 162,5 mm, sedangkan untuk bangunan dengan bresing lingkaran adalah 104,5 mm, sehingga selisih nilai keduanya adalah 58 mm.

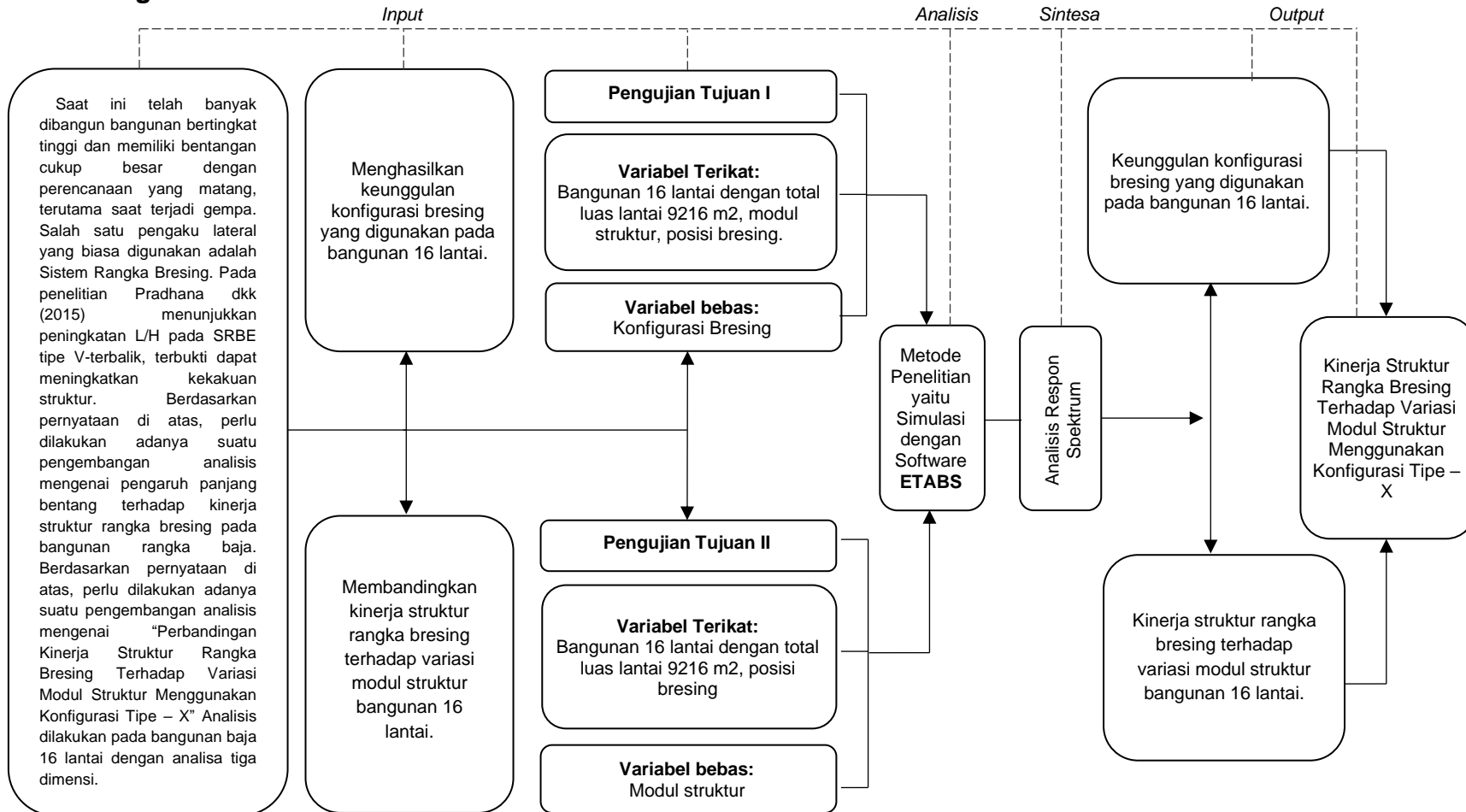
Judul	Penulis	Tahun	Lokasi	Fokus	Metode	Hasil
Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Terhadap Variasi Modul Struktur Menggunakan Konfigurasi Tipe - X	Astrina Masda	2022	Makassar	Variasi modul struktur	Analisis Respons Spektrum	Menurut hipotesa peneliti hasil penelitian adalah bangunan yang menggunakan bresing dengan <i>link</i> yang lebih kaku. Serta semakin besar panjang bentang pada bresing (model A8) maka kekakuan bangunan semakin besar.

Keaslian Penelitian:

Adapun yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terdahulu yaitu

- a. Fokus penelitian ini adalah variasi modul struktur, yang digunakan yakni ada 3 model yaitu model A6, A7 dan A8
- b. Konfigurasi bresing yang digunakan yaitu konfigurasi tipe X baik satu lantai maupun 2 lantai.
- c. Analisis yang digunakan adalah analisis respon spektrum.

## K. Kerangka Pikir



Gambar 2.14 Kerangka Pikir