TUGAS AKHIR

PENGARUH KONFIGURASI DAN POSISI BRESING EKSENTRIS *TYPE-V* DAN *SPLIT-K* TERHADAP PERILAKU BANGUNAN STRUKTUR BAJA AKIBAT GAYA GEMPA

(THE EFFECT OF CONFIGURATIONS AND POSITIONS OF TYPE-V AND SPLIT-K ECCENTRIC BRACING ON THE BEHAVIOR OF STEEL STRUCTURE BUILDING DUE TO EARTHQUAKE LOADS)

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

Muhammad Samudra
17511043

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

2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH KONFIGURASI DAN POSISI BRESING EKSENTRIS *TYPE-V* DAN *SPLIT-K* TERHADAP PERILAKU BANGUNAN STRUKTUR BAJA AKIBAT GAYA GEMPA

(THE EFFECT OF CONFIGURATIONS AND POSITIONS OF TYPE-V AND SPLIT-K ECCENTRIC BRACING ON THE BEHAVIOR OF STEEL STRUCTURE BUILDING DUE TO EARTHQUAKE LOADS)

Disusun oleh

Muhammad Samudra

17511043

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 12 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
23/8/'24	23/08/'24	26/08/'24
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.	**Jafar S.T., M.T., MURP.**	**Elvis Saputra, S.T., M.T.**
NIK : 165111301	**NIK : 185111305**	**NIK : 205111302**

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

26/8/2024

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM

NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat unruk 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 basil 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 basil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Samudra

17511043

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Bresing Eksentris Type-V dan Split-K Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa*. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada program Sarjana di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Maka penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan serta dukungan,
2. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP selaku Dosen Penguji I,
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II,
4. Orang tua penulis yang telah berkorban material dan spiritual dari awal penulis menginjakkan kaki di UII hingga selesainya Tugas Akhir ini,
5. Teman-teman Teknik Sipil 2017, terutama teman-teman seperjuangan Monitoring dan Evaluasi Pembelajaran Mahasiswa Angkatan 2017,
6. Semua sahabat dan teman penulis baik di Aceh dan Yogyakarta yang masih terus berkomunikasi dengan penulis.

Yogyakarta, 12 Agustus 2024

Penulis,

Muhammad Samudra

17511043

DAFTAR ISI

Halaman Judul		i
Halaman Pengesahan		ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		iii
KATA PENGANTAR		iv
DAFTAR ISI		v
DAFTAR TABEL		ix
DAFTAR GAMBAR		xi
DAFTAR LAMPIRAN		xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN		xiv
ABSTRAK		xvi
ABSTRACT		xvii
BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	4
1.3	Tujuan Penelitian	4
1.4	Manfaat Penelitian	4
1.5	Batasan Penelitian	5
BAB II	TINJAUAN PUSATAKA	7
2.1	Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)	7
2.2	Penelitian Terdahulu	8
2.2.1	Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa	8
2.2.2	Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa Sistem Rangka Berpengaku Eksentrik Konfigurasi *Split-K* Dengan Ketidakberaturan Horizontal	9
2.2.3	Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentrik Tipe V dan Y Terbalik pada Bangunan 12 dan 18 Lantai	9

2.2.4 Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur yang Mengalami Beban Gempa 10
2.2.5 Studi Perilaku Struktur *Eccentrically Braced Frame* (EBF) Akibat Beban Gempa dan Beban Siklik 10
2.3 Keaslian Penelitian 11
BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) 14
3.2 Desain Stabilitas Struktur 15
3.2.1 Dasar Desain 15
3.2.2 Klasifikasi Penampang Tekuk Lokal 15
3.2.3 Persyaratan Stabilitas Umum 16
3.2.4 Metode Analisis Langsung 17
3.3 Material yang Digunakan 18
3.3.1 Spesifikasi Material 18
3.3.2 Kekuatan Material Ekspektasi 19
3.4 Pembebanan 19
3.4.1 Beban Mati 19
3.4.2 Beban Hidup 20
3.4.3 Beban Notional 21
3.4.4 Beban Gempa 22
3.5 Kombinasi Pembebanan 29
3.5.1 Pengaruh Beban Seismik 30
3.5.2 Pengaruh Beban Gempa Termasuk Faktor Kuat Lebih 30
3.6 Pengecekan Awal 31
3.6.1 Partisipasi Massa 31
3.6.2 Skala Gaya 31
3.6.3 Ketidakberaturan Bangunan 31
3.6.4 Pengecekan Beban Notional Asumsi 35
3.6.5 Pengecekan *P*-Δ 35
3.7 Perencanaan Struktur 36

3.7.1 Pelat 36
3.7.2 Desain Elemen Tekan 37
3.7.3 Desain Elemen Lentur 38
3.7.4 Deasin Elemen Geser 40
3.7.5 Desain Elemen Kombinasi Tekan dan Lentur 41
3.8 Perencanaan SRBE 42
3.8.1 Perencanaan *Link* 42
3.8.2 Perencanaan Bresing 44
3.8.3 Perencanaan Balok dan Kolom SRBE 45
3.9 Analisis Perilaku Struktur 45
3.9.1 Periode Natural 45
3.9.2 Kekakuan Struktur 45
3.9.3 Eksentrisitas Struktur 45
3.9.4 Simpangan Antar Lantai dan *Displacement* 45
BAB IV METODE PENELITIAN 47
4.1 Data Perancangan 47
4.2 Model Struktur 47
4.3 Tahapan Penelitian 51
4.4 Bagan Alir Penelitian 53
BAB V PEMBAHASAN 54
5.1 Data Struktur 54
5.2 *Preliminary Design* 54
5.2.1 Rekapitulasi Profil Baja 55
5.2.2 Denah, Penempatan Profil dan Bresing 58
5.3 Pembebanan 65
5.3.1 Beban Mati Tambahan 65
5.3.2 Beban Hidup 66
5.3.3 Beban Gempa 67
5.3.4 Beban Notional 70
5.4 Pemodelan SAP2000 71
5.5 Analisa Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Bresing 81

5.5.1 Berat Struktur 81
5.5.2 Partisipasi Massa 82
5.5.3 Periode Natural 84
5.5.4 *Base Shear* 85
5.5.5 Ketidakberaturan Struktur 86
5.5.6 Kekakuan Struktur Tiap Lantai 87
5.5.7 *Displacement* 89
5.5.8 Simpangan Antar Lantai 90
5.5.9 P-Delta 92
5.5.10 Rekapitulasi Hasil Analisa Konfigurasi dan Posisi Bresing 94
5.6 Pembahasan Analisa Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Bresing 97
BAB VI KESIMPULAN 99
6.1 Kesimpulan 99
6.2 Saran 99
DAFTAR PUSTAKA 100
LAMPIRAN 102

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian 12

Tabel 3.1 Klasifikasi Mutu Baja 19

Tabel 3.2 Beban mati 20

Tabel 3.3 Beban Hidup Merata dan Terpusat 20

Tabel 3.4 Kategori Risiko untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung 21

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa 22

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_a 24

Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_v 24

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Periode Pendek 26

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik 26

Tabel 3.10 Faktor R, C_d dan Ω_0 Pada Sistem Rangka Baja 26

Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x 28

Tabel 3.12 Ketidakberaturan Horizontal 32

Tabel 3.13 Ketidakberaturan Vertikal 34

Tabel 3.14 Simpangan Antar Lantai Ijin 46

Tabel 3.14 Simpangan Antar Lantai Ijin 46

Tabel 5.1 Fungsi dan Kodefikasi Profil Baja 55

Tabel 5.2 Properties Profil Baja yang Digunakan 57

Tabel 5.3 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai 66

Tabel 5.4 Beban Mati Tambahan Pelat Atap 66

Tabel 5.5 Gaya Gempa Lateral Per Lantai *Split-K Neighbor* 69

Tabel 5.6 Gaya Gempa Lateral Per Lantai Tiap Gedung 70

Tabel 5.7 Beban Notional Per Lantai Tiap Gedung 70

Tabel 5.8 Berat Total Tiap Model Struktur 81

Tabel 5.9 Rekapitulasi Partisipasi Massa Tiap Model Struktur 83

Tabel 5.10 Periode Natural Tiap Model Struktur 84

Tabel 5.11 *Base Shear* Tiap Model Struktur 85

Tabel 5.12 Faktor Skala Revisi 86
Tabel 5.13 Rekapitulasi Ketidakberaturan Tiap Model Struktur 87
Tabel 5.14 Kekakuan Struktur Tiap Lantai 88
Tabel 5.15 *Displacement* Tiap Model Struktur 89
Tabel 5.16 Simpangan Antar Lantai Tiap Model Struktur 91
Tabel 5.17 P-Delta Model Struktur Dengan Bresing 92
Tabel 5.18 P-Delta Model Struktur Tanpa Bresing 94
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Analisa 96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bresing SRBE *Type-V* (a) dan *Split-K* (b) 3

Gambar 1.2 Posisi Bresing Bersebelahan (kiri) dan Berseling (kanan) 4

Gambar 2.1 Bresing SRBE dan Bagian-Bagiannya 7

Gambar 2.2 Perilaku Bresing SRBE Terhadap Gaya Lateral 8

Gambar 3.1 Peta Nilai SS 23

Gambar 3.2 Peta Nilai S1 23

Gambar 3.3 Klasifikasi *Link* Berdasarkan Panjangnya 42

Gambar 3.4 Penentuan Simpangan Antar Lantai 46

Gambar 4.1 Denah Gedung yang Digunakan 48

Gambar 4.2 Bresing SRBE *Type-V* (a) dan *Split-K* (b) 49

Gambar 4.3 Bangunan Tanpa Bresing 49

Gambar 4.4 *Split-K* Bersebelahan 49

Gambar 4.5 *Split-K* Bergantian 50

Gambar 4.6 *Type-V* Bersebelahan 50

Gambar 4.7 *Type-V* Bergantian 51

Gambar 4.8 Bagan Alir Penelitian 53

Gambar 5.1 Bentuk dan Notasi Profil IWF 54

Gambar 5.2 Denah Perencanaan Gedung 58

Gambar 5.3 Penempatan Bresing Posisi Bersebelahan (*Neighbor*) 59

Gambar 5.4 Penempatan Bresing Posisi Bergantian (*Alternate*) 59

Gambar 5.5 Tampak Luar Bresing *Split-K Neighbor* 60

Gambar 5.6 Tampak Luar Bresing *Split-K Alternate* 61

Gambar 5.7 Tampak Luar Bresing *Type-V Neighbor* 62

Gambar 5.8 Tampak Luar Bresing *Type-V Alternate* 63

Gambar 5.9 Detail Portal SRBE *Split-K* 64

Gambar 5.10 Detail Portal SRBE *Type-V* 64

Gambar 5.11 Tampak 3D Gedung Tanpa Bresing 65

Gambar 5.12 Spesifikasi Material Baja BJ41 70
Gambar 5.13 Spesifikasi Material Beton FC25 71
Gambar 5.14 Pemilihan Database Profil Baja 72
Gambar 5.15 Pemilihan Material dan Profil 72
Gambar 5.16 Jendela Review Profil yang Sudah Dipilih 73
Gambar 5.17 Spesifikasi Pelat yang Dimasukkan 74
Gambar 5.18 Tampak 3D Struktur Jadi 74
Gambar 5.19 Input Beban Mati Tambahan 75
Gambar 5.20 Pemilihan Pelat yang Akan Diberi Beban 76
Gambar 5.21 Pemebebanan Pelat 76
Gambar 5.22 Penyesuaian Define Diafragma 77
Gambar 5.23 Diafragma yang Telah Diterapkan Pada Tiap Lantai 78
Gambar 5.24 Load Pattern EX dan EY 78
Gambar 5.25 Input Beban Lateral FX/FY 79
Gambar 5.26 Setting Respon Spektrum 80
Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Berat Total Struktur 82
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Periode Natural Tiap Model Struktur 84
Gambar 5.29 *Base Shear* Arah X 85
Gambar 5.30 *Base Shear* Arah Y 86
Gambar 5.31 Kekakuan Tiap Lantai Arah X 88
Gambar 5.32 Kekakuan Tiap Lantai Arah Y 89
Gambar 5.33 *Displacement* Arah X 90
Gambar 5.34 *Displacement* Arah Y 90
Gambar 5.35 Simpangan Antar Lantai Arah X 91
Gambar 5.36 Simpangan Antar Lantai Arah Y 92
Gambar 5.37 P-Delta Model Struktur Dengan Bresing Arah X 93
Gambar 5.38 P-Delta Model Struktur Dengan Bresing Arah Y 93
Gambar 5.39 P-Delta Model Struktur Tanpa Bresing 94

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Ketidakberaturan Struktur Tanpa Bresing 103

Lampiran 2 Ketidakberaturan *Split-K Neighbor* 109

Lampiran 3 Ketidakberaturan *Split-K Alternate* 115

Lampiran 4 Ketidakberaturan *Type-V Neighbor* 121

Lampiran 5 Ketidakberaturan *Type-V Alternate* 127

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SRPM	= Sistem Rangka Pemikul Momen
SRBK	= Sistem Rangka Bresing Kosentrik
SRBE	= Sistem Rangka Bresing Eksentrik
LRFD	= *Load resistance Factor Design*
AISC	= *American Institute of Steel Construction*
ANSI	= *American National Standards Institute*
SNI	= Standar Nasional Indonesia
F_y	= tegangan leleh minimum, MPa
F_u	= kekuatan tarik minimum, MPa
E	= modulus elastisitas baja, MPa
G	= modulus geser baja
ν	= *poisson ratio*
N_i	= beban notional yang diterapkan pada level i
Y_i	= beban gravitasi yang diterapkan pada level i
S_S	= parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode pendek
S_1	= parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode 1 detik
S_{DS}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
SD1	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
T	= periode getar fundamental struktur
R	= modifikasi respons
Ω_0	= faktor kuat lebih sistem
C_d	= faktor pembesaran defleksi
V	= geser dasar seismik
C_S	= koefisien respon seismik

W	= berat seismik efektif
h_n	= ketinggian struktur
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
w_i dan w_x	= berat seismik pada tingkat i dan x
h_i dan h_x	= tingi dari dasar hingga tingkat i dan x
k	= eksponen terkait periode struktur
ρ	= faktor redudansi
Q_E	= pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p
P_x	= beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x
Δ	= simpangan antar lantai tingkat
I_e	= faktor keutamaan gempa
D	= beban mati
L	= beban hidup
L_r	= beban hidup pekerja pada atap
R	= beban hujan
W	= beban angin
N	= beban notional
E	= beban statik ekuivalen
α	= koefisien muai panjang
d	= tinggi profil baja, mm
b	= lebar profil baja, mm
t_w	= tebal web profil baja, mm
t_f	= tebal flange profil baja, mm
A	= luas penampang profil baja, mm^2
W	= berat profil baja, kg/m
r_x, r_y	= radius girasi profil baja
I_x, I_y	= momen inersia profil baja
Z_x, Z_y	= modulus plastis profil baja
S_x, S_y	= modulus elastis profil baja

ABSTRAK

Posisi geografis Indonesia yang berada di wilayah rawan bencana alam gempa bumi mendorong peneliti untuk mengembangkan serta menerapkan sejumlah teknologi infrastruktur tahan gempa. Salah satu dari teknologi tersebut adalah Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE). SRBE merupakan sistem rangka bresing yang dilengkapi dengan elemen struktur berupa *link*. *Link* diharapkan menjadi elemen pertama yang mengalami kerusakan saat terjadi gempa. SRBE memiliki sejumlah konfigurasi dan posisi penempatan yang dapat diterapkan pada suatu bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan konfigurasi dan posisi penempatan bresing yang berbeda. Konfigurasi yang dibandingkan adalah *Split-K* dan *Type-V*. Sedangkan posisi yang dibandingkan adalah posisi bersebelahan (*neighbor*) dan posisi bergantian (*alternate*). Bresing diterapkan pada gedung imajiner dengan 10 lantai. Jarak antar lantai gedung sebesar 4 m dan jarak antar kolom sebesar 6 m. Gedung diasumsikan berada di daerah Yogyakarta. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* SAP2000. Parameter yang dibandingkan adalah periode natural, kekakuan struktur, P-Delta, *displacement*, dan simpangan antar lantai.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi bresing *Split-K* bekerja lebih baik dari konfigurasi bresing *Type-V* dalam seluruh parameter yang dibandingkan. Posisi bresing bersebelahan (*neighbor*) bekerja lebih baik dari posisi bresing bergantian (*alternate*) baik dalam konfigurasi *Split-K* maupun konfigurasi *Type-V*.

Kata kunci: Struktur Baja, Bresing, SRBE, SAP2000

ABSTRACT

Indonesia's geographical position in an area vulnerable to earthquake natural disasters encourages researchers to develop and implement a number of seismic-resistant infrastructure technologies. One such technology is the Eccentrically Braced Frame (EBF). The EBF is a braced frame system equipped with link as one of the structural elements. Link is expected to be the first element to suffer damage during an earthquake. The EBF has a number of configurations and placement positions that can be applied to a building.

This study aims to compare the configuration and position of the different braces. The configurations to be compared are Split-K and Type-V. Whereas the compared positions are neighbor and alternate. Braces are applied to an imaginary 10 story building. The distance between columns is 6 m and the distance between stories is 4 m. The building is assumed to be in Yogyakarta. Modeling is done using SAP2000. Compared parameters are natural periods, structural rigidity, P-Delta, displacement, and story drift.

The results of this study show that the Split-K configuration works better than the Type-V configuration in all the compared parameters. Neighbor position works better than alternate position in both the Split-K and Type-V configurations.

***Keyword**: Steel Structure, Braced Frame, EBF, SAP2000*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berada pada posisi geografis kawasan cincin api pasifik dan pertemuan sejumlah lempeng benua menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan risiko bencana alam gempa bumi tertinggi di dunia. Tercatat sejumlah gempa besar yang pernah terjadi di Indonesia, seperti gempa bumi dan *tsunami* di provinsi Aceh pada tahun 2004 dan gempa bumi di D.I. Yogyakarta pada tahun 2006. Selain gempa besar dan berdampak serius, gempa-gempa kecil juga masih rutin terjadi sepanjang waktu hingga saat ini dan masih memiliki kemungkinan akan terus terjadi di masa yang akan datang.

Seiring dengan banyaknya gempa yang terus terjadi, bahkan dengan kekuatan dan dampak yang cukup besar, mendorong peneliti serta sejumlah pihak terkait dengan pembangunan infrastruktur untuk mengembangkan serta menerapkan sejumlah teknologi infrastruktur tahan gempa. Hal ini bertujuan untuk mengurangi dampak kerugian yang mampu dihasilkan dari bencana gempa bumi yang dapat terjadi kapan saja baik kerugian material, ekonomi maupun korban jiwa. Dengan pengembangan dan penerapan tenologi ini, juga diharapkan mampu memberi rasa aman dan nyaman terhadap masyarakat yang menggunakan infrastruktur-infrastruktur yang ada.

Terdapat sejumlah teknologi struktur tahan gempa yang dapat diterapkan. Salah satunya adalah penggunaan pengaku atau *bracing* atau ‘bresing’, apabila disebut sesuai dengan SNI yang berlaku. Penggunaan bresing bertujuan untuk mengurangi dampak dari gaya lateral gempa yang dialami oleh struktur bangunan baja. Panggunaan pengaku pada struktur baja terbagi menjadi 3 jenis, yakni Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), Sistem Rangka Bresing Kosentrik (SRBK), dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE).

Setiap jenis sistem memiliki karakteristik tersendiri. SRPM memiliki karakteristik mampu menyerap energi gempa yang baik, akan tetapi dapat mengakibatkan simpangan yang cukup besar. Sedangkan SRBK dapat mengatasi kekurangan dari SRPM dengan memanfaatkan elemen pengaku berupa bresing kosentris. Akan tetapi penggunaan bresing ini dinilai masih kurang dalam menyerap energi yang dihasilkan oleh gempa dikarenakan bangunan menjadi terlalu kaku. Oleh karena itu, untuk mengatasi kekurangan kedua sistem sebelumnya maka diciptakanlah sebuah sistem baru bernama Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) (Maizuar dan Burhanuddin, 2012).

SRBE mengunakan sebuah elemen yang disebut *link*. *Link* merupakan elemen balok yang berfungsi sebagai pendisipasi energi dari gaya lateral atau gaya gempa yang dialami oleh suatu struktur baja. *Link* juga dapat disebut elemen *fuse* atau sekring, dimana serupa seperti sekring pada rangkaian listrik, *link* diharapkan menjadi elemen yang paling pertama mengalami kerusakan sebelum elemen struktur lain seperti balok, kolom, dan bresing.

Penerapan bresing pada bangunan struktur baja memiliki kecenderungan tidak memiliki penerapan yang tetap antara satu struktur dengan struktur lainnya. Hal ini menyebabkan penerapan bresing akan memiliki variasi penerapan yang berbeda. Variasi penerapan bresing tidak hanya terletak pada konfigurasi atau jenis bresing saja, tetapi juga dapat bervariasi pada posisi penempatan bresing tersebut.

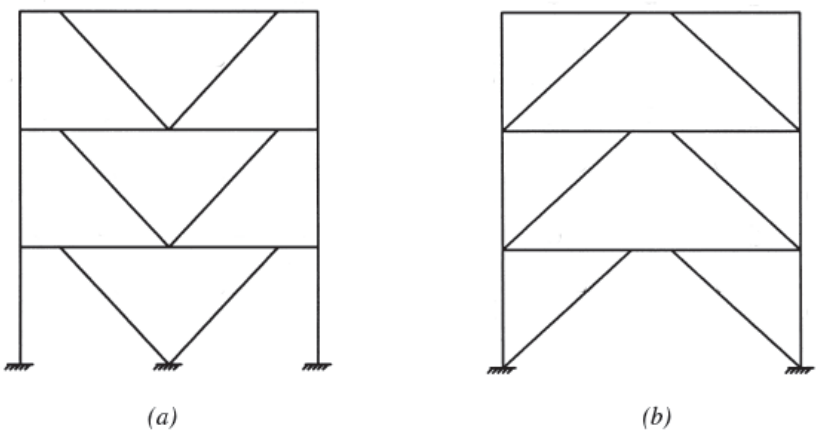
Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Ghewa (2015), penelitian ini menguji konfigurasi yang berbeda, yakni konfigurasi bresing *model-X* dan *inverted-V*. Penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi yang berbeda akan menghasilkan perilaku struktur yang berbeda. Dimana pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi bresing *model-X* mampu memperkuat struktur dengan *displacement* 83% lebih kecil dibanding bangunan tanpa bresing. Sedangkan konfigurasi bresing *inverted-V* mampu memperkuat struktur dengan *displacement* 68% lebih kecil dibanding bangunan tanpa bresing.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Elvarando (2020), menunjukkan bahwa posisi bresing yang berbeda akan menghasilkan perilaku struktur yang berbeda. Dimana pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa bresing pada posisi

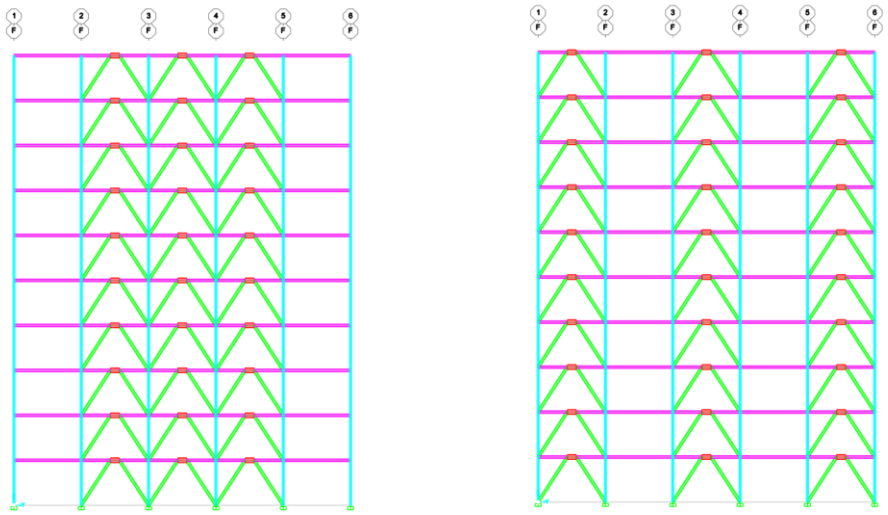
bagian luar (*facade*) gedung akan menghasilkan performa yang lebih baik dari posisi bagian dalam (*core*) pada perilaku bangunan, yakni periode, eksentiritas, *displacement*, simpangan dan kapasitas bangunan.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk menguji penerapan bresing lebih lanjut pada 2 konfigurasi bresing SRBE dengan posisi yang berbeda. Kemudian keduanya diamati untuk mengetahui perilaku yang ditimbulkan oleh penggunaan bresing tersebut, sehingga dapat disimpulkan bresing dan posisi mana yang mampu bekerja lebih baik. Hal ini dilakukan dengan harapan agar mampu menambah variasi penelitian terkait penerapan bresing SRBE pada struktur bangunan baja.

Konfigurasi bresing yang digunakan pada penelitian ini adalah bresing SRBE *Type-V* dan *Split-K*. Sedangkan posisi bresing yang diterapkan adalah posisi bersebelahan (*neighbor*) dan bergantian (*alternate*) yang terinspirasi dari penelitian yang dilakukan oleh Alireza dan Mohammad (2017) berjudul *Assessment of Eccentrically Braced Frames Strength Against Progressive Collapse* (Penilaian Kekuatan Rangka Bresing Eksentris Terhadap Keruntuhan Progresif). Adapun konfigurasi dan posisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.1 Bresing SRBE *Type-V* (a) dan *Split-K* (b)
(AISC 341-22, 2022)



Gambar 1.2 Posisi Bresing Bersebelahan (kiri) dan Bergantian (kanan)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang didapat berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh konfigurasi bresing eksentrik *Type-V* dan *Split-K* terhadap perilaku bangunan struktur baja?
2. Bagaimana pengaruh posisi bresing bersebelahan (*neighbor*) dan berseling (*alternate*) terhadap perilaku bangunan struktur baja?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun sejumlah tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh konfigurasi bresing eksentrik *Type-V* dan *Split-K* terhadap perilaku bangunan struktur baja.
2. Mengetahui pengaruh posisi bresing bersebelahan (*neighbor*) dan bergantian (*alternate*) terhadap perilaku bangunan struktur baja.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun sejumlah manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Peneliti dapat memahami penerapan penggunaan sistem bresing dan menetapkan tipe bresing SRBE yang optimal berdasarkan peraturan-peraturan yang ada di Indonesia.
2. Meningkatkan minat pembaca dan peneliti lainnya untuk mempelajari bangunan struktur baja dengan pengaku atau bresing.
3. Memberikan gambaran terkait perencanaan bangunan struktur baja dengan bresing agar dapat digunakan sebagai acuan perancangan bangunan struktur baja lainnya.
4. Mengetahui pengaruh konfigurasi bresing eksentrik *Type-V* dan *Split-K* terhadap perilaku bangunan struktur baja.
5. Mengetahui pengaruh posisi bresing bersebelahan (*neighbor*) dan bergantian (*alternate*) terhadap perilaku bangunan struktur baja.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian yang dilakukan terarah pada masalah yang diteliti, maka diterapkan sejumlah batasan-batasan penelitian. Adapun batasan-batasan penelitian yang diterapkan adalah sebagai berikut.

1. Batasan-batasan peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut.
   a. SNI 1726:2019, tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
   b. SNI 1727:2020, tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
   c. SNI 1729:2020, tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
   d. ANSI/AISC 341-22, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.*
   e. ANSI/AISC 360-22, *Specification for Structural Steel Buildings.*
   f. Jurnal-jurnal terkait bangunan struktur baja dan SRBE.
2. Batasan-batasan yang diterapkan pada pemodelan adalah sebagai berikut.
   a. Lokasi bangunan berada di Yogyakarta.
   b. Jenis bangunan adalah apartemen.
   c. Jenis tanah sedang.

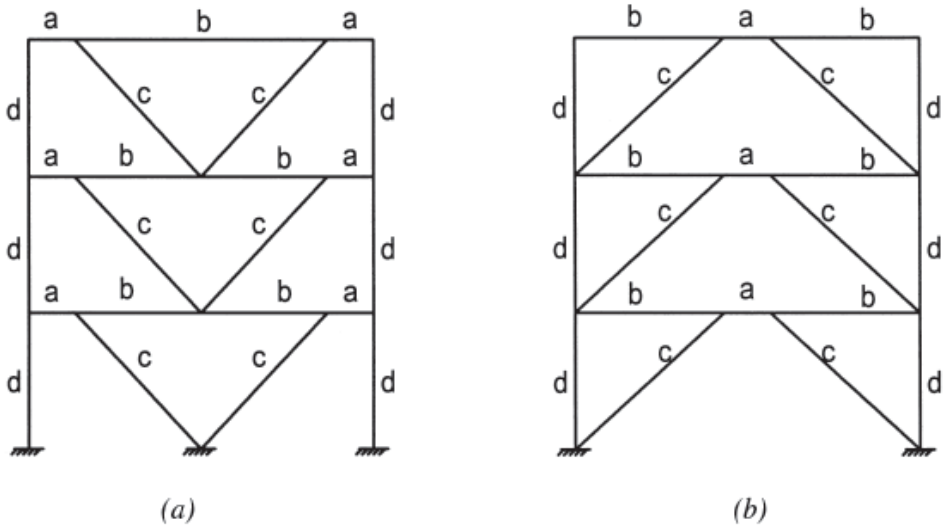
d. Pembebanan yang diterapkan adalah beban mati, beban hidup, beban notional dan beban gempa.
e. Pemodelan didesain menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik atau SRBE.
f. Konfigurasi bresing yang digunakan adalah bresing eksentrik *Type-V* dan *Split-K*.
g. Konfigurasi bresing menggunakan profil baja yang sama dengan perbedaan berada pada kofigurasi dan posisi bresing.
h. Jarak antar kolom selebar 6 m.
i. Jarak antar lantai selebar 4 m.
j. Jumlah lantai yang dimodelkan sebanyak 10 lantai.
k. Balok, kolom, bresing dan *link* menggunakan profil baja IWF.

3. Batasan-batasan perencanaan pemodelan struktur yang diterapkan adalah sebagai berikut.
   a. Tidak merencanakan tangga dan elevator.
   b. Tidak merencanakan detail pelat, baik pelat lantai maupun pelat atap. Pelat hanya digunakan sebagai pembebanan pemodelan.
   c. Tidak merencanakan struktur bawah, seperti pondasi, baseplate, dan kolom pedestal.
   d. Tidak merencanakan sambungan-sambungan struktur.
   e. Tidak merencanakan RAB (Rencana Anggaran Biaya).
   f. Mutu baja menggunakan BJ41, dengan fy 250 MPa dan fu 410 MPa.
   g. Desain kapasitas yang direncanakan hanya terbatas pada balok, kolom, *link* dan bresing sesuai dengan aturan dan ketentuan yang berlaku.
4. Batasan-batasan pada analisis penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut.
   a. Membandingkan periode natural.
   b. Membandingkan kekakuan.
   c. Membandingkan simpangan antar lantai.
   d. Membandingkan *displacement*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)

Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) merupakan jenis sistem struktur dengan elemen bresing yang tidak bertemu pada suatu titik temu. Hal ini disebabkan oleh adanya elemen penghubung yang disebut dengan *link*. SRBE merupakan hasil dari penggabungan antara Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan Sistem Rangka Bresing Kosentris (SRBK). Penggabungan antara kedua sistem ini menghasilkan karakteristik daktilitas yang baik seperti SRPM dan kekakuan elastis yang baik seperti SRBK pada SRBE. Bagian-bagian dari bresing eksentrik dan perilakunya terhadap gaya lateral dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.1 Bresing SRBE *Type-V* (a) dan *Split-K* (b) dan Bagian-Bagiannya
(AISC 341-10, 2010)

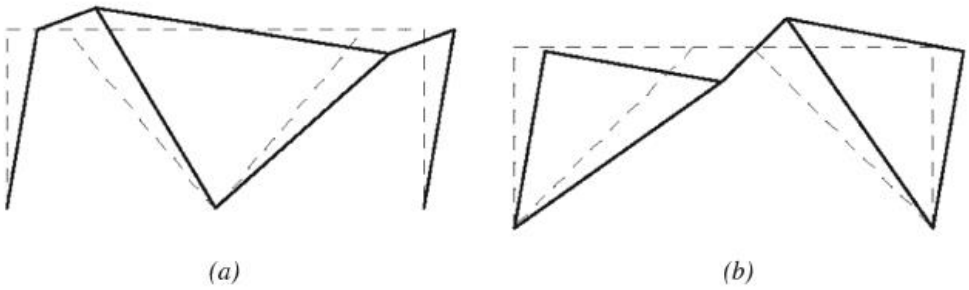
Keterangan:

a : *Link*

b : Balok di luar *link*

c : Bresing diagonal

d : Kolom



Gambar 2.2 Perilaku Bresing SRBE *Type-V* (a) dan *Split-K* (b) Terhadap Gaya Lateral
(AISC 341-10, 2010)

Pada SRBE, bagian selain *link* direncanakan sedemikian rupa agar tidak mengalami perilaku inelastis. Hal ini disebabkan oleh *link* yang harus direncanakan sebagai elemen terlemah dalam SRBE sehingga *link* harus lebih lemah dari balok, kolom, dan bresing. Menurut AISC 341-10, *link* merupakan *protected zone* atau daerah terproteksi dimana pada daerah ini tidak diperbolahkan adanya gangguan berupa baut, *shot pins* atau lubang pada daerah sayap.

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa (Elvarando, 2020)

Pada penelitian ini digunakan pemodelan struktur berupa bangunan struktur baja dengan jumlah lantai sebanyak 10 lantai. Konfigurasi SRBE yang digunakan adalah *D-Shape* dan *Split-K*. Posisi konfigurasi yang digunakan adalah posisi dalam (*core*) dan posisi luar (*facade*). Bangunan bersifat non-eksisting, berlokasi di Yogyakarta dan diasumsikan berdiri pada lokasi dengan jenis tanah sedang. Analisa yang dilakukan berfokus pada pengaruh konfigurasi dan posisi terhadap sejumlah parameter penelitian, yakni periode natural, eksentrisitas arah x dan y, kekakuan, *displacement* dan simpangan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi bresing SRBE *Split-K* berfungsi lebih baik daripada *D-shape* baik dalam posisi dalam (*core*) maupun posisi luar (*facade*). Selain itu, berdasarkan parameter penelitian yang diamati didapatkan bahwa posisi bresing pada luar bangunan (*facade*) bekerja lebih baik daripada posisi dalam bangunan (*core*). Hal ini berlaku baik pada konfigurasi *D-Shape* maupun *Split-K*.

2.2.2 Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa Sistem Rangka Berpengaku Eksentrik Konfigurasi *Split-K* Dengan Ketidakberaturan Horizontal (Puspitasari, 2014)

Pada penelitian ini digunakan pemodelan struktur berupa bangunan struktur baja dengan jumlah lantai sebanyak 13 lantai. Bangunan memiliki ketidakberaturan horizontal dan memiliki geometri ketidakberaturan sudut dalam. Konfigurasi SRBE yang digunakan adalah *Split-K* dengan variasi jumlah *2-bay* dan *4-bay*. Posisi konfigurasi yang digunakan adalah pada bagian luar bangunan (*facade*). Konfigurasi SRBE juga akan dibandingkan dengan konfigurasi SRBK dan SRBTT. Analisa difokuskan pada pengaruh konfigurasi terhadap periode struktur, MMPF, perpindahan struktur dan kinerja struktur.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa struktur dengan konfigurasi SRBE *Split-K 4-bay* bekerja lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Split-K 2-bay*. Struktur dengan konfigurasi *4-bay* juga menghasilkan berat struktur yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi *4-bay* lebih efektif dalam menahan gaya gempa karena jumlah bresing yang lebih banyak.

Selain itu, dibandingkan dengan SRBK dan SRBTT, pada penelitian ini SRBE baik dalam konfigurasi *4-bay* maupun *2-bay* memiliki kekakuan yang paling tinggi. Hal ini didapat dari hasil perbandingan periode dan perpindahan struktur yang lebih kecil, dengan berat struktur yang lebih besar. Hal ini juga terjadi karena konfigurasi SRBE memiliki profil bresing yang lebih besar dibandingkan SRBK dan SRBTT.

2.2.3 Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentrik Tipe V dan Y Terbalik pada Bangunan 12 dan 18 Lantai (Prasetyo, Prayudha, Tanojo, Santoso, 2019)

Pada penelitian ini digunakan pemodelan struktur berupa bangunan struktur baja dengan ketinggian yang berbeda. Yakni 12 lantai (48 m) dan 18 lantai (72 m). Bangunan memiliki geometri simetris persegi dengan 3 bentang. Konfigurasi SRBE yang digunakan adalah *Type-V* dan *Inverted-Y*. Analisa berfokus pada *base shear*, persentase distribusi gaya lateral, *displacement* dan *drift ratio* yang diialami model bangunan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi SRBE *Type-V* memiliki *base shear* dan persentase distribusi gaya lateral yang lebih besar daripada *inverted-Y*. Selain itu, *Type-V* juga memiliki nilai *drift ratio* dan *displacement* yang lebih kecil daripada *inverted-Y* baik pada bangunan 12 lantai maupun 18 lantai. Tingkat kerusakan sendi plastis yang dialami *Type-V* juga lebih rendah dibanding *inverted-Y*. Namun, *drift ratio* pada kedua konfigurasi kurang baik karena telah melewati batas *collapse prevention*. Secara umum dapat disimpulkan bahwa kinerja SRBE *Type-V* lebih baik daripada *inverted-Y*.

2.2.4 Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur yang Mengalami Beban Gempa (Sunaryati, Kurniawan, Putra, 2009)

Struktur memiliki bentuk geometri yang beragam, namun beberapa bentuk geometri tersebut dapat menimbulkan pusat rotasi yang tidak berimpit dengan dengan pusat massa struktur tersebut. Hal ini menimbulkan momen puntir atau torsi yang berakhir dengan adanya eksentrisitas *e* terhadap pusat massa dan pusat rotasi. Pemodelan untuk pengujian ini menggunakan 3 bentuk geometri bangunan dengan bentuk dasar huruf "C" dengan kedalaman potongan cekungan huruf "C" yang berbeda. Dimana pada bentuk ini pusat massa dan rotasi tidak berada pada titik yang sama. Analisis dilakukan dengan metode analisis 3 dimensi dimana analisis memperhitungkan beban statis dan dinamis.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa struktur berbentuk huruf "C" dengan cekungan terkecil atau eksentrisitas terkecil menghasilkan periode natural struktur terkecil dengan selisih maksimum sebesar ± 18%, gaya dalam terkecil dengan selisih maksimum sebesar ± 21%, dan lendutan terkecil dengan selisih maksimum sebesar ± 15%.

2.2.5 Studi Perilaku Struktur *Eccentrically Braced Frame* (EBF) Akibat Beban Gempa dan Beban Siklik (Suswanto, Amalia, Isdarmanu, Aulia, 2018)

Penelitian ini berfokus pada balok *link* bresing EBF, dimana ada 3 kriteria atau variasi panjang balok *link* EBF, yakni *short link* (EBF-S), *intermediate link* (EBF-I), dan *long link* (EBF-L). Kriteria ini ditentukan berdasarkan normalisasi panjang *link* dengan rasio antara kapasitas momen plastis (M_p) dan kapasitas geser

plastis (V_p). Konfigurasi bresing EBF yang digunakan adalah *Split-K*. Pemodelan struktur berupa bangunan struktur baja 10 lantai, berbentuk geometri simetris persegi bentang 3 dan bresing diletakkan pada bentang tengah tiap sisi model. Proses analisis secara umum dibantu dengan *software* ETABS, sedangkan analisis secara mikro dibantu dengan *software* ABAQUS.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model gedung EBF-S menunjukkan nilai simpangan paling kecil dan menghasilkan gaya geser dasar ultimate paling besar jika dibandingkan dengan EBF-I dan EBF-L. Hal ini menunjukkan bahwa EBF-S memiliki kekakuan struktur yang paling besar, selain itu EBF-S memiliki luas bidang tegangan-regangan paling besar. Ini menunjukkan bahwa EBF-S tidak hanya memiliki kekakuan struktur paling besar, tetapi juga memiliki daktilitas dan kemampuan disipasi energi yang paling baik.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti lebih lanjut variasi dari konfigurasi bresing SRBE pada bentuk bangunan yang berbeda pula. Penelitian dilakukan pada model bangunan struktur baja dengan jumlah 10 lantai imajiner yang berada di Yogyakarta. Penelitian ini terinspirasi dari penelitian yang dilakukan oleh Elvarando (2020) dengan perbedaan pada geometri bangunan, tipe bresing dan konfigurasi bresing yang seluruhnya ditetapkan sendiri oleh penulis. Pada akhir penelitian ini diharapkan akan mampu memberi gambaran terkait perbedaan perilaku dari sejumlah konfigurasi dan posisi bresing eksentrik yang dapat dijadikan pertimbangan dalam penempatan bresing pada struktur gedung baja.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini

Peneliti	**Sunaryati, dkk. (2009)**	**Puspitasari (2014)**	**Suswanto, dkk. (2018)**	**Prasetyo, dkk. (2019)**	**Elvarando (2020)**	**Penelitian Ini**
Judul	Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur yang Mengalami Beban Gempa	Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa Sistem Rangka Berpengaku Eksentrik Konfigurasi *Split-K* Dengan Ketidakberaturan Horizontal	Studi Perilaku Struktur *Eccentrically Braced Frame* (EBF) Akibat Beban Gempa dan Beban Siklik	Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentris Tipe V dan Y Terbalik pada Bangunan 12 dan 18 Lantai	Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa	Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Bresing Eksentris *Type-V* dan *Split-K* Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa
Objek Penelitian	Gedung struktur beton 7 lantai tidak beraturan (*C-shape*)	Gedung struktur baja 13 lantai tidak beraturan	Gedung struktur baja 10 lantai beraturan dengan 3 bentang	Gedung struktur baja 12 dan 18 lantai beraturan dengan 3 bentang	Gedung struktur baja 10 lantai tidak beraturan	Gedung struktur baja 10 lantai tidak beraturan
Metode Penelitian	Membandingkan kinerja gedung dengan bentuk eksentrisitas yang berbeda	Membandingkan kinerja bresing SRBE tipe *Split-K*, dengan variasi jumlah 2-bay dan 4-bay	Membandingkan kinerja bresing SRBE tipe *Split-K*, dengan variasi panjang *link* yang berbeda	Membandingkan kinerja 2 tipe bresing SRBE, tipe V dan Y terbalik, dengan variasi tinggi gedung yang berbeda	Membandingkan kinerja 2 tipe bresing SRBE, *D-shape* dan *Split-K*, pada posisi dalam (core) dan luar (façade) bangunan	Membandingkan kinerja 2 tipe bresing SRBE, *Type-V* dan *Split-K*, dengan variasi posisi bersebelahan (*neighbor*) dan berseling (*alternate*)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini

Peneliti	Sunaryati, dkk. (2009)	Puspitasari (2014)	Suswanto, dkk. (2018)	Prasetyo, dkk. (2019)	Elvarando (2020)	Penelitian Ini
Aspek Penelitian	Periode natural, gaya dalam, lendutan	Periode struktur, MMPF, perpindahan struktur dan kinerja struktur	Analisis pushover, simpangan lateral, luas tegangan-regangan	*Base shear*, persentase distribusi gaya lateral, *displacement* dan *drift ratio*	Periode natural, eksentrisitas arah x dan y, kekakuan, *displacement*, dan simpangan	Periode natural, kekakuan, *displacement*, simpangan antar lantai, P-Delta.
Hasil Penelitian	Semakin tinggi nilai eksentrisitas, semakin tinggi pula nilai periode natural, gaya dalam, dan lendutan.	Konfigurasi SRBE *Split-K* 4-bay bekerja lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Split-K* 2-Bay. Dibandingkan dengan SRBK dan SRBTT, pada penelitian ini SRBE baik dalam konfigurasi 4-bay maupun 2-bay memiliki kekakuan yang paling tinggi.	Konfigurasi SRBE *Split-K* dengan *link* pendek (EBF-S) memiliki daktilitas dan disipasi energi paling baik.	SRBE *Type-V* bekerja lebih baik pada bangunan 12 lantai dan 18 lantai.	Konfigurasi bresing SRBE *Split-K* berfungsi lebih baik daripada *D-shape* baik dalam posisi dalam (core) maupun posisi luar (facade). Posisi bresing pada luar bangunan (facade) bekerja lebih baik daripada posisi dalam bangunan (core). Hal ini berlaku baik pada konfigurasi *D-Shape* maupun *Split-K*.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)

Konsep LRFD merupakan konsep yang digunakan dalam spesifikasi AISC (*American Institute of Steel Construction*). Dalam penerapannya, LRFD memperhitungkan kondisi batas, yakni suatu kondisi batas maksimum yang dapat diberikan suatu penampang yang berada di luar batas elastis (inelastis). Pada LRFD, tegangan ultima baja atau F_u ikut diperhitungkan dalam analisis. Adapun persyaratan keamanan struktur terdapat pada persamaan (3.1) berikut.

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \tag{3.1}$$

Dimana :

$\sum$ = penjumlahan

i = kondisi yang ditinjau

Q_i = pengaruh beban nominal

γ_i = faktor beban terkait beban Qi yang ditinjau

$Q_i\gamma_i$ = kekuatan perlu dari kondisi paling ekstrim

R_n = kekuatan nominal yang dihasilkan elemen

ϕ = faktor tahanan sesuai jenis struktur

ϕR_n = kekuatan rencana

Bagian kiri persamaan merupakan beban yang harus dipikul oleh struktur Q_i yang harus dikalikan dengan faktor beban γ_i. Sedangkan bagian kanan merupakan tahanan atau kekuatan rencana dari struktur yang diperoleh dengan mengalikan kuat nominal R_n dengan suatu faktor reduksi ϕ. Secara sederhana, dapat disimpulkan bahwa konsep LRFD merupakan perbandingan antara pengaruh beban terfaktor dengan kekuatan elemen struktur yang dapat dihasilkan.

3.2 Desain Stabilitas Struktur

3.2.1 Dasar Desain

Dasar desain harus dirancang berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT) atau Desain Kekuatan Izin (DKI). Maka, desain dirancang berdasarkan persamaan 3.1 di mana R_u pada persamaan 3.2 adalah kekuatan perlu yang didapatkan dari kombinasi beban DFBT pada persamaan 3.1 bagian kiri.

$$R_u \leq \phi R_n \tag{3.2}$$

Dimana :

R_u = kekuatan perlu, berdasarkan kombinasi beban DFBT

R_n = kekuatan nominal yang dihasilkan elemen

ϕ = faktor tahanan sesuai jenis struktur

ϕR_n = kekuatan rencana

3.2.2 Klasifikasi Penampang Tekuk Lokal

Untuk menentukan jenis elemen yang digunakan, maka dilakukan pengecekan klasifikasi dengan membandingkan tebal-terhadap-lebar dari penampang elemen dengan suatu batasan rasio tebal-terhadap-lebar yang telah ditetapkan berdasarkan SNI 1729:2020. Hal ini dilakukan pada kondisi lentur maupun kondisi tekan.

Adapun klasifikasi pada kondisi lentur terdiri dari elemen kompak, non-kompak , dan langsing. Sedangkan klasifikasi pada kondisi tekan terdiri dari elemen non-langsing dan elemen langsing.

1. Kondisi Lentur

   Penampang profil IWF pada kondisi lentur pada penelitian ini direncanakan termasuk dalam elemen kompak, sehingga syarat yang digunakan adalah $\lambda_p \leq \lambda_r$. Batasan rasio yang digunakan pada kondisi lentur adalah sebagai berikut.

   a. Sayap (*Flange*)

$$b/_t \leq 0{,}38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.3}$$

b. Badan (*Web*)

$$b/t_w \leq 3{,}76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.4}$$

2. Kondisi Tekan

Penampang profil IWF pada kondisi lentur pada penelitian ini direncanakan termasuk dalam elemen langsing, sehingga syarat yang digunakan adalah $\lambda_p \leq \lambda_r$. Batasan rasio yang diggunakan pada kondisi tekan adalah sebagai berikut.

a. Sayap (*Flange*)

$$b/t \leq 0{,}56\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.5}$$

b. Badan (*Web*)

$$b/t_w \leq 1{,}49\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.6}$$

3.2.3 Persyaratan Stabilitas Umum

Berdasarkan SNI 1729:2020, efek terhadap stabilitas struktur dan elemen-elemennya harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut.

1. Deformasi lentur, geser dan deformasi komponen struktur aksial, dan semua deformasi lainnya yang memberi kontribusi terhadap perpindahan struktur
2. Efek orde-kedua (efek *P*-Δ dan efek *P*-δ).
3. Ketidaksempurnaan geometri.
4. Reduksi kekakuan akibat inelastisitas.
5. Ketidakpastian dalam kekakuan dan kekuatan.

Semua efek yang bergantung beban harus dihitung di level pembebanan sesuai dengan kombinasi beban DFBT atau 1,6 kali kombinasi beban DKI. Terdapat 2 metode desain yang diperbolehkan untuk digunakan, yakni metode analisis langsung dan metode alternatif desain.

3.2.4 Metode Analisis Langsung

Adapun pada metode analisis langsung, kekuatan perlu pada komponen struktur harus ditentukan berdasarkan analisis sesuai dengan SNI 1729:2020 menurut pasal C2.1, pertimbangan kedidaksempurnaan awal menurut pasal C2.2 dan kekakuan yang yang disetujui menurut pasal C2.3.

1. Persyaratan Analisis Umum

   Analisis dilakukan sesuai dengan persyaratan berikut:

   a. Memperhitungkan deformasi lentur, geser dan aksial dari komponen struktur, dan deformasi dari semua komponen lainnya serta deformasi sambungan yang memberi kontribusi pada perpindahan struktur.
   b. Menggunakan analisis orde-kedua yang memperhitungkan efek efek P-Δ dan efek P-δ.
   c. Analisis harus mempertimbangkan semua beban gravitasi dan beban-beban lainnya yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur.
   d. Untuk desain dengan DFBT, analisis orde-kedua harus menggunakan kombinasi beban terfaktor DFBT. Untuk desain dengan ASD, analisis orde-kedua harus menggunakan 1,6 kali beban kombinasi DKI, dan hasilnya harus dibagi dengan angka 1,6 untuk memperoleh kekuatan perlu dari komponen.

2. Pertimbangan Ketidaksempurnaan Awal

   Efek dari ketidaksempurnaan awal pada struktur dapat diperhitungkan dengan 2 metode, yakni pemodelan langsung dari ketidaksempurnaan atau melalui penggunaan beban notional. Penelitian ini menggunakan beban notional sebagai pertimbangan ketidaksempurnaan awal dari struktur. Adapun persyaratan penggunaan beban notional adalah sebagai berikut.

   a. Beban notional harus digunakan sebagai beban lateral pada semua level. Beban notional harus ditambahkan ke beban lateral lainnya dan harus digunakan pada semua kombinasi beban.
   b. Beban notional di setiap level, harus didistribusikan di atas level itu dengan cara yang sama seperti beban gravitasi di level tersebut. Beban notional harus digunakan pada arah yang memberi efek destabilisasi terbesar.

c. Koefisien beban notional sebesar 0,002 yang diperoleh berdasarkan suatu rasio kemiringan tingkat sebesar 1/500. Nilai maksimum yang berbeda boleh digunakan untuk menaksir koefisien beban notional secara proporsional.

d. Untuk struktur dimana rasio dari simpangan orde-kedua masimum terhadap simpangan orde-pertama maksimum pada semua tingkat adalah sama dengan atau kurang dari 1,7, diizinkan untuk menggunakan beban notional, hanya dalam kombinasi beban gravitasi saja dan bukan dalam kombinasi yang memasukkan beban-beban lateral lainnya.

3. Penyesuaian Terhadap Kekakuan

Pada analisis struktur untuk menentukan kekuatan perlu dari komponen harus menggunakan kekakuan yang diresuksi sebagai berikut.

a. Menggunakan faktor 0,80 pada semua kekakuan yang berkontribusi terhadap stabilitas struktur.

b. Faktor penambah (τ_b) digunakan pada kekakuan lentur dari semua komponen struktur diman kekuatan lenturnya berkontribusi terhadap stabilitas struktur sebagai berikut.

1) Apabila $\alpha P_r/P_y \leq 0{,}5$

$$\tau_b = 1{,}0 \tag{3.7}$$

2) Apabila $\alpha P_r/P_y > 0{,}5$

$$\tau_b = 4(\alpha P_r P_y)[(1 - \alpha P_r P_y)] \tag{3.8}$$

Dalam melakukan desain stabilitas struktur ini digunakan bantuan *software* SAP2000 mengikuti perhitungan persyaratan yang telah ditentukan sebelumnya, yakni metode analisis langsung.

3.3 Material yang Digunakan

3.3.1 Spesifikasi Material

Mengacu pada AISC/ANSI 341-22, tegangan leleh minimum atau F_y tidak boleh melebihi 50 ksi (345 MPa). Apabila mutu baja lebih besar dari 345 MPa, maka baja dianggap terlalu getas untuk digunakan sebagai elemen struktur baja tahan gempa.

3.3.2 Kekuatan Material Ekspektasi

Kekuatan nominal (R_n) yang didesain untuk kondisi batas pada elemen *link* diperbolehkan untuk dihitung berdasarkan tegangan leleh (F_y). Sedangkan untuk elemen lain seperti bresing, balok *link* dan kolom *link*, harus menggunakan leleh ekspektasi (R_yF_y) dan kuat tarik ekspektasi (R_tF_u). Didapatkan dari Tabel A3.1 (R_y *and* R_t *Values for Steel and Steel Reinforcement Materials*) dalam AISC/ANSI 341-22, Nilai R_y = 1,3 dan R_t = 1,1 untuk mutu baja BJ 41 dengan F_y = 250 MPa.

Berdasarkan persyaratan material baja dalam AISC/ANSI 360-22, material baja menggunakan sejumlah sifat mekanis sebagai berikut.

1. Modulus elastisitas baja (E) = 200.000 MPa
2. Modulus geser (G) = 77.200 MPa
3. Poisson ratio (ν) = 0,3
4. Koefisien muai panjang (α) = 1,4 x 10^{-5} / °C

Klasifikasi baja menurut SNI 03-1729-2002 dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi 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 Pembebanan

Adapun pada pemodelan penelitian ini menggunakan 4 jenis beban, yakni beban hidup, beban mati, beban notional, dan beban gempa.

3.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang. Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan dan Gedung tahun 1987, sejumlah contoh beban mati dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Beban Mati

Material	Berat	Keterangan
Bahan Bangunan		
Baja	7850	kg/m^3
Beton bertulang	2400	kg/m^3
Pasir	1800	kg/m^3
Mortar atau spesi 1 cm	2200	kg/m^3
Komponen gedung		
Keramik / cm tebal	24	kg/m^3
Bata ringan, setengah bata	60	kg/m^3
Adukan semen / cm	21	kg/m^3
Langit-langit setebal 4 mm	11	kg/m^3
Penutup atap (reng dan usuk)	50	kg/m^3
Ducting mekanikal	20	kg/m^3
Floordeck FD 600	10,1	kg/m^3
Penutup Atap	50	kg/m^3
Sag rod (dia. 10 mm)	6	kg/m^3

3.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yang direncanakan ditetapkan berdasarkan peraturan SNI 1727:2020. Adapun contoh beban hidup dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Beban Hidup Merata dan Terpusat

Hunian Atau Penggunaan	Merata, psf (kN/m^2)	Terpusat, lb (kN)
Sistem lantai akses		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang computer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	100 (4,79)	
Koridor	100 (4,79)	

3.4.3 Beban *Notional*

Beban *notional* merupakan beban bersifat lateral virtual yang diterapkan pada portal untuk menyimulasikan efek ketidaksempurnaan geometri suatu struktur. Beban notional diterapkan sesuai dengan AISC/ANSI 360-22 *Section* C2.2b. Dengan persamaan sebagai berikut.

$$N_i = 0{,}002\ \alpha Y_i \tag{3.9}$$

Dengan :

$$\alpha = 1{,}0 \tag{3.10}$$

Keterangan :

N_i = beban notional yang diterapkan pada level i

Y_i = beban gravitasi yang diterapkan pada level i

3.4.4 Beban Gempa

Pembebanan gempa pada penelitian ini menggunakan peraturan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Dengan tahapan perhitungan sebagai berikut.

1. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

   Untuk kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat secara berurutan pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 Sebagai berikut.

Tabel 3.4 Kategori Risiko untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Katergori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV.	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.	III
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan.	

Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung

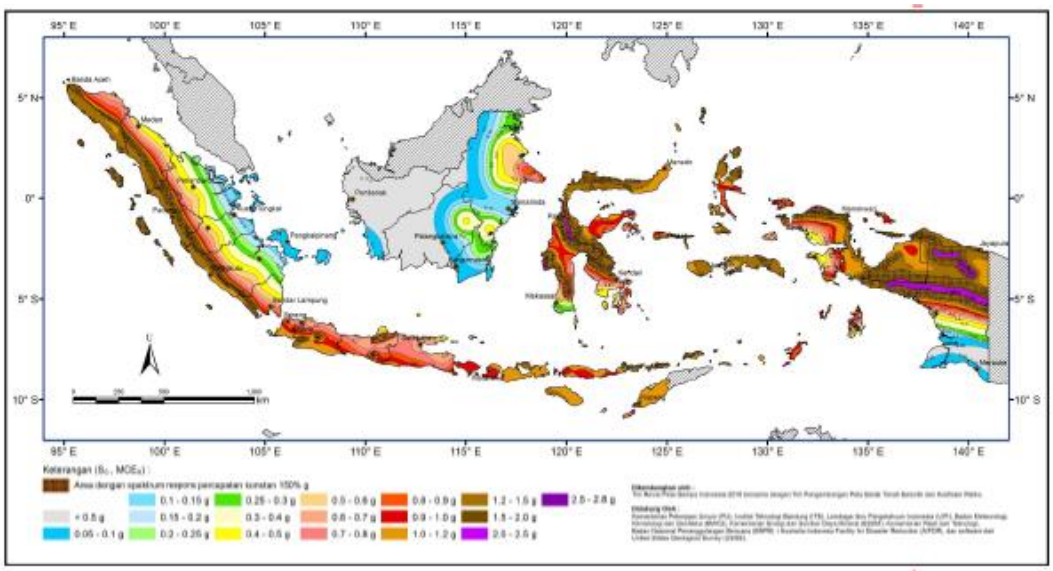
Jenis Pemanfaatan	Katergori Risiko
Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting.	IV
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa

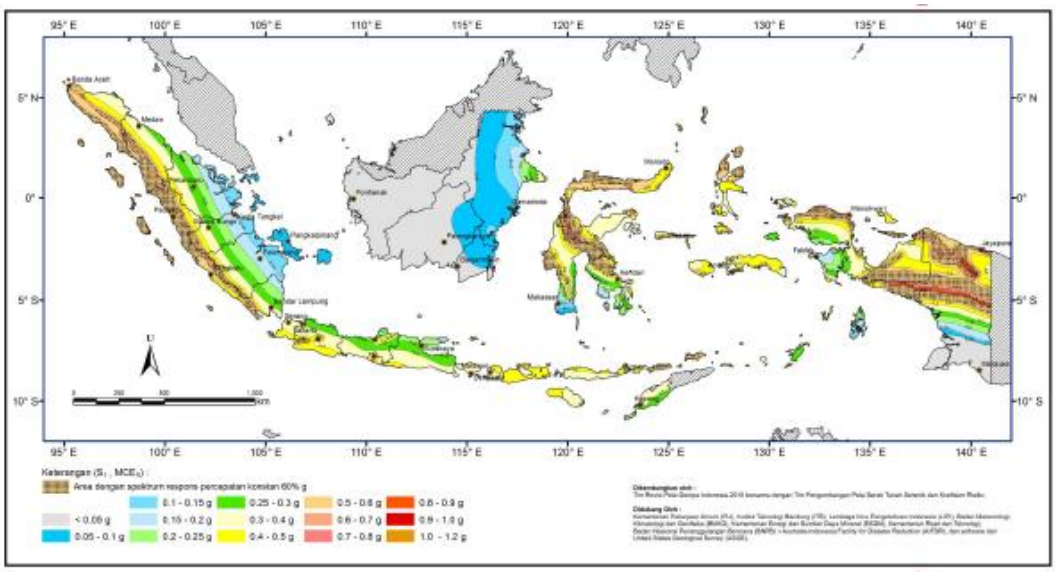
Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

2. Parameter Percepatan Tanah

Nilai parameter percepatan tanah dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 secara berurutan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.1 Peta Nilai S_S



Gambar 3.2 Peta Nilai S_1

3. Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget (MCE)

   Percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

   $$S_{MS} = F_a \text{ x } S_S \qquad (3.10)$$

   $$S_{M1} = F_v \text{ x } S_1 \qquad (3.11)$$

Keterangan :

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode 1 detik

Nilai F_a dan F_v dapat diperoleh dari interpolasi linear pada Tabel 3.6 dan 3.7 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa terpetakan pada periode pendek, T=0,2				
	Ss≤0,25	Ss=0,5	Ss=0,75	Ss=1,0	Ss=1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS				

Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa terpetakan pada periode pendek, T=0,2				
	Ss≤0,1	Ss=0,2	Ss=0,3	Ss=0,4	Ss=0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS				

4. Parameter Percepatan Desain

   Parameter percepatan desain periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{3.12}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \tag{3.13}$$

5. Spektrum Respon Desain

Variabel yang harus ditentukan adalah T_0 dan T_S sebagai berikut.

$$T_0 = 0{,}2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.14}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.15}$$

Ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut.

a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0, spektrum respons percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right) \tag{3.16}$$

b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan S_T, spektrum respons percepatan desain, S_a, sama dengan S_{DS}.

c. Untuk periode lebih besar dari T_S, spektrum respons percepatan desain, S_a, diambil berdasarkan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{3.17}$$

Dengan:

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

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

T = periode getar fundamental struktur

6. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dapat ditentukan berdasarkan perbandingan parameter percepatan desain dan kategori risiko yang dapat dilihat berurutan pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S_{DS}<0,87	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 3.9 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik

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

7. Modifikasi Respons (*R*), Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)

Nilai-nilai tersebut dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Faktor *R*, C_d dan Ω_0 Pada Sistem Rangka Baja

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R[a]	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0[g]	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d[b]	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)[c]				
					B	C	D[d]	E[d]	F[e]
1	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30

Lanjutan Tabel 3.10 Faktor *R*, C_d dan Ω_0 Pada Sistem Rangka Baja

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R[a]	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0[g]	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d[b]	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)[c]				
					B	C	D[d]	E[d]	F[e]
2	Rangka baja dengan bresing kosentrik khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3	Rangka baja dengan bresing kosentrik biasa	3,25	2	3,25	TB	TB	10	10	TI
4	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

8. Prosedur Gaya Ekuivalen Lateral

   a. Geser dasar seismik

      Geser dasar seismik dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V = C_S W \tag{3.18}$$

      Dengan :

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.19}$$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{\left(T \frac{R}{I_e}\right)} \tag{3.20}$$

$$C_S = 0{,}044 S_{DS} I_e \geq 0{,}01 \tag{3.21}$$

$$C_S = \frac{0{,}5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.22)$$

Keterangan :

V = geser dasar seismik (kN)

C_S = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif (kN)

Untuk $T \leq T_L$, C_S menggunakan persamaan 3.19. Untuk $T > T_L$, Cs menggunakan persamaan 3.20. C_S harus tidak kurang dari persamaan 3.21. Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, C_S harus tidak kurang dari persamaan 3.22.

b. Penentuan periode

Periode dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.23)$$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur (m)

C_t dan x dapat ditetapkan berdasarkan Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Rangka baja pemikul momen	0,0724[a]	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466[a]	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentrik	0,0731[a]	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap teknik	0,0731[a]	0,75
Sistem struktur lainnya	0,0488[a]	0,75

Apabila bangunan lebih dari 12 lantai, T_a dapat menggunakan persamaan berikut.

$$T_a = 0{,}1N \quad (3.24)$$

c. Distribusi vertikal gaya gempa

Gaya gempa lateral (F_x) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.25)$$

Dengan :

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \quad (3.26)$$

Dimana :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral (kN)

w_i dan w_x = berat seismik pada tingkat i dan x

h_i dan h_x = tingi dari dasar hingga tingkat i dan x

k = eksponen terkait periode struktur

d. Distribusi horizontal gaya gempa

Gaya geser tingkat gempa pada semua tingkat (V_x) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V_x = \sum_{i=x}^{n} F_i \quad (3.27)$$

Dengan F_i merupakan bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i (kN).

3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dasar yang digunakan mengikuti aturan SNI 1726:2019 pasal 4.2.2. Seluruh bagian struktur harus dirancang sedemikian rupa agar kekuatan desain yang dihasilkan sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi-kombinasi berikut:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2D + 1,6 (L_r atau R) + (L atau 0,5 W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r atau R)
5. 0,9D + 1,0W
6. 1,2D + E_v + E_h + L
7. 0,9D – E_v + E_h

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup pekerja pada atap

R = beban hujan

W = beban angin

N = beban notional

E = beban statik ekuivalen

3.5.1 Pengaruh Beban Seismik

Pengaruh beban gempa diatur dalam pasal 7.4.2 dalam SNI 1726:2019 Dimana beban E dalam kombinasi 6 harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E = E_h + E_v \quad (3.28)$$

Sedangkan beban E dalam kombinasi 7 harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E = E_h - E_v \quad (3.29)$$

Adapun E_h merupakan pengaruh beban gempa horizontal yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.30)$$

Keterangan :

ρ = faktor redudansi

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p

Sedangkan Ev merupakan pengaruh beban gempa vertikal yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E_v = 0{,}2 S_{DS} D \quad (3.31)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon

D = pengaruh beban mati

3.5.2 Pengaruh Beban Gempa Termasuk Faktor Kuat Lebih

Pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat lebih diatur dalam pasal 7.4.3 dengan E dalam kombinasi 5 harus diambil sama dengan E_m seperti pada persamaan berikut.

$$E_m = E_{mh} + E_v \quad (3.32)$$

Sedangkan E dalam kombinasi 7 harus diambil sama dengan E_m seperti pada persamaan berikut.

$$E_m = E_{mh} - E_v \quad (3.33)$$

Keterangan:

E_m = pengaruh beban gempa

E_{mh} = pengaruh beban gempa horizontal termasuk kuat lebih struktur

E_v = pengaruh beban gempa vertikal

Sedangkan E_{mh} merupakan pengaruh beban gempa horizontal dengan faktor kuat lebih yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E_{mh} = \Omega_0 Q_E \quad (3.34)$$

Keterangan :

Ω_0 = faktor kuat lebih

Q_e = pengaruh beban gempa horisontal dari V, F_{px} atau F_p

3.6 Pengecekan Awal

3.6.1 Partisipasi Massa

Berdasarkan pasal 7.9.1 tentang Jumlah Ragam dalam SNI 1726:2019, partisipasi massa ragam yang terkombinasi sebesar minimal 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dan respons yang ditinjau oleh model.

3.6.2 Skala Gaya

Berdasarkan pasal 7.9.4.1 tentang Penskalaan Gaya dalam SNI 1726:2019, apabila periode fundamental yang dihitung melebihi C_uT_a, maka C_uT_a harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 100 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan V/V_t.

3.6.3 Ketidakberaturan Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan bangunan terbagi menjadi ketidakberaturan horizontal dan vertikal dengan pembagian lebih rinci yang dapat dilihat secara berurutan pada Tabel 3.12 dan Tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.12 Ketidakberaturan Horizontal

No	Jenis Ketidakberaturan	Keterangan
1a	Ketidakberaturan Torsi	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasalpasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.
1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.
2	Ketidakberaturan Sudut Dalam	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.

Lanjutan Tabel 3.12 Ketidakberaturan Horizontal

No	Jenis Ketidakberaturan	Keterangan
3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.
4	Ketidakberaturan Pergeseran Melintang	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.
5	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefninisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.

Tabel 3.13 Ketidakberaturan Vertikal

No	Jenis Ketidakberaturan	Keterangan
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
2	Ketidakberaturan Berat (Massa)	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.

Lanjutan Tabel 3.13 Ketidakberaturan Vertikal

No	Jenis Ketidakberaturan	Keterangan
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.
5b	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

3.6.4 Pengecekan Beban Notional Asumsi

Penggunaan beban notional diizinkan apabila memenuhi persyaratan umum dalam SNI 1729:2019, yakni rasio antara simpangan orde kedua maksimum dan simpangan orde pertama maksimum dengan kekakuan yang disetujui dalam semua tingkat sama dengan atau kurang dari 1,7.

$$\frac{\Delta 2nd\ order_{max}}{\Delta 1s\ order_{max}} \leq 1{,}7 \tag{3.35}$$

3.6.5 Pengecekan *P*-Δ

Berdasarkan pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, pengaruh *P-delta* pada gaya elemen struktur, momen elemen struktur, dan simpangan amtar lantai tidak diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) bernilai sama dengan atau kurang dari 0,10 pada persamaan berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \leq 0{,}10 \quad (3.36)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x (kN)

Δ = simpangan antar lantai tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

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

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi

Dan stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta C_d} \leq 0{,}25 \quad (3.37)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x - 1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max}, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh *P-delta* pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diijinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan 1,0/(1 – θ). Jika θ lebih besar dari θ_{max}, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

3.7 Perencanaan Struktur

Perencanaan struktur secara berurutan dimulai dari desain pelat, desain elemen tekan, desain elemen lentur, desain elemen geser, desain elemen kombinasi tekan dan lentur. Selain pelat yang memang ditetapkan secara langsung, perencanaan elemen lainnya dilakukan berdasarkan AISC/ANSI 360-22.

3.7.1 Pelat

Pemodelan pelat pada penelitian ini hanya dijadikan sebagai beban pada SAP2000. Pelat diasumsikan sebagai pelat beton dengan ketebalan 150 mm, dengan acuan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Elvarando (2020) tanpa perencanaan lebih lanjut.

3.7.2 Desain Elemen Tekan

Desain elemen tekan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan AISC/ANSI 360-22, *chapter* E tentang *Design of Members for Compression*. Dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

1. Ketetntuan Umum

   Kuat tekan nominal (P_n) ditentukan berdasarkan nilai terendah yang didapatkan dari batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk lentur-torsi. Penampang IWF yang digunakan pada penelitian ini hanya memiliki batas tekuk lentur dan tekuk torsi. Adapun faktor reduksi untuk metode LRFD adalah sebagai berikut.

   $$\phi_c = 0{,}90 \tag{3.38}$$

2. Panjang Efektif

   Faktor panjang efektif (*K*) untuk perhitungan kelangsingan (*KL/r*) diambil sebesar 1. Dengan *L* sebagai panjang tak berpengaku dan *r* sebagai sudut girasi.

3. Kuat Tekan Nominal

   Penampang elemen tekan yang digunakan pada penelitian ini adalah penampang IWF tanpa elemen langsing dengan batasan-batasan yang diatur dalam pasal E3 dan pasal E4 AISC/ANSI 360-22 sebagai berikut.

   a. Tekuk lentur

      $$P_n = F_{cr} A_g \tag{3.39}$$

      Dengan ketentuan F_{cr} sebagai berikut.

      $$Jika\ \frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}}\ atau\ \frac{F_y}{F_e} \leq 2{,}25 \tag{3.40}$$

      $$Maka, F_{cr} = \left[0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \tag{3.41}$$

      Dan,

      $$Jika\ \frac{KL}{r} > 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}}\ atau\ \frac{F_y}{F_e} > 2{,}25 \tag{3.41}$$

      $$Maka, F_{cr} = 0{,}877 F_e \tag{3.42}$$

      Dengan $F_{e,}$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (3.43)$$

b. Tekuk torsi

Batas tekuk torsi memiliki persamaan yang sama dengan batas tekuk lentur, kecuali F_e. F_e menggunakan persamaan yang berbeda untuk penampang dengan simetris ganda seperti IWF sebagai berikut.

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.44)$$

Dengan :

G = modulus elastis geser baja sesuai AISC sebesar 77200 MPa

I_x, I_y = momen inersia sumbu x dan y (mm^4)

K_z = faktor panjang tekuk efektif

J = konstanta torsi (mm^4)

C_w = konstanta lengkung (mm^6)

3.7.3 Desain Elemen Lentur

Desain elemen tekan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan AISC/ANSI 360-22, *chapter* F tentang *Design of Members for Flexure*. Dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

1. Ketentuan Umum

Kuat lentur nominal (M_n) ditentukan berdasarkan nilai terendah dari batas pelelehan dan tekuk torsi-lateral yang dialami oleh penampang IWF.

a. Faktor reduksi yang digunakan masih sama seperti elemen tekan.
b. Titik-titik tumpuan balok dan gelagar ditahan terhadap rotasi terhadap sumbu longitudinalnya.
c. Faktor modifikasi tekuk torsi-lateral ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C_b = \frac{12 M_{max}}{2{,}5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (3.45)$$

Keterangan :

M_{max} = nilai mutlak momen maksimum bagian tak berpengaku (Nmm)

M_A = nilai mulak momen ¼ bagian tak berpengaku (Nmm)

M_B = nilai mulak momen pada sumbu bagian tak berpengaku (Nmm)

M_C = nilai mulak momen ¾ bagian tak berpengaku (Nmm)

2. Pelelehan

Pelelehan atau yielding didapatkan dengan persamaan berikut.

$$M_n = M_p = F_y Z_x \tag{3.46}$$

Keterangan :

F_y = tegangan leleh minimum dari jenis baja yang digunakan (MPa)

Z_x = modulus penampang plastis di sumbu x (mm^3)

3. Tekuk Torsi Lateral

a. Jika $L_b \leq L_p$, maka batas tekuk torsi lateral tidak diterapkan.

b. Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka,

$$M_n = c_b \left[M_r + \left(M_p - M_r \right) \frac{(L_r - L)}{\left(L_r - L_p \right)} \right] \tag{3.47}$$

c. Jika $L_r \leq L$, maka,

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \tag{3.48}$$

Dimana,

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0{,}078 \frac{J_c}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \tag{3.49}$$

$$L_p = 1{,}76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.50}$$

$$L_r = 1{,}95 r_{ts} \frac{E}{0{,}7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0} \right)^2 + 6{,}76 \left(\frac{0{,}7F_y}{E} \right)^2}} \tag{3.51}$$

$$r_{ts}{}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \tag{3.52}$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja (200.000 MPa)

J = konstanta torsi (mm^4)

S_x = modulus penampang elastis (mm^3)

h_0 = jarak antara titik berat sayap (mm)

L_b = jarak antar sumbu penampang tak berpengaku (mm)

C = 1, untuk profil dengan simetri ganda seperti IWF

3.7.4 Desain Elemen Geser

Desain elemen tekan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan AISC/ANSI 360-22, *chapter* G tentang *Design of Members for Shear*. Dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

1. Ketentuan Umum

   Faktor reduksi untuk elemen geser metode LRFD adalah sebagai berikut.

   $$\phi_v = 0{,}90 \tag{3.53}$$

2. Kuat Geser

   Kuat geser nominal (V_n) pada elemen berpengaku atau tidak berpengaku dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

   $$V_n = 0{,}6F_y A_w C_v \tag{3.54}$$

   Adapun nilai C_v ditentukan dengan syarat-syarat berikut.

   a. Profl IWF canai panas dengan

   $$\frac{h}{t_w} \leq 2{,}24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.54}$$

   b. Semua profil baik profil simetris ganda dan simetris tunggal dan kanal lainnya kecuali PCB bundar ditentukan dengan persamaan berikut.

   1) $Jika, \left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1{,}10\sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$

   $$C_v = 1 \tag{3.55}$$

   2) $Jika, 1{,}10\sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1{,}37\sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$

   $$C_v = 1{,}10\frac{\sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}}{(h/t_w)} \tag{3.56}$$

   3) $Jika, 1{,}37\sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right)$

$$C_v = 1{,}5\,\frac{k_n E}{f_y}\,\frac{1}{(h/t_w)^2} \tag{3.57}$$

Keterangan :

A_w = luas dari badan (mm2)

h = jarak bersih sayap dikurangi jari-jari sudut atau las

t_w = tebal *web* atau badan

3.7.5 Desain Elemen Kombinasi Tekan dan Lentur

Desain elemen kombinasi tekan dan lentur pada penelitian ini dilakukan berdasarkan AISC/ANSI 360-22, *chapter* H tentang *Design of Combined Forces and Torsion*. Dengan persamaan-persamaan berikut.

1. $Jika, \frac{P_r}{P_c} \geq 0{,}2$

$$Maka, \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1{,}0 \tag{3.58}$$

2. $Jika, \frac{P_r}{P_c} < 0{,}2$

$$Maka, \frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1{,}0 \tag{3.59}$$

Keterangan:

P_e = kekuatan aksial perlu (N)

P_c = kekuatan aksial tersedia (N)

M_r = kekuatan lentur perlu (Nmm)

M_c = kekuatan lentur tersedia (Nmm)

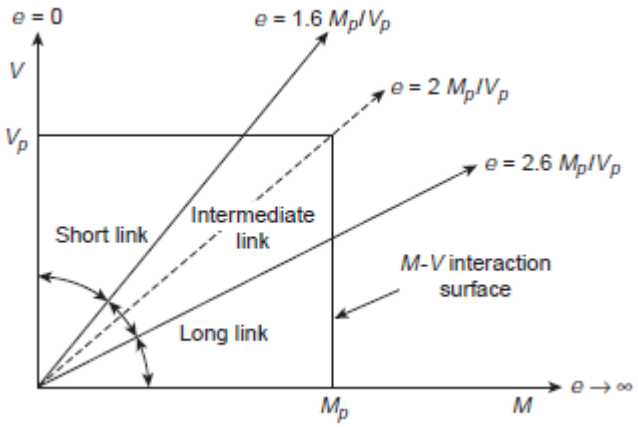
x, *y* = arah x dan arah y

3.8 Perencanaan SRBE

3.8.1 Perencanaan *Link*

1. Panjang *Link*

Link pada SRBE ditentukan berdasarkan perbandingan antara panjang *link* dengan rasio kapasitas momen plastis (M_p) dan kapasitas geser plastis (V_p). Gaya geser akan mencapai keadaan plastis (V_p) lebih dahulu sebelum momen lentur mencapai kapasitas plastis pada *link* geser. Sedangkan momen plastis (M_p) akan tercapai lebih dahulu sebelum kelelehan geser pada *link* lentur (Suswanto, dkk., 2018). Klasifikasi *link* berdasarkan panjangnya dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan persamaan-persamaan berikut.



Gambar 3.3 Klasifikasi *Link* Berdasarkan Panjangnya

Dimana:

a. *Short link* (*link* pendek atau *link* geser)

$$e \leq \frac{1{,}6M_p}{V_p} \tag{3.60}$$

b. *Intermediate link*

$$\frac{1{,}6M_p}{V_p} < e < \frac{2{,}6M_p}{V_p} \tag{3.61}$$

c. *Long link* (*link* panjang atau lentur)

$$e \geq \frac{2{,}6M_p}{V_p} \tag{3.62}$$

Berdasarkan hasil penelitian Suswanto, dkk., disimpulkan bahwa *link* pendek atau *link* geser bekerja lebih baik pada SRBE. Oleh karena itu, *link* pendek dengan panjang 1 m digunakan pada penelitian ini.

2. Kuat Geser *Link*

   Kuat geser *link* pada penelitian ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

   a. Leleh geser

   $$V_n = V_p \tag{3.63}$$

   Dengan,

   $$V_p = 0{,}6F_y A_{tw} untuk\ P_r/P_c \leq 0{,}15 \tag{3.64}$$

   $$V_p = 0{,}6F_y A_{tw}\sqrt{1-(P_r/P_c)^2} untuk\ P_r/P_c > 0{,}15 \tag{3.65}$$

   $$A_{tw} = \left(d - 2t_f\right)t_w \tag{3.66}$$

   b. Leleh lentur

   $$V_n = 2M_p/e \tag{3.67}$$

   Dengan,

   $$M_p = F_y Z\ untuk\ P_r/P_c \leq 0{,}15 \tag{3.68}$$

   $$M_p = F_y Z\left(\frac{1-P_r P_c}{0{,}85}\right) untuk\ P_r/P_c > 0{,}15 \tag{3.69}$$

   Keterangan :

   P_r = P_u

   P_u = kuat tekan perlu (N)

   P_c = P_y

   P_r = $F_y A_g$

   e = panjang *link* (mm)

3. Sudut Rotasi *Link*

   Sudut rotasi *link* dibatasi dengan sejumlah syarat berikut.

   a. 0,08 radian jika e ≤ 1,6 M_p/V_p

   b. 0,02 radian jika e ≥ 2,6 M_p/V_p

   c. Interpolasi linier jika 1,6 M_p/V_p < e < 2,6 M_p/V_p

4. Pengaku (*Stiffner*) *Link*

   Jarak pengaku (*s*) pada *link* diatur berdasarkan sejumlah syarat berikut.

a. Jika $e \leq 1{,}6\ M_p/V_p$,
   1) $s \leq 30\ t_w$ – d/5 untuk $\gamma_p = 0{,}08$ radian
   2) $s \leq 52\ t_w$ – d/5 untuk $\gamma_p = 0{,}02$ radian
   3) interpolasi untuk $0{,}02 < \gamma_p < 0{,}08$

b. Jika $2{,}6\ M_p/V_p < e < 5\ M_p/V_p$
   $s = 1{,}5\ b_f$

c. Jika $1{,}6\ M_p/V_p < e < 2{,}6\ M_p/V_p$
   Jarak pengaku (s) sesuai dengan poin a dan b.

d. Jika $e = 5\ M_p/V_p$
   Tidak perlu menggunakan pengaku.

3.8.2 Perencanaan Bresing

Elemen bresing pada SRBE harus direncanakan lebih kuat daripada *link*. Sehingga diharapkan bresing tidak mengalami leleh seperti elemen *link*. Maka bresing direncanakan mampu menahan gaya plastis yang ditimbulkan oleh *link*. Hal ini dapat diperhitungkan berdasarkan nilai geser nomina ldari *link*. Nilai geser nominal ini ditingkatkan berdasarkan faktor kekuatan material yang dihaarapkan (R_y) dan strain hardening pada *link* dengan nilai sebesar 1, 25.

Panjang elemen bresing diagonal secara sederhana dapat ditentukan dengan rumus pytaghoras sebagai berikut.

1. *Type-V*

$$L = \sqrt{H^2 + (0{,}5B - e)^2} \tag{3.70}$$

2. *Split-K*

$$L = \sqrt{H^2 + (0{,}5B - 0{,}5e)^2} \tag{3.71}$$

Keterangan :

L = panjang bresing diagonal (mm)
H = jarak bersih antar lantai (mm)
B = jarak bersih antar kolom (mm)
e = panjang *link* (mm)

3.8.3 Perencanaan Balok dan Kolom SRBE

Perencanaan balok maupun kolom SRBE dilakukan berdasarkan AISC 341-22 dimana elemen balok dan kolom SRBE juga didesain lebih kuat dari *link*. Dimana pada SRBE, kuat rencana balok dan kolom di luar *link* akan ditentukan menggunakan persamaan geser ultimate dari *link*. Akan tetapi pada balok dan kolom SRBE akan terjadi strain hardening dimana kekuatan geser rencana *link* akan meningkat sebesar 25%, sehingga faktor yang digunakan menjadi sebesar 1,25 x 0,88 = 1,1 seperti yang terlihat pada persamaan berikut.

$$V_{ult} = 1{,}1 R_y V_n \tag{3.72}$$

3.9 Analisis Perilaku Struktur

Perilaku struktur yang diamati pada penelitian ini adalah periode natural, kekakuan struktur, simpangan, dan *displacement* sebagai berikut.

3.9.1 Periode Natural

Periode natural adalah periode getaran hasil dari properti elemen struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergerak bebas tanpa adanya gaya luar. Periode natural diperoleh secara langsung menggunakan bantuan *software* SAP2000.

3.9.2 Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur dapat diperoleh dengan membandingkan nilai gaya geser tiap lantai dengan simpangan antar lantai. Adapun kekakuan struktur dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$k_n = \frac{V_n}{\delta_n} \tag{3.73}$$

Keterangan:

V_n = gaya geser pada lantai n yang ditinjau

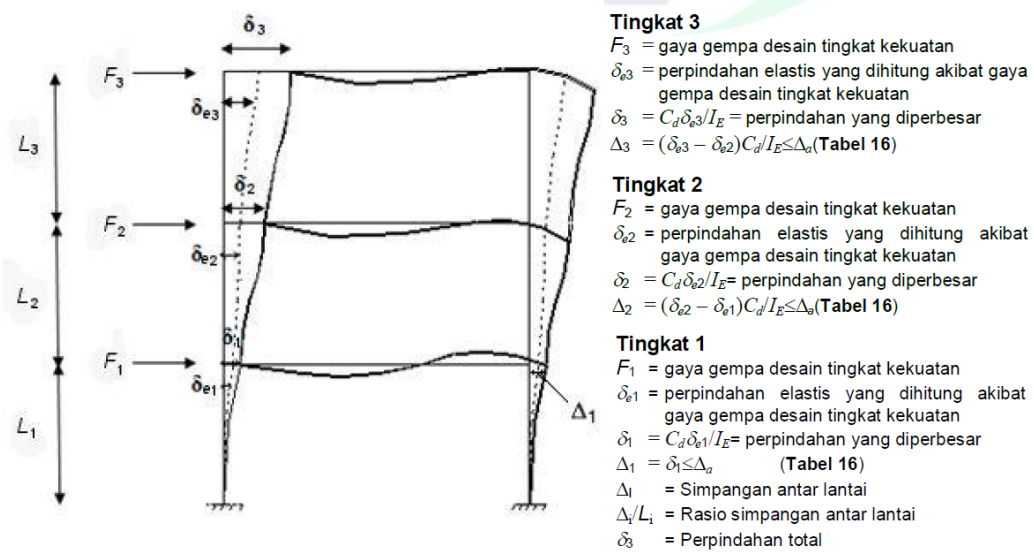
δ_n = nilai *displacement* pada lantai n yang diperbesar

3.9.3 Simpangan Antar Lantai dan *Displacement*

Simpangan antar lantai (Δ) pada penelitian ini ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019. Dimana pada pasal 7.8.6, defleksi pusat massa dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{ex}}{I_e} \tag{3.75}$$

Adapun *displacement* atau perpindahan untuk menentukan simpangan ini didapatkan dengan bantuan *software* SAP2000. Kemudian, ilustrasi penentuan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.4 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Dan simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin yang dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.14 Simpangan Antar Lantai Ijin

Struktur	Kategori Risiko		
	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 lantai tingkat.	0,025h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

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

BAB IV
METODE PENELITIAN

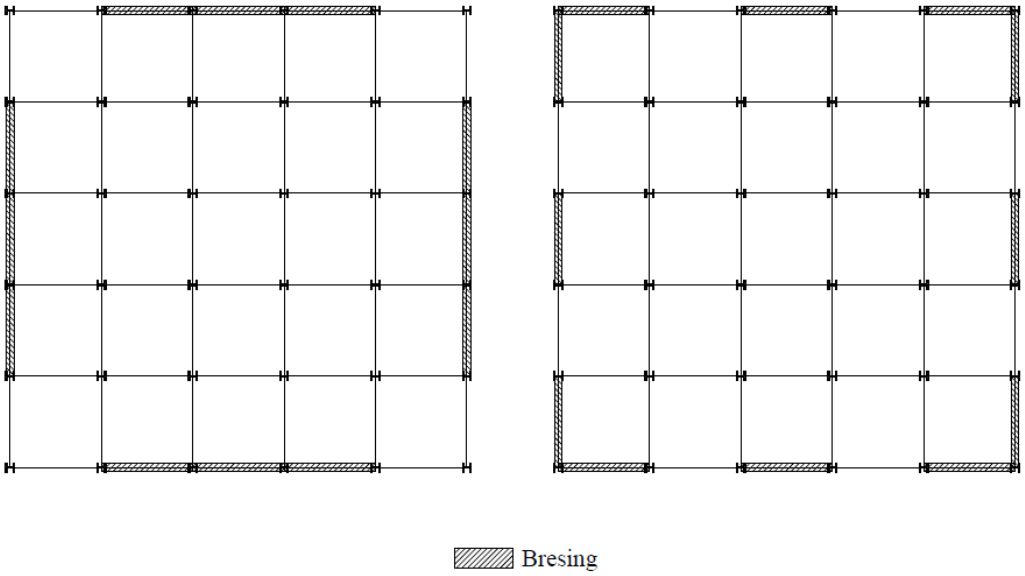
4.1 Data Perancangan

Kriteria-kriteria perencanaan yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi bangunan berada di Yogyakarta.
2. Bangunan merupakan gedung imajiner dengan 10 lantai.
3. Gedung dirancang pada kategori risiko bangunan II.
4. Gedung memiliki fungsi sebagai apartemen.
5. Jarak antar lantai sebesar 4 m dan jarak antar kolom sebesar 6 m.
6. Material baja menggunakan mutu BJ 41 dengan f_y 250 MPa dan f_u 410 MPa.
7. Material beton pelat menggunakan mutu f_c 25 Mpa.
8. Pelat pada keseluruhan bangunan tiap lantai memiliki ketebalan 150 mm, pelat merupakan pelat beton konvensional yang direnacakan sebagai *shell* pada SAP2000.
9. Balok, kolom, bresing dan *link* menggunakan baja profil IWF berdasarkan *AISC Shapes Database V15.0* seperti penelitian sebelumnya.

4.2 Model Struktur

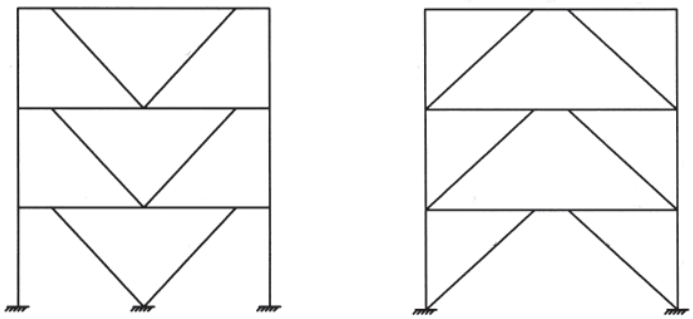
Gedung yang digunakan pada penelitian ini merupakan gedung imajiner dengan ketinggian 10 lantai. Gedung memiliki ketinggian lantai dan lebar bentang yang seragam. Gedung memiliki geometri yang beraturan atau simetris. Gedung menggunakan acuan bentuk gedung berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu dengan menerapkan hasil dari penelitian-penelitian tersebut. Seperti posisi bresing, jumlah bresing dan geometri gedung.



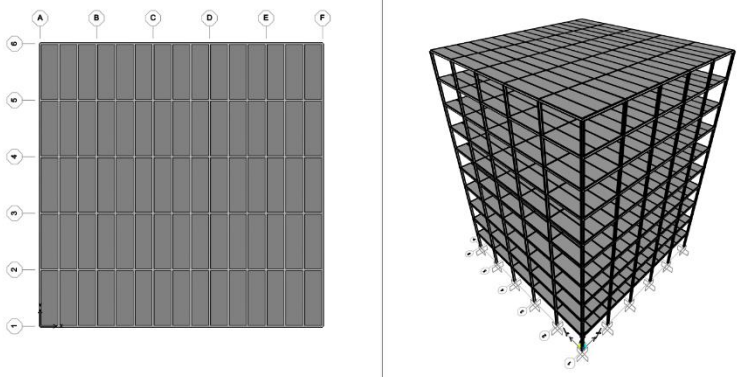
Gambar 4.1 Denah Gedung yang Digunakan

Gedung yang dimodelkan akan terbagi menjadi dua jenis, yakni gedung dengan bresing dan gedung tanpa bresing. Gedung dengan bresing menggunakan konfigurasi bresing SRBE *Type-V* dan *Split-K*. Dan masing-masing dari dua konfigurasi tersebut menggunakan penempatan yang berbeda. Penempatan bresing yang digunakan adalah penempatan bersebelahan (*neighbor*) dan bergantian (*alternate*). Bresing diletakkan pada bagian luar (*facade*) gedung.

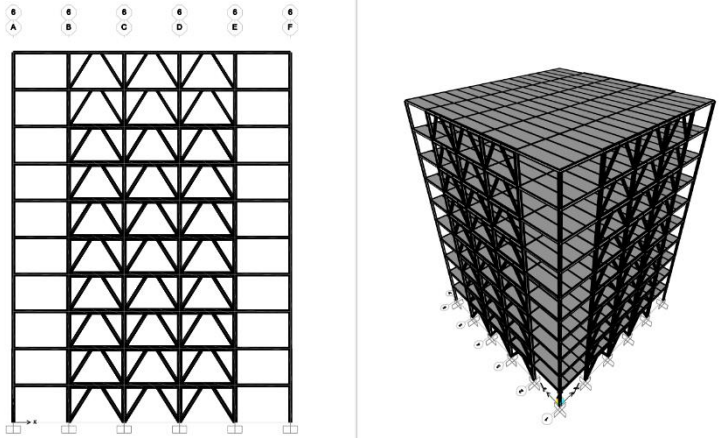
Konfigurasi bresing yang digunakan, model 3D struktur tanpa bresing, model 3D struktur dengan bresing dan variasi posisi bresing dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.7 berikut.



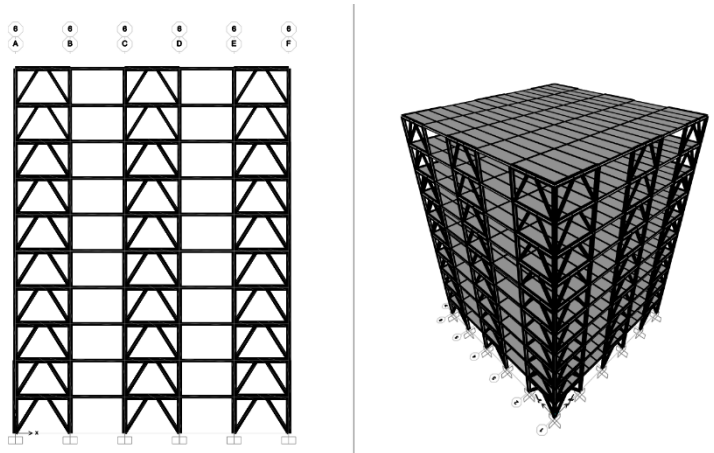
Gambar 4.2 Bresing SRBE *Type-V* (a) dan *Split-K* (b)



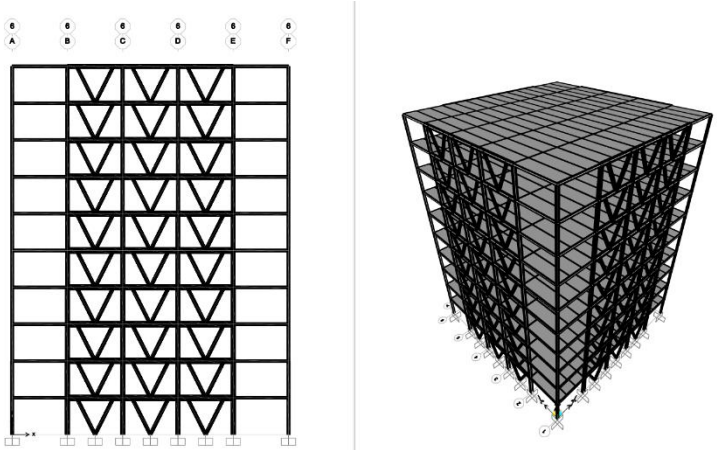
Gambar 4.3 Geometri Bangunan (kiri) dan Model 3D Bangunan Tanpa Bresing (kanan)



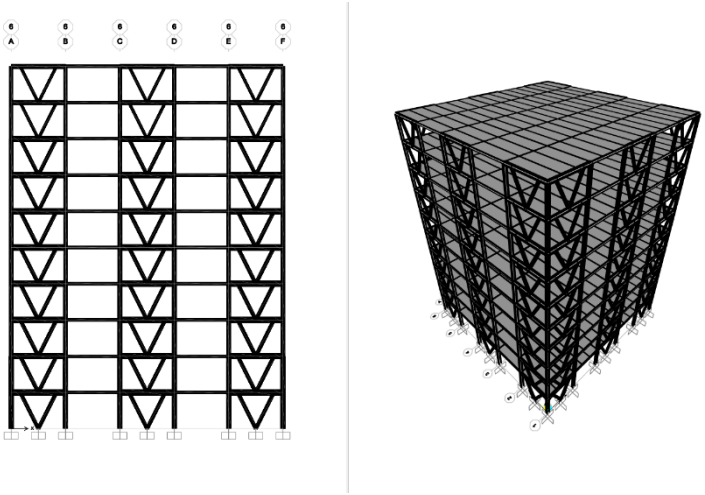
Gambar 4.4 Posisi Bresing *Split-K* Bersebelahan (kiri) dan Model 3D-nya (kanan)



Gambar 4.5 Posisi Bresing *Split-K* Bergantian (kiri) dan Model 3D-nya (kanan)



Gambar 4.6 Posisi Bresing *Type-V* Bersebelahan (kiri) dan Model 3D-nya (kanan)



Gambar 4.7 Posisi Bresing *Type-V* Bergantian (kiri) dan Model 3D-nya (kanan)

Dengan demikian, jumlah pemodelan yang diuji ada sebanyak lima pemodelan, yakni :

1. Bangunan tanpa bresing.
2. *Split- K* bersebelahan (*neighbor*).
3. *Split K* bergantian (*alternate*).
4. *Type-V* bersebelahan (*neighbor*).
5. *Type-V* bergantian.(*alternate*).

4.3 Tahapan Penelitian

Agar tujuan dari penelitian ini tercapai, maka penilitian dilakukan secara bertahap. Adapun tahap-tahap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data

   Data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa data-data pendukung seperti daftar profil baja dengan berbagai standar.

2. Studi Literatur

   Peneitian ini dilakukan berdasarkan sejumlah literatur seperti peraturan-peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI), ANSI/AISC, buku, dan penelitian-penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

3. Pemodelan

   Pemodelan dilakukan secara bertahap dimulai dari perhitungan awal seperti pembebanan, *preliminary design* (desain awal) dan kontrol desain. Perhitungan awal akan dilakukan dengan bantuan *software* perhitungan *microsoft* Excel. Selanjutnya pemodelan bangunan dilakukan berdasarkan perhitungan awal yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* SAP2000.

4. Analisa Perilaku Model Struktur

   Setelah pemodelan selesai dilakukan dan seluruh elemen aman terhadap gaya-gaya dalam yang terjadi, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengamatan terhadap perilaku struktur yang diteliti. Perilaku yang diamati antara lain seperti periode natural, kekakuan, simpangan antar lantai, dan *displacement*.

5. Pembahasan

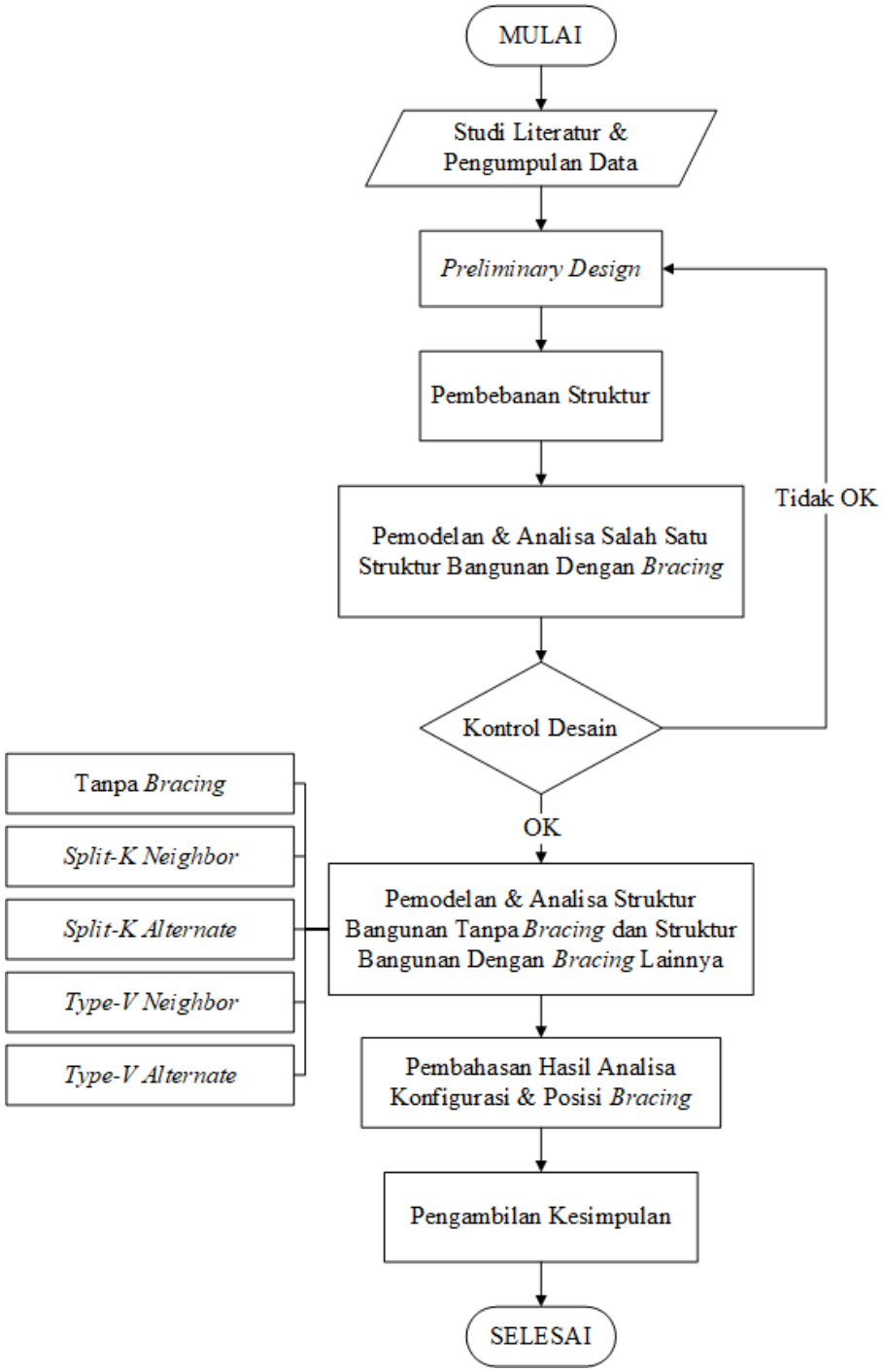
   Berdasarkan analisa yang telah dilakukan maka selanjutnya dilakukan pembahasan berupa perbandingan antara tiap konfigurasi yang telah diuji.

6. Pengambilan Kesimpulan

   Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, akan disimpulkan konfigurasi dan posisi mana yang berkerja paling baik pada struktur baja yang diuji.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir (*flowchart*) penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.8 Bagan Alir Penelitian

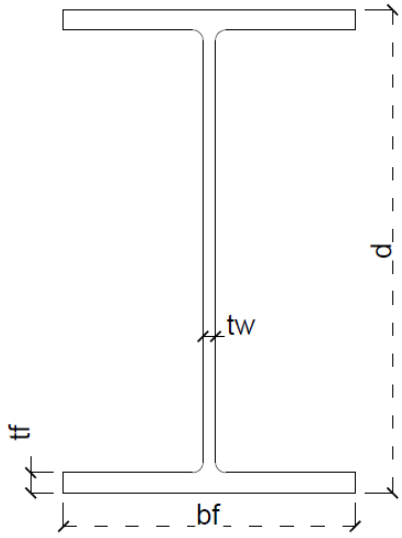
BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Data Struktur

Data struktur secara singkat sudah dijelaskan pada bab 4, bagian data perancangan subbab 4.1. Penjelasan detail lebih lanjut seperti detail pemodelan, pilihan profil-profil baja, *properties* profil-profil baja, penempatan profil-profil baja yang digunakan, panjang profil-profil baja, denah gedung secara detail, dan lainnya akan dijabarkan lebih lanjut di bab 5 berikut.

5.2 *Preliminary Design*

Analisa struktur akan dimulai dengan pemilihan profil baja yang sesuai. Pada penelitian ini, sama seperti penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh saudara Elvarando, 2020, struktur akan dimodelkan menggunakan profil baja IWF pada seluruh struktur. Profil yang digunakan akan mengacu pada *AISC Shapes Database V15.0*. Adapun bentuk dan notasi profil IWF dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Bentuk dan Notasi Profil IWF

AISC Shapes Database V15.0 dijadikan acuan karena memiliki data profil baja yang lengkap dan perbedaan dimensi yang cukup dekat antara satu dengan lainnya, sehingga akan memudahkan pemilihan ulang profil apabila profil sebelumnya tidak dapat menunjukkan hasil yang diharapkan.

AISC Shapes Database V15.0 juga terdapat di dalam *software* analisa SAP2000, sehingga secara *default* profil-profil yang diinginkan dapat langsung dipilih dan diimpor untuk digunakan pada model yang dirancang. Hal ini akan memudahkan pengguna dan meminimalkan kesalahan *input* desain dari masing-masing profil yang akan digunakan, dan meminimalkan persentase *error* antara berat struktur model SAP2000 dan berat struktur hitungan manual menggunakan *software Microsoft Excel.*

5.2.1 Rekapitulasi Profil Baja

Profil baja yang digunakan pada pemodelan struktur akan terbagi menjadi beberapa kelompok fungsi dan kelompok lantai. Untuk mempermudah dalam identifikasi dari masing-masing profil saat dimodelkan, maka profil akan diberi kodefikasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Fungsi dan Kodefikasi Profil Baja

No	Fungsi	Kode (AISC 15.0-M)	Kodefikasi dalam Struktur
1	*Link* Lantai 1-2	W610X174	L
2	*Link* Lantai 3-4	W610X174	L
3	*Link* Lantai 5-6	W610X174	L
4	*Link* Lantai 7-8	W610X174	L
5	*Link* Lantai 9-10	W460X128	L
6	Kolom SRBE Lantai 1-2	W360X744	KBR
7	Kolom SRBE Lantai 3-4	W360X551	KBR
8	Kolom SRBE Lantai 5-6	W360X463	KBR
9	Kolom SRBE Lantai 7-8	W360X287	KBR
10	Kolom SRBE Lantai 9-10	W360X179	KBR
11	Bresing Lantai 1-2	W310X253	BR
12	Bresing Lantai 3-4	W310X253	BR
13	Bresing Lantai 5-6	W310X253	BR
14	Bresing Lantai 7-8	W310X202	BR
15	Bresing Lantai 9-10	W250X115	BR

Lanjutan Tabel 5.1 Fungsi dan Kodefikasi Profil Baja

No	Fungsi	Kode (AISC 15.0-M)	Kodefikasi dalam Struktur
16	Kolom Biasa Lantai 1-2	W310X253	K
17	Kolom Biasa Lantai 3-4	W310X202	K
18	Kolom Biasa Lantai 5-6	W310X179	K
19	Kolom Biasa Lantai 7-8	W310X158	K
20	Kolom Biasa Lantai 9-10	W310X143	K
21	Balok Induk Arah X	W310X67	BIX
22	Balok Induk Arah Y	W250X49.1	BIY
23	Balok Anak	W200X35.9	BA

Profil-profil yang digunakan tersebut mengikuti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Elvarando. Sedangkan untuk *properties* dari profil-profil yang digunakan secara detail dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

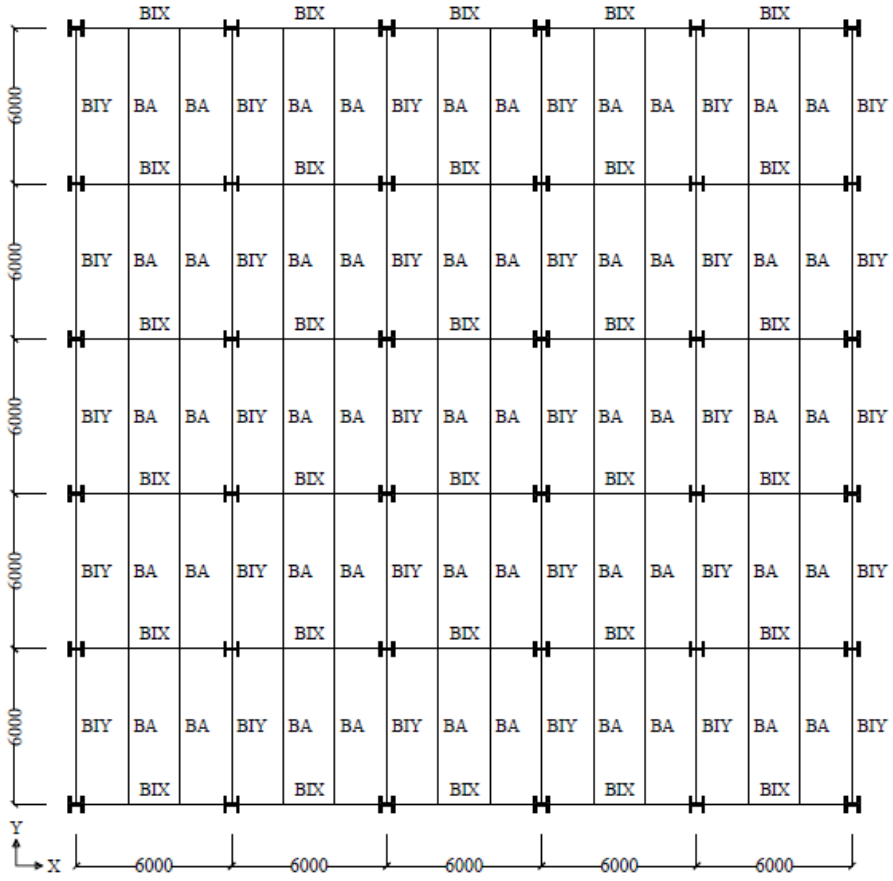
Tabel 5.2 *Properties* Profil Baja yang Digunakan

No	Kode (AISC 15.0-M)	*Properties*																
		d	bf	tw	tf	A	W	rx	ry	Ix	Iy	Zx	Zy	Sx	Sy	J	Cw	ho
		mm	mm	mm	mm	mm^2	kg/m	mm	mm	$mm^4/10^6$	$mm^4/10^6$	$mm^3/10^3$	$mm^3/10^3$	$mm^3/10^3$	$mm^3/10^3$	$mm^4/10^3$	$mm^6/10^9$	mm
1	W610X174	617	325	14	21,6	22200	174	257	74,7	1470	124	5360	1170	4770	762	2800	11000	597
2	W460X128	467	282	12,2	19,6	16300	128	197	66,8	637	72,8	3050	793	2720	518	1710	3650	447
3	W360X744	498	432	55,6	88,9	94800	744	190	113	3420	1200	17200	8550	13700	5560	214000	50200	409
4	W360X551	455	419	42,2	67,6	70300	551	180	108	2260	828	12100	6060	9950	3950	92400	31200	386
5	W360X463	434	411	35,8	57,4	59000	463	175	107	1800	670	9880	4980	8290	3260	56600	23900	376
6	W360X287	394	399	22,6	36,6	36600	287	165	103	999	388	5820	2950	5080	1950	14500	12300	358
7	W360X179	368	373	15	23,9	22800	179	158	95	574	206	3470	1670	3110	1110	3900	6100	345
8	W310X253	356	320	24,4	39,6	32300	253	146	81,8	687	215	4510	2060	3850	1350	14800	5400	315
9	W310X202	340	315	20,1	31,8	25700	202	142	80,3	516	166	3510	1610	3050	1050	7700	3950	310
10	W250X115	269	259	13,5	22,1	14600	115	114	66	189	64,1	1600	752	1410	493	2130	975	247
11	W310X253	356	320	24,4	39,6	32300	253	146	81,8	687	215	4510	2060	3850	1350	14800	5400	315
12	W310X179	333	312	18	28,2	22700	179	140	79,5	445	144	3050	1400	2670	918	5370	3330	305
13	W310X158	328	310	15,5	25,1	20100	158	139	79	388	125	2690	1230	2380	808	3800	2870	302
14	W310X143	323	310	14	22,9	18200	143	138	78,5	347	112	2410	1110	2150	728	2850	2530	300
15	W310X67	307	204	8,51	14,6	8450	67	131	49,5	145	20,8	1050	311	946	203	524	443	292
16	W250X49.1	247	202	7,37	11	6260	49,1	106	49,3	71,2	15,2	636	229	574	151	243	212	236
17	W200X35.9	201	165	6,22	10,2	4570	35,9	86,9	40,9	34,4	7,62	379	140	342	92,3	144	69,6	191

(*AISC Shapes Database V15.0*)

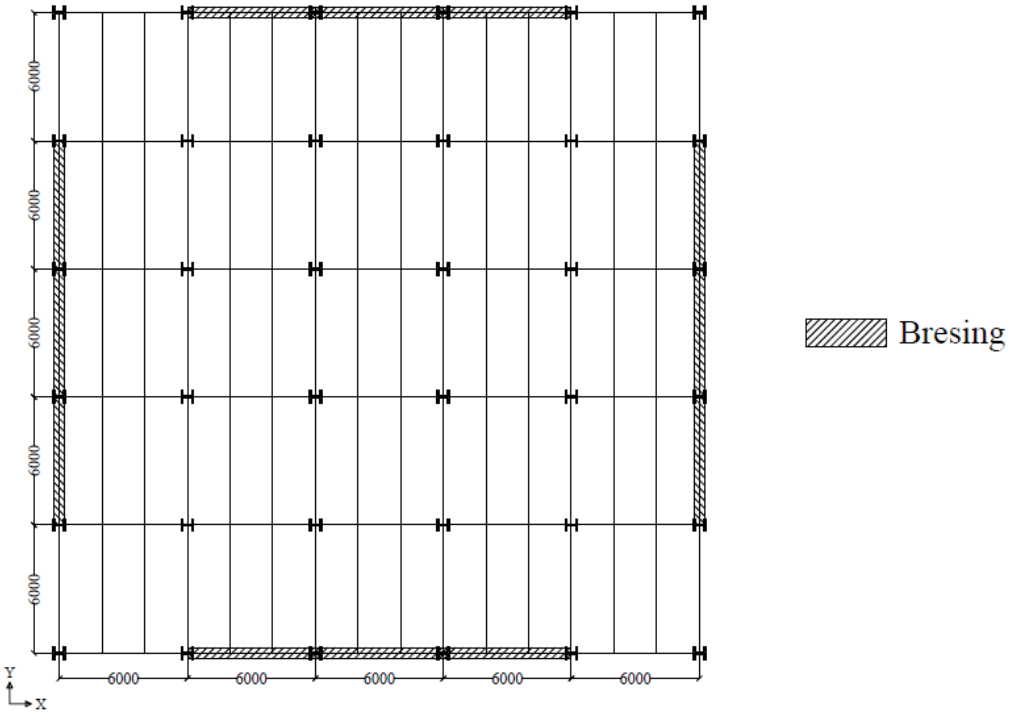
5.2.2 Denah, Penempatan Profil dan Bresing

Denah yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa gedung imajiner dengan ketinggian antar lantai sebesar 4 m dan jarak antar kolom sebesar 6 m. Gedung memiliki 5 bentang untuk menyediakan ruang yang cukup bagi jumlah portal SRBE yang akan diteliti. Adapun denah gedung dan penempatan sejumlah profil dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

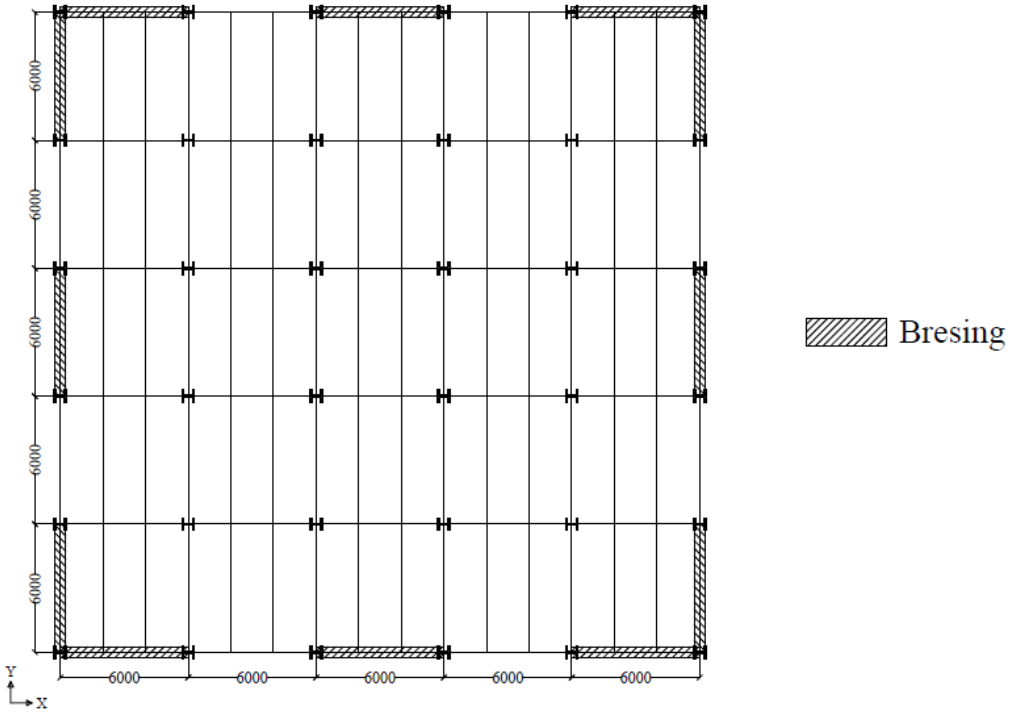


Gambar 5.2 Denah Perencanaan Gedung

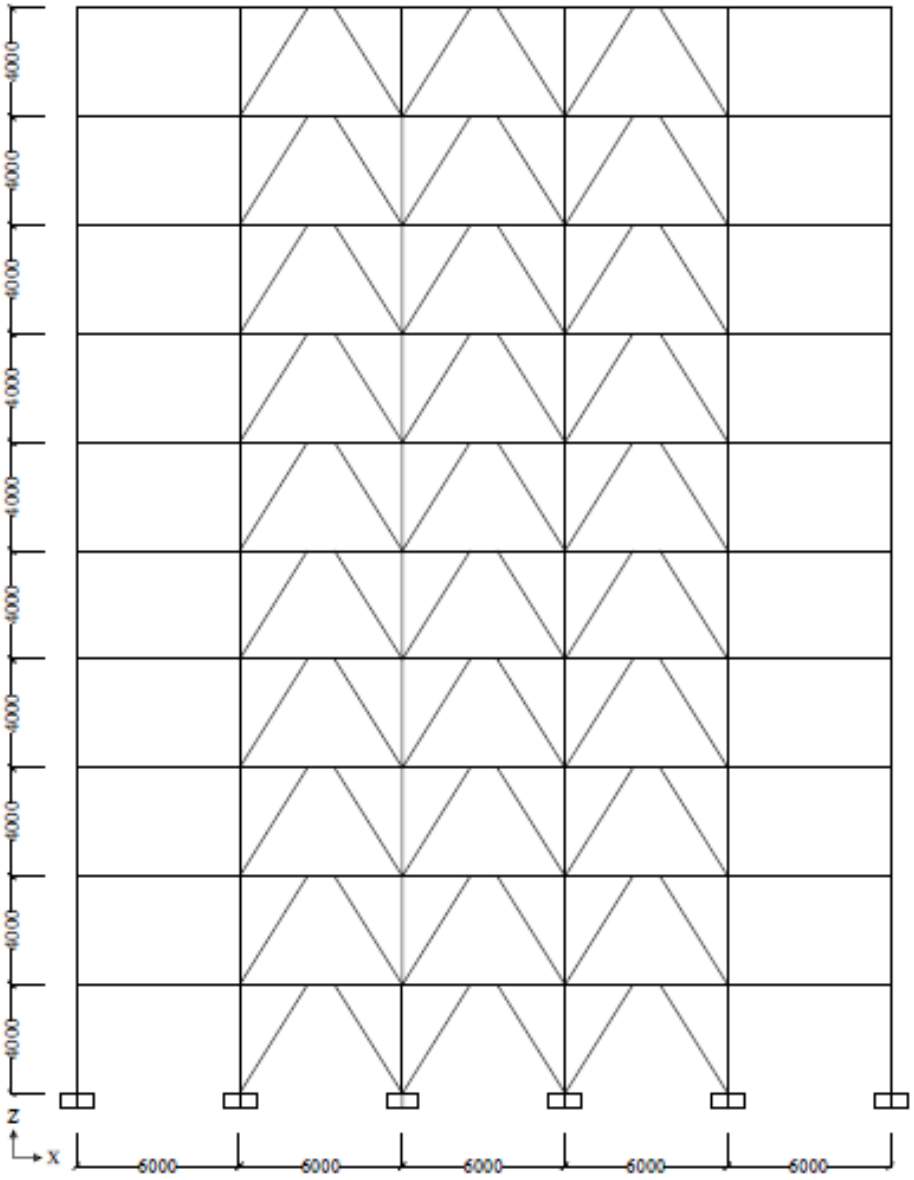
Mengacu pada penelitian sebelumnya, bresing pada posisi luar *(façade)* akan bekerja lebih baik dari bresing pada posisi inti atau *(core)*. Selain itu, sesuai dengan tujuan penelitian ini, bresing akan ditempatkan dengan posisi bersebelahan *(neighbor)* dan bergantian *(alternate)*. Adapun posisi bresing pada denah tampak atas dan tampak luar dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai Gambar 5.8 berikut.



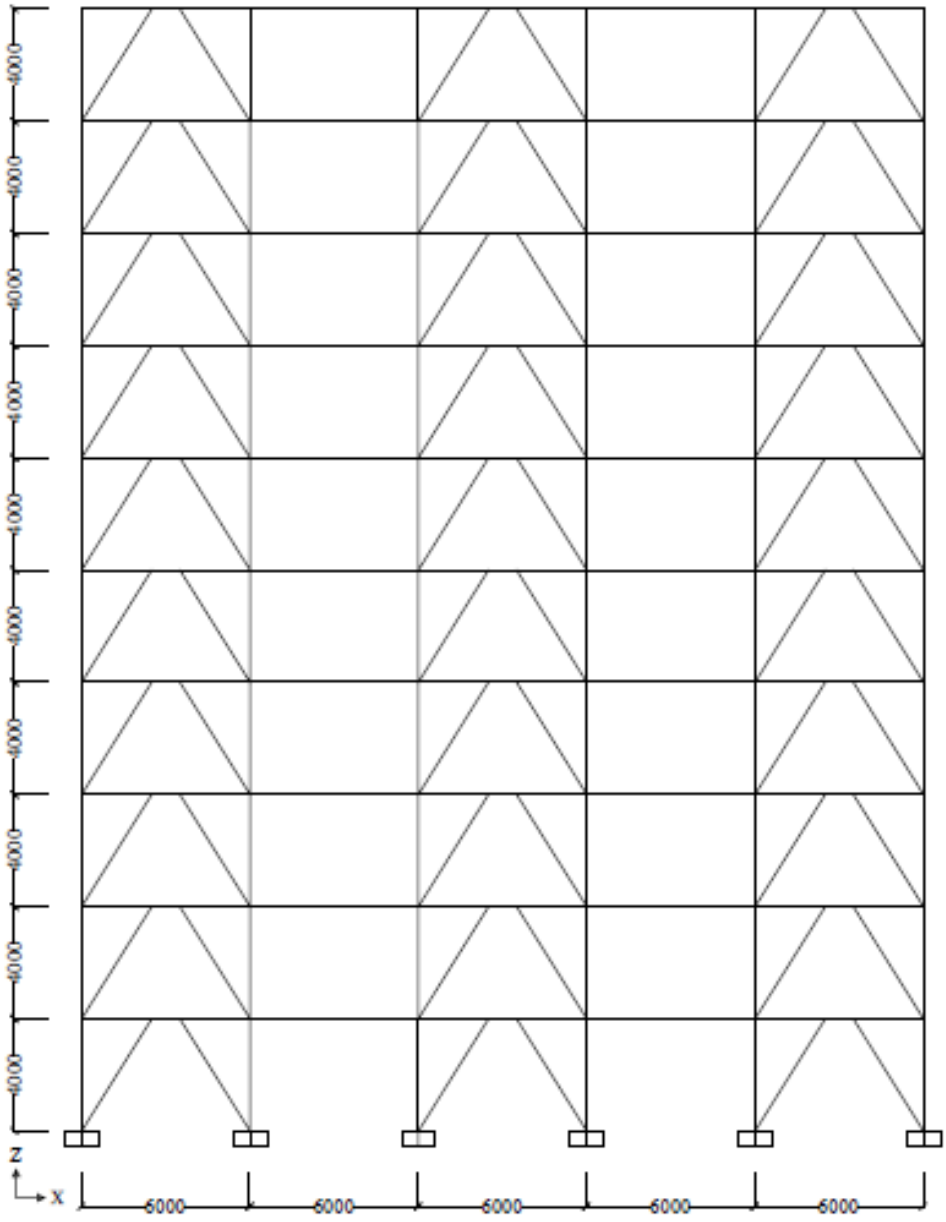
Gambar 5.3 Penempatan Bresing Posisi Bersebelahan *(Neighbor)*



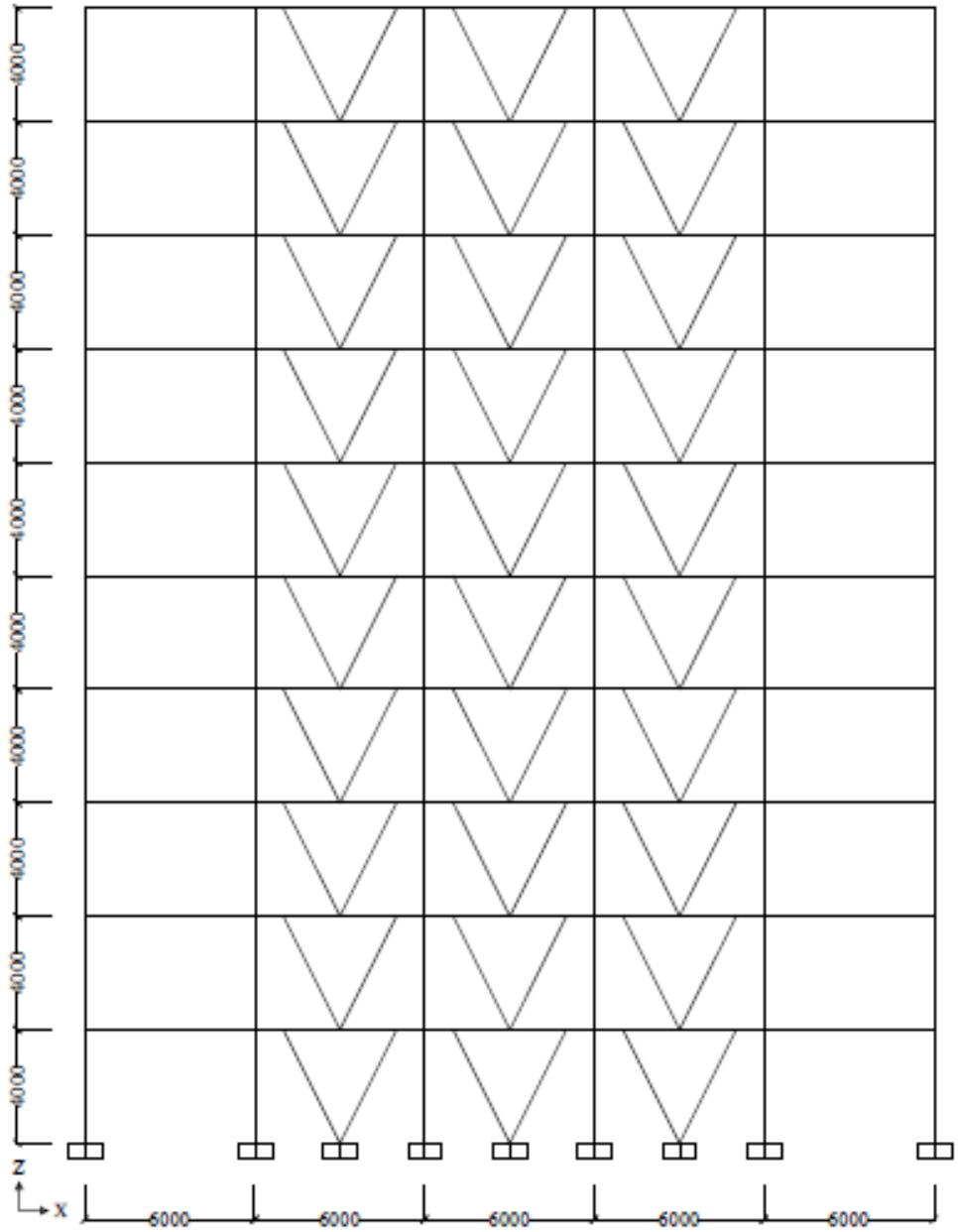
Gambar 5.4 Penempatan Bresing Posisi Bergantian *(Alternate)*



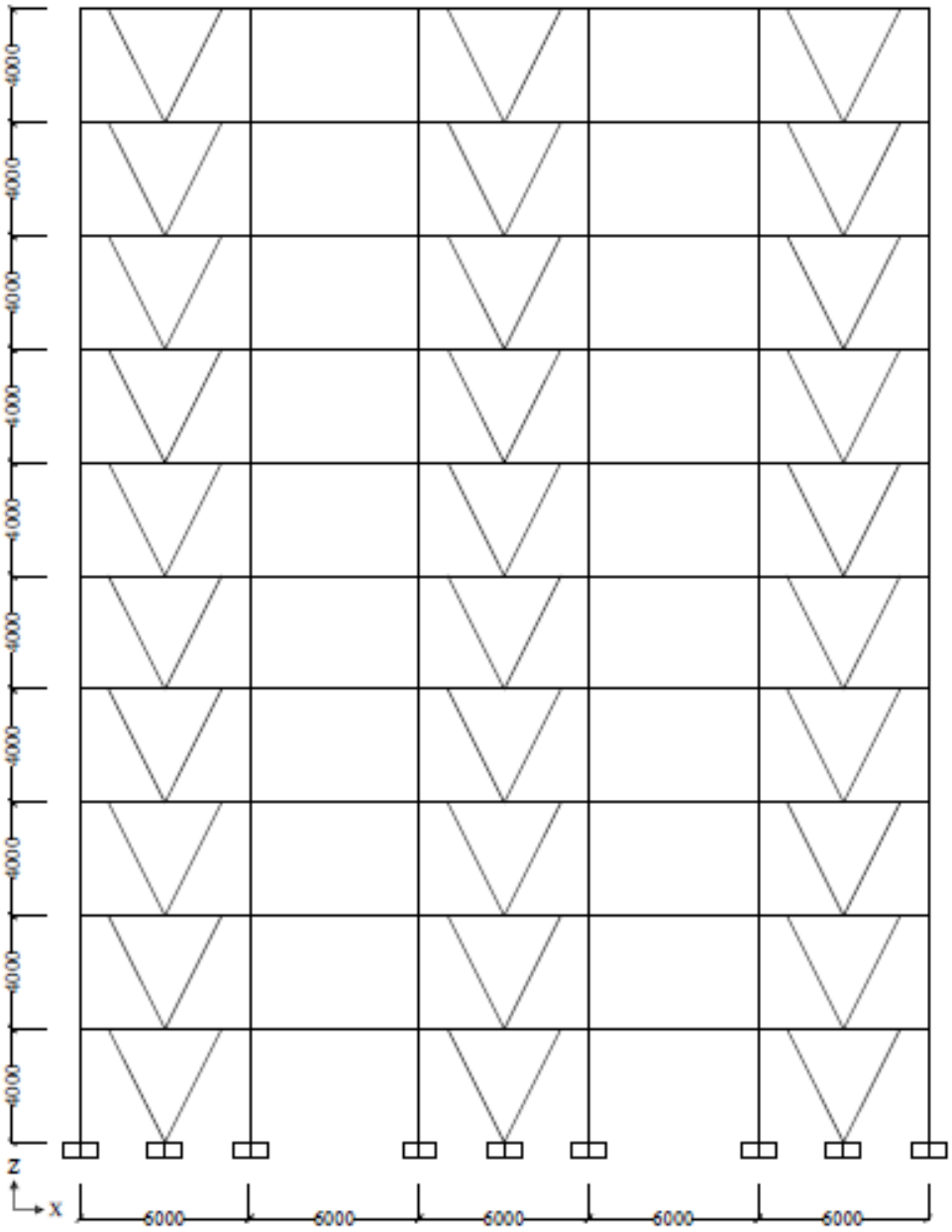
Gambar 5.5 Tampak Luar Bresing *Split-K Neighbor*



Gambar 5.6 Tampak Luar Bresing *Split-K Alternate*

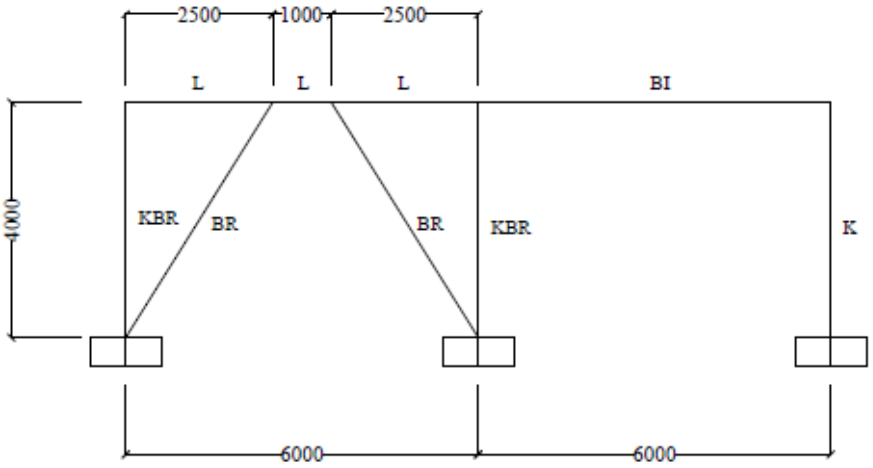


Gambar 5.7 Tampak Luar Bresing *Type-V Neighbor*

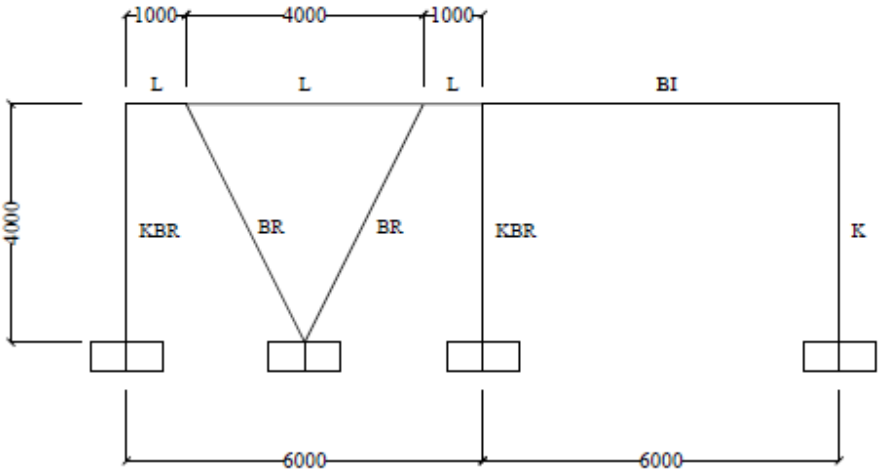


Gambar 5.8 Tampak Luar Bresing *Type-V Alternate*

Portal bresing SRBE akan menggunakan *link* sepanjang 1 m dan akan menggunakan profil kolom yang berbeda dibanding kolom portal lainnya. Adapun detail dari portal SRBE *Split-K* dan *Type-V* dapat dilihat pada gambar 5.9 dan 5.10 berikut.

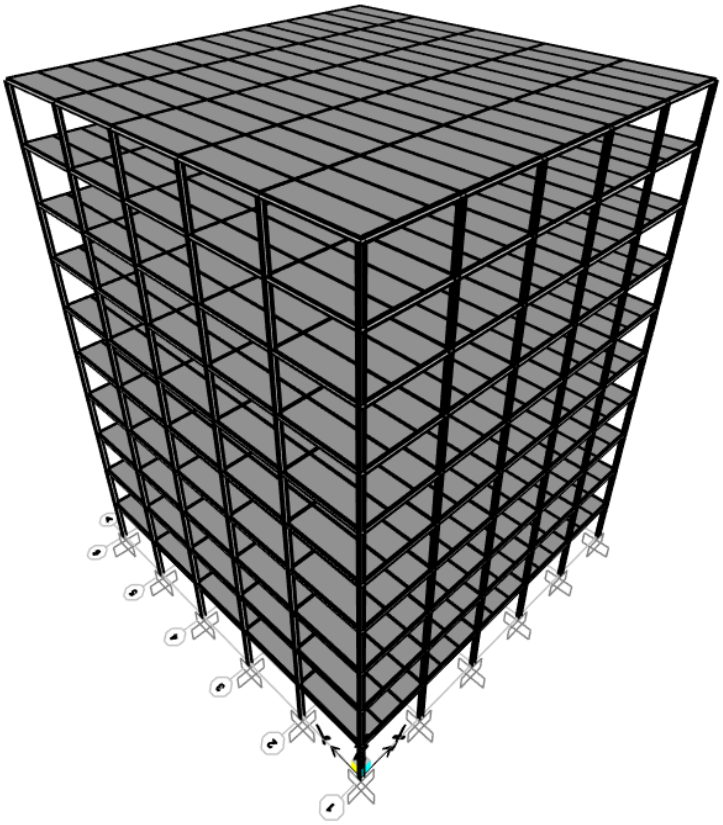


Gambar 5.9 Detail Portal SRBE *Split-K*



Gambar 5.10 Detail Portal SRBE *Type-V*

Untuk pemodelan gedung tanpa bresing hanya akan menggunakan model gedung dengan bresing yang dihilangkan bresingnya. Maka, model gedung tanpa bresing dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Tampak 3D Gedung Tanpa Bresing

5.3 Pembebanan

Pembebanan yang akan diterapkan pada penelitaian ini terdiri dari pembebanan beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa dan beban notional. Adapun pembebanan-pembebanan tersebut dapat dilihat pada subbab berikut.

5.3.1 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan akan mengacu pada peraturan SKBI tahun 1987. Beban mati tambahan masing-masing untuk pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.3 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Keterangan	Beban	Satuan
1	Keramik	Tile 50x50 cm	0,17	kN/m2
2	Spesi	Tebal 2 cm	0,42	kN/m2
3	Pasir	Tebal 2 cm	0,36	kN/m2
4	PE	Plumbing dan elektrikal	0,3	kN/m2
5	Plafond		0,09	kN/m2
6	Rangka Plafond		0,05	kN/m2
7	Partisi	Partisi ringan	0,48	kN/m2
Total Beban Mati Tambahan Pelat Lantai			**1,87**	**kN/m2**

Tabel 5.4 Beban Mati Tambahan Pelat Atap

No	Jenis Beban	Keterangan	Beban	Satuan
1	Spesi	Tebal 2 cm	0,42	kN/m2
2	Waterproofing		0,42	kN/m2
3	PE	Plumbing dan elektrikal	0,3	kN/m2
4	Plafond		0,09	kN/m2
5	Rangka Plafond		0,05	kN/m2
Total Beban Tambahan Pelat Atap			**1,28**	**kN/m2**

5.3.2 Beban Hidup

Beban hidup akan dihitung dengan acuan SNI 1727:2020. Adapun perhitungan beban hidup pada pelat lantai dan pelat atap adalah sebagai berikut.

1. Beban hidup apartemen = 4,79 kN/m^2
2. Beban hidup atap datar = 0,96 kN/m^2
3. Faktor elemen beban hidup, K_{LL} = 4
4. Luas tributari, AT = 30 m x 30 m = 900 m^2

Beban hidup pelat lantai akan direduksi dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$L = 4{,}79 \times \left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{4 \times 900}}\right)$$

$$L = 3{,}022\ kN/m^2$$

Beban hidup pelat atap akan direduksi dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$L = 0{,}96 \times \left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{4 \times 900}}\right)$$

$$L = 0{,}606\ kN/m^2$$

5.3.3 Beban Gempa

Beban gempa akan dihitung dengan acuan SNI 1726:2019, adapun parameter-parameter yang akan dimasukkan ke dalam beban gempa dengan contoh salah satu struktur bresing (*Split-K Neighbor*) adalah sebagai berikut.

Fungsi gedung = Apartemen

Jenis Struktur = Struktur Baja Bresing Eksentris (SRBE)

a. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko

   Berdasarkan SNI 1726:2019, bangunan dengan fungsi apartemen termasuk dalam kategori risiko II, sehingga didapat I_e sebesar 1,0.

b. Respon Spektral Percepatan

   Nilai S_S dan S_1 didapatkan dari website rsa.ciptakarya.pu.go.id sebagai berikut.

   Ss = 1,107

   S_1 = 0,507

c. Klasifikasi Situs

   Bangunan pada penelitian ini dibangun pada tanah sedang, sehingga termasuk dalam kategori SD.

d. Koefisien Situs

   Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai koefisien situs yang digunakan adalah sebagai berikut.

   F_a = 1,057

   F_v = 1,793

e. Parameter Respon Spektrum

   Berdasarkan respon spectral percepatan dan koefisien situs, maka didapatkan sebagai berikut.

   S_{MS} = F_a × Ss

$= 1{,}057 \times 1{,}107$

$= 1{,}17$

$S_{M1} = F_v \times S_1$

$= 1{,}793 \times 0{,}507$

$= 0{,}909$

f. Parameter Percepatan Spektral

Nilai SD_S dan SD_1 didapatkan dari website rsa.ciptakarya.pu.go.id sebagai berikut.

$SD_S = 0{,}78$

$SD_1 = 0{,}606$

Berdasarkan nilai di atas dan kategori risiko, maka didapat kategori desain seismik D.

g. Dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D, maka untuk struktur SRBE didapat parameter sebagai berikut.

$R = 8$

$C_d = 4$

$\Omega = 2$

Berdasarkan SNI 1726:2019, maka didapatkan parameter-parameter periode fundamental struktur (T) sebagai berikut.

a. Waktu Getar Struktur (T_a)

$T_a = C_t h_n^{x}$

$= 0{,}0731 \times 40^{0{,}75}$

$= 1{,}385$ detik (batas bawah)

$C_u T_a = Cu \times T_a$

$= 1{,}4 \times 1{,}385$

$= 1{,}939$ detik (batas atas)

$T_c = 0{,}814$ detik (SAP2000)

Karena $T_c < T_a$, maka T yang digunakan adalah T_a.

b. Maka, didapat:

$C_s = S_{DS} / (R/I_e)$

$= 0{,}78 / (8/1)$

= 0,0975 g

$C_s$max = S_{D1} / (T (R/I_e))

= 0,61 / (1,385 (8/1))

= 0,0551

$C_s$min = 0,044 × S_{DS} × I_e ≥ 0,01

= 0,044 × 0,78 × 1

= 0,0343

C_s yang akan digunakan adalah $C_s$max, karena C_S > $C_s$max dan C_S > $C_s$min. Dengan demikian, dapat dihitung gaya geser dengan perhitungan sebagai berikut.

V = C_s × W

= 0,0551 × 57350,829

= 3157,861 kN

Kemudian dapat dihitung gaya gempa lateral per lantai (Fx) untuk struktur contoh yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Gaya Gempa Lateral Per Lantai *Split-K Neighbor*

Lantai	W	h	T	K	w*h^k	cvx	Fx
	kN	m	detik			%	kN
10	4973,755	40	0,814	1,157	354718,053	17,344	547,694
9	5504,755	36	0,814	1,157	347541,334	16,993	536,613
8	5665,408	32	0,814	1,157	312124,947	15,261	481,929
7	5665,408	28	0,814	1,157	267451,918	13,077	412,953
6	5820,436	24	0,814	1,157	229894,559	11,241	354,963
5	5820,436	20	0,814	1,157	186180,844	9,103	287,468
4	5894,535	16	0,814	1,157	145655,671	7,122	224,896
3	5894,535	12	0,814	1,157	104424,707	5,106	161,235
2	6055,781	8	0,814	1,157	67116,376	3,282	103,629
1	6055,781	4	0,814	1,157	30102,949	1,472	46,480

Setelah itu, perhitungan yang sama diterapkan ke tiap gedung hingga didapat rekapitulasi gaya gempa lateral per lantai tiap gedung yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Gaya Gempa Lateral Per Lantai Tiap Gedung

Lantai	Fx (kN)				
	Tanpa Bresing	***Split-K Neighbor***	***Split-K Alternate***	***Type-V Neighbor***	***Type-V Alternate***
10	506,025	547,694	567,330	566,407	588,447
9	454,867	536,613	551,449	550,265	566,552
8	360,810	481,929	492,185	489,287	500,060
7	276,245	412,953	417,571	414,746	419,125
6	204,040	354,963	356,285	351,999	352,549
5	141,695	287,468	284,650	280,887	277,029
4	91,241	224,896	219,380	215,814	209,216
3	51,323	161,235	153,948	151,158	143,021
2	23,116	103,629	96,328	94,016	86,250
1	5,779	46,480	41,033	39,865	34,493

5.3.4 Beban Notional

Beban notional diterapkan dengan asumsi penampang baja memiliki ketidaksmempurnaan. Hal ini mengacu pada SNI 1729:2020 dengan hasil rekapitulasi beban notional tiap gedung dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Beban Notional Per Lantai Tiap Gedung

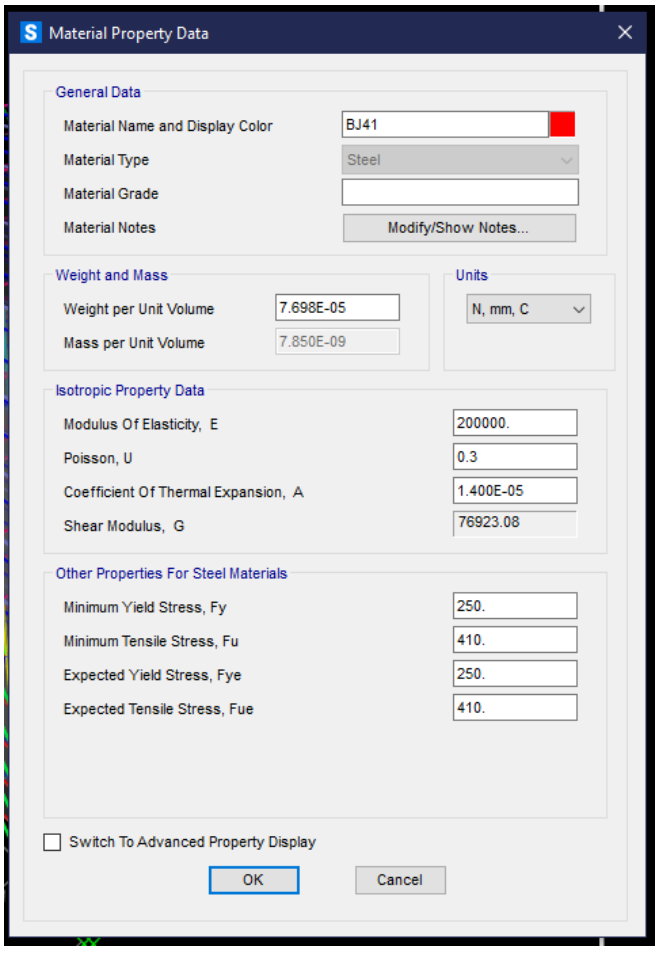
Lantai	Notional Load (kN)				
	Tanpa Bresing	***Split-K Neighbor***	***Split-K Alternate***	***Type-V Neighbor***	***Type-V Alternate***
10	9,676	9,948	9,959	9,941	9,952
9	10,738	11,010	11,021	11,003	11,014
8	10,780	11,331	11,371	11,319	11,360
7	10,780	11,331	11,371	11,319	11,360
6	10,838	11,641	11,730	11,626	11,716
5	10,838	11,641	11,730	11,626	11,716
4	10,904	11,789	11,899	11,774	11,884
3	10,904	11,789	11,899	11,774	11,884
2	11,050	12,112	12,265	12,097	12,251
1	11,050	12,112	12,265	12,097	12,251

5.4 Pemodelan SAP2000

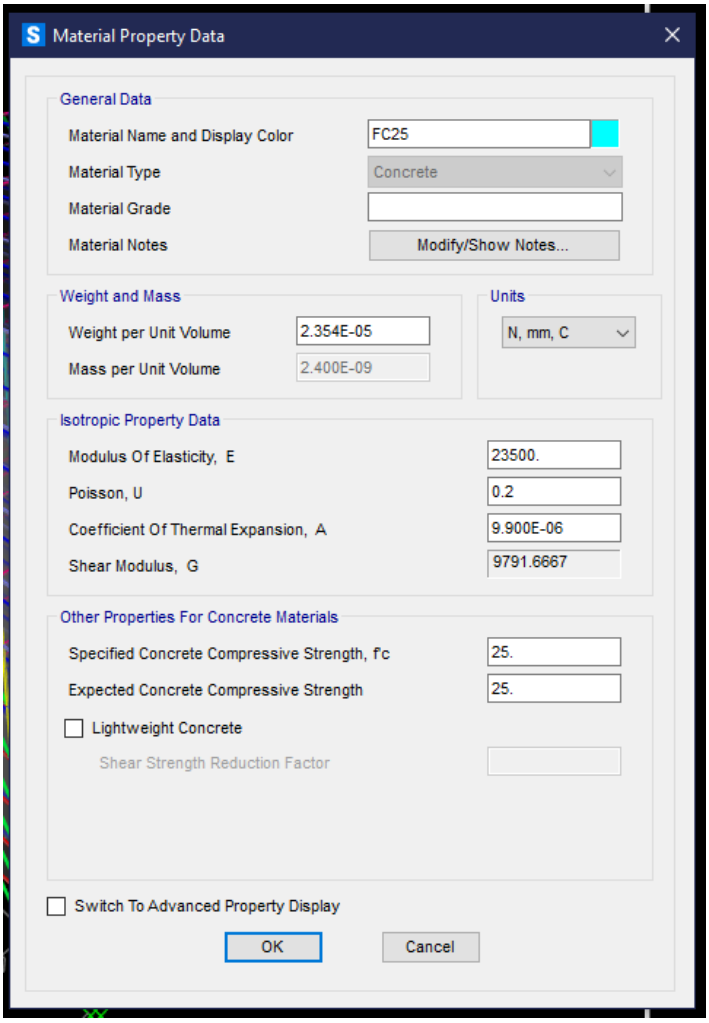
Pemodelan struktur akan menggunakan *software* SAP2000 v25. Tahapan pemodelan akan diterapkan sama terhadap semua struktur yanag akan diamati. Adapun detail tahapan pemodelan SAP2000 akan dirincikan sebagai berikut.

1. Input material

   Input material bertujuan untuk memasukkan data material yang akan digunakan dalam pemodelan. Dalam hal ini, ada 2 material yang akan digunakan, yakni baja dan beton. Langkah inputnya adalah, klik Define – Materials… – Add New Material… – pada bagian Region, pilih User – pada Material Type, pilih Steel/Concrete sesuai material yang ingin dimasukan terlebih dahulu – masukkan spesifikasi material seperti Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut dan harap perhatikan satuan yang digunakan saat input.



Gambar 5.12 Spesifikasi Material Baja BJ41

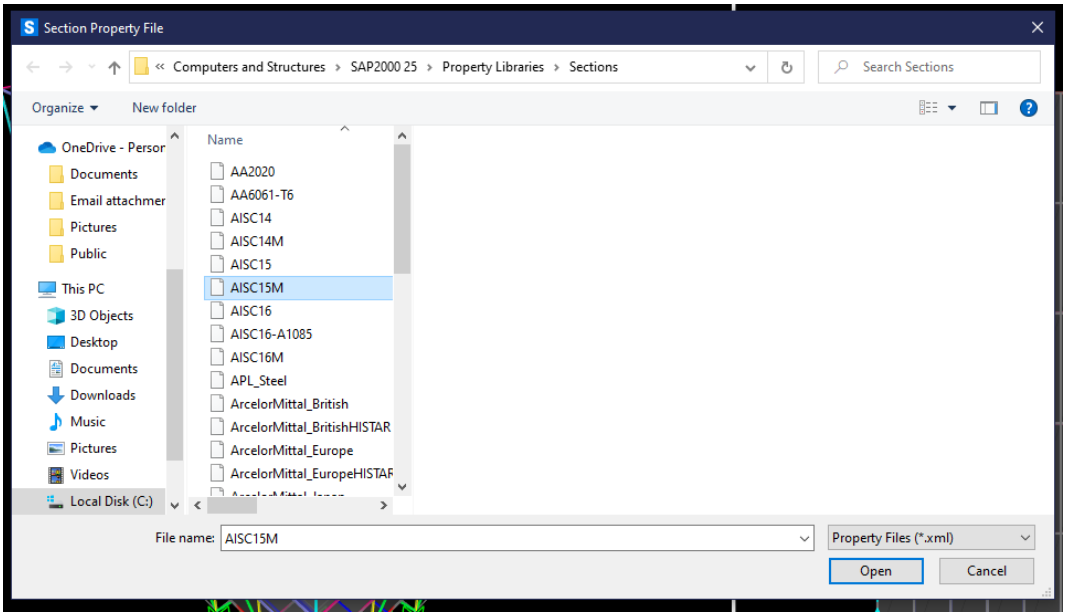


Gambar 5.13 Spesifikasi Material Beton FC25

2. Input Elemen Struktur Baja

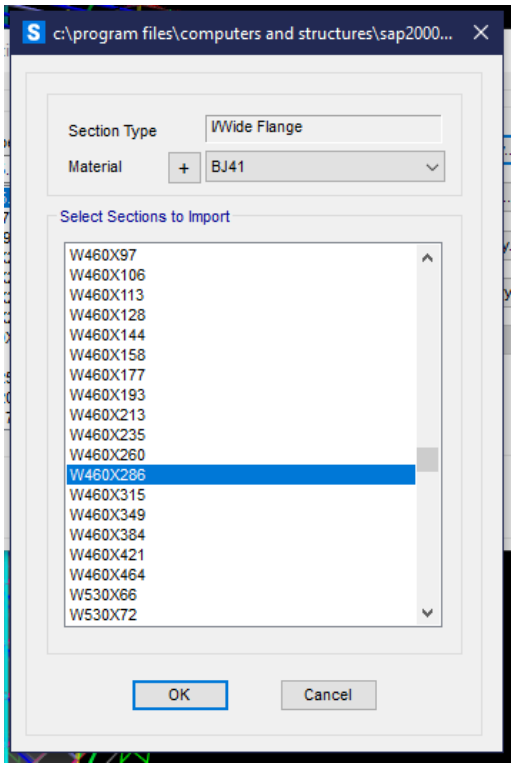
   Elemen struktur baja yang dimasukkan ke dalam model terdiri dari balok, kolom, bresing, dan *link*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, profil baja yang digunakan adalah profil baja IWF yang mengacu pada *AISC Shapes Database V15.0*. *Database* tersebut telah disediakan dalam *software* SAP2000.

   Langkah Inputnya adalah, Define – Section Properties – Frame Sections… – klik Import New Property… – pilih Steel – klik I/Wide Flange. Maka akan muncul jendela baru untuk memilih database yang diinginkan. Dalam penelitian ini kita akan menggunakan *AISC Shapes Database V15.0*. *Database*, maka pilih AISC15M untuk database dengan satuan internasional (metrics/SI) Seperti Gambar 5.14 berikut.

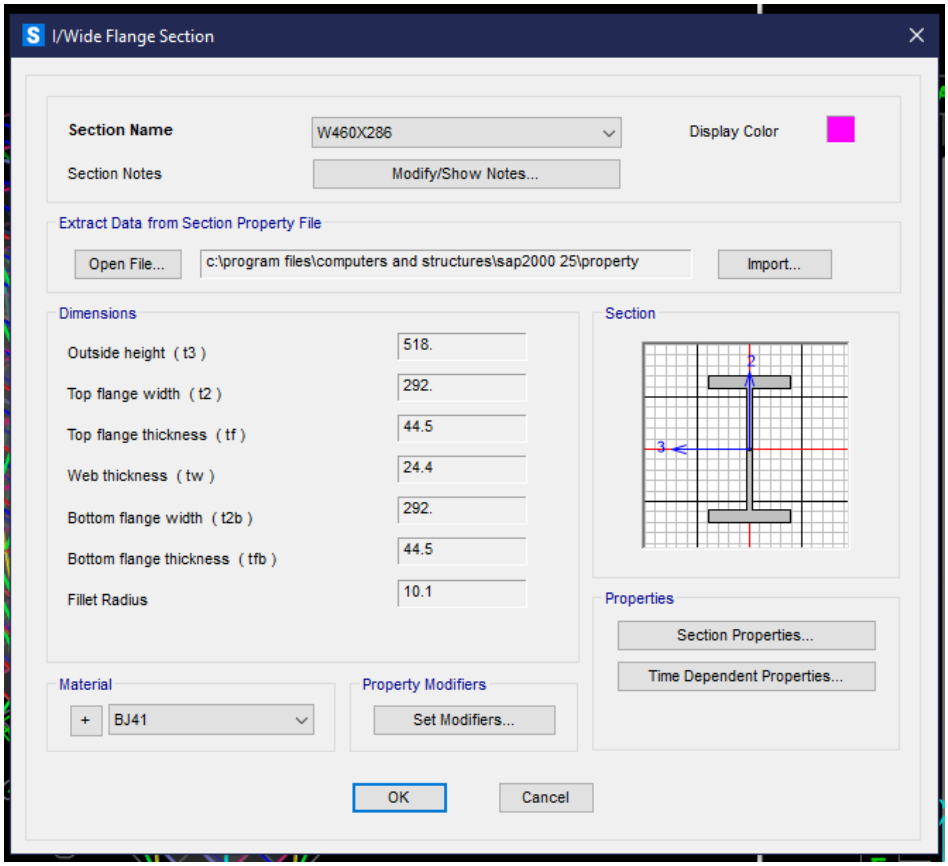


Gambar 5.14 Pemilihan Database Profil Baja

Kemudian, klik Open – pilih Material baja yang telah dimasukkan sebelumnya – pilih profil yang akan dimasukkan – klik OK – pada jendela review profil, klik OK. Seperti pada Gambar 5.15 dan 5.16 Berikut.



Gambar 5.15 Pemilihan Material dan Profil

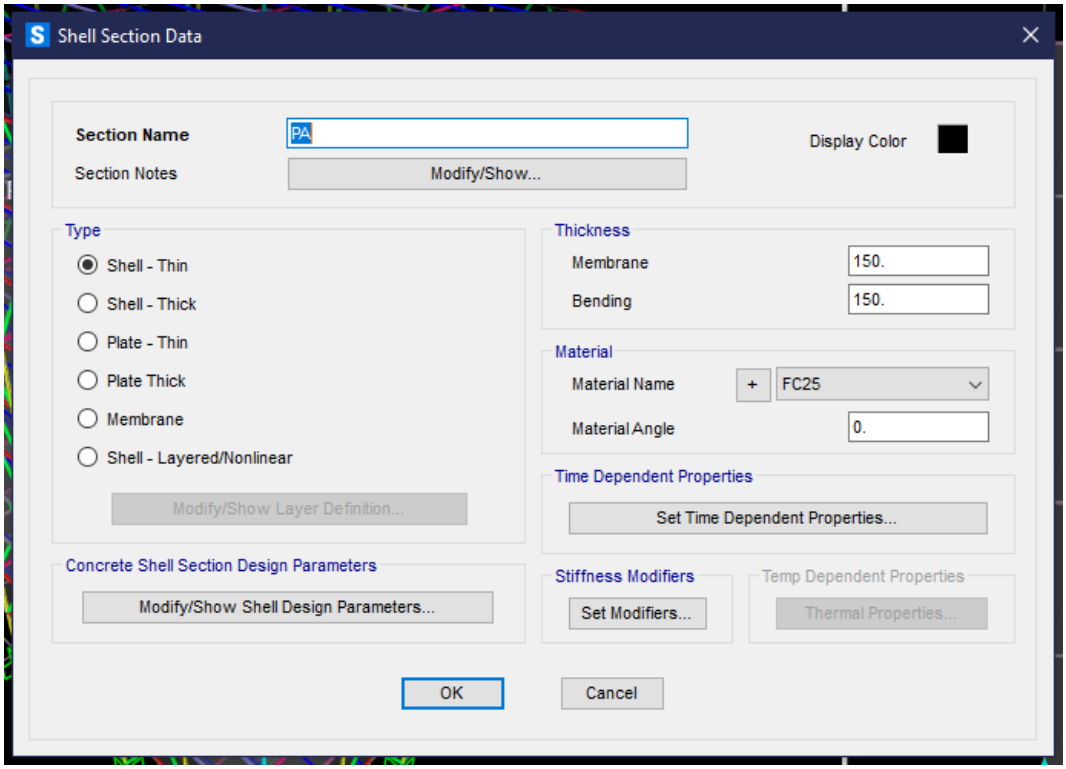


Gambar 5.16 Jendela Review Profil yang Sudah Dipilih

Masukkan semua profil baja yang akan digunakan dalam pemodelan, meskipun kemungkinan kesalahan Import profil dari database rendah, akan tetapi kita tidak dapat mengedit profil yang sudah dimasukkan. Jika ingin mengubah sebuah profil, maka profil lain harus diimpor ulang dengan langkah yang sama seperti di atas.

3. Input Elemen Struktur Beton

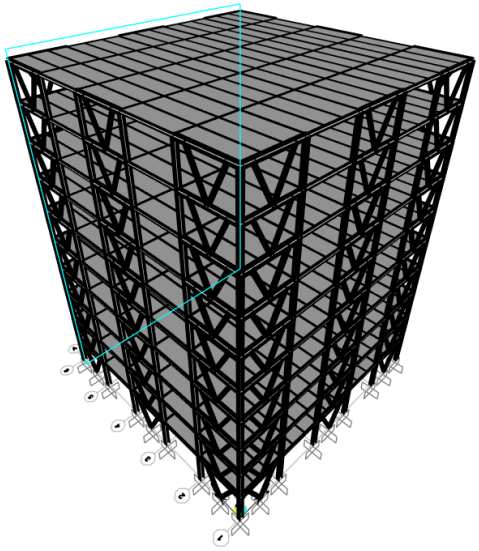
   Elemen struktur beton yang akan dimasukkan ke dalam model hanya terdiri dari pelat lantai dan pelat atap. Langkah inputnya adalah, Define – Section Properties – Area Sections… – pilih Shell – klik Add New Section… – pada pilihan Type, pilih Shell-Thin – bbah Thickness sesuai dengan satuan dan ketebalan yang diinginkan – pada pilihan Material, pilih material beton yang sudah dimasukkan sebelumnya – klik OK. Ulangi langkah untuk masing-masing pelat yang akan dimasukkan. Adapun spesifikasi salah satu pelat yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Spesifikasi Pelat yang Dimasukkan

4. Pemodelan 3D Struktur

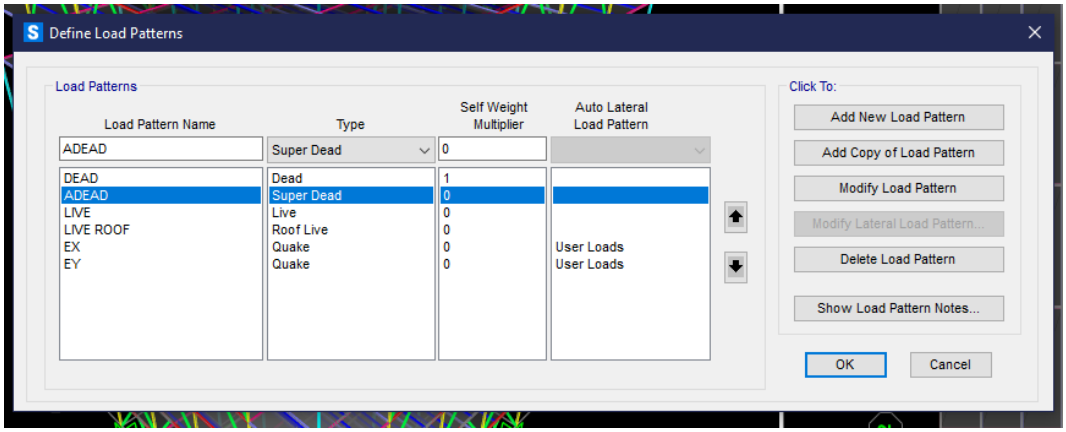
   Pada tahap ini, model 3D struktur akan dibuat dengan menempatkan elemen-elemen yang sudah dimasukkan sebelumnya sesuai dengan denah dan penempatan elemen yang telah direncanakan.



Gambar 5.18 Tampak 3D Struktur Jadi

5. Input Beban Mati Tambahan

   Beban mati tambahan akan dimasukkan sesuai dengan perhitungan sebelumnya. Langkah inputnya adalah, Define – Load Patterns – pada Load Pattern Name, ubah menjadi ‘ADEAD’ – pada Type, pilih Super Dead – klik Add New Load Pattern. Adapun langkah ini dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



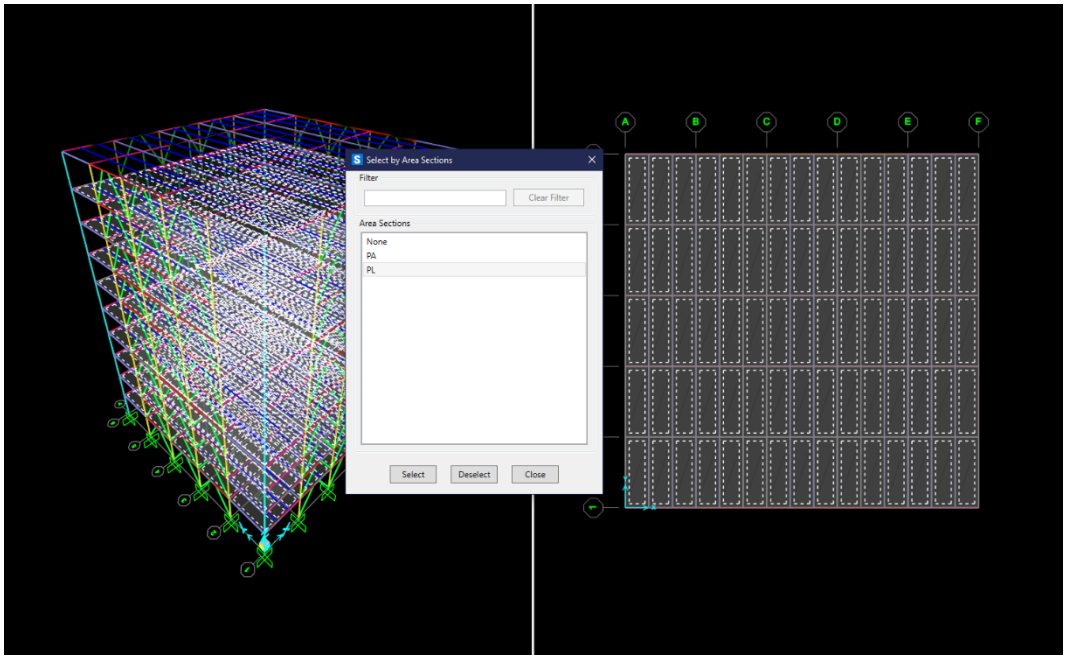
Gambar 5.19 Input Beban Mati Tambahan

6. Input Beban Hidup Pelat

   Beban hidup dimasukkan dengan langkah yang sama dengan beban mati tambahan, hanya pilihan Type saja yang berbeda, pada Type, pilih Live atau Roof Live.

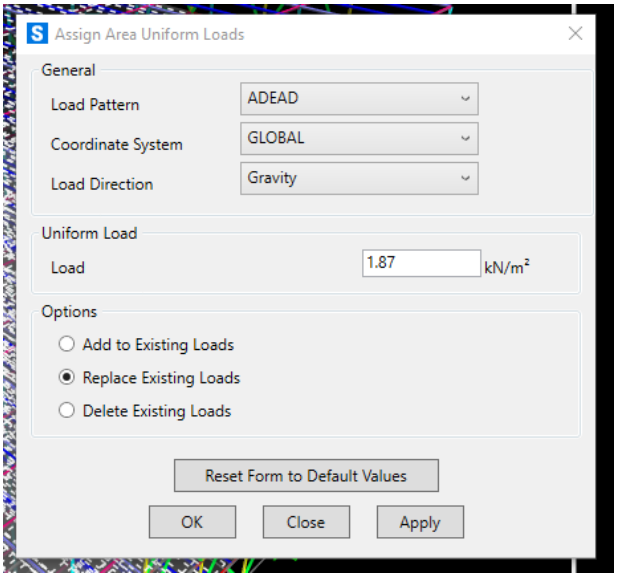
7. Input Beban ke Pelat

   Beban pada pelat akan diberikan ke masing-masing pelat lantai dan atap. Adapun langkahnya, pilih terlebih dahulu semua pelat yang akan diberi beban dengan cara, Select – Select – Properties – Area Sections – pilih pelat yang akan diberi beban – klik Select – klik Close. Adapun langkah ini dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Pemilihan Pelat yang Akan Diberi Beban

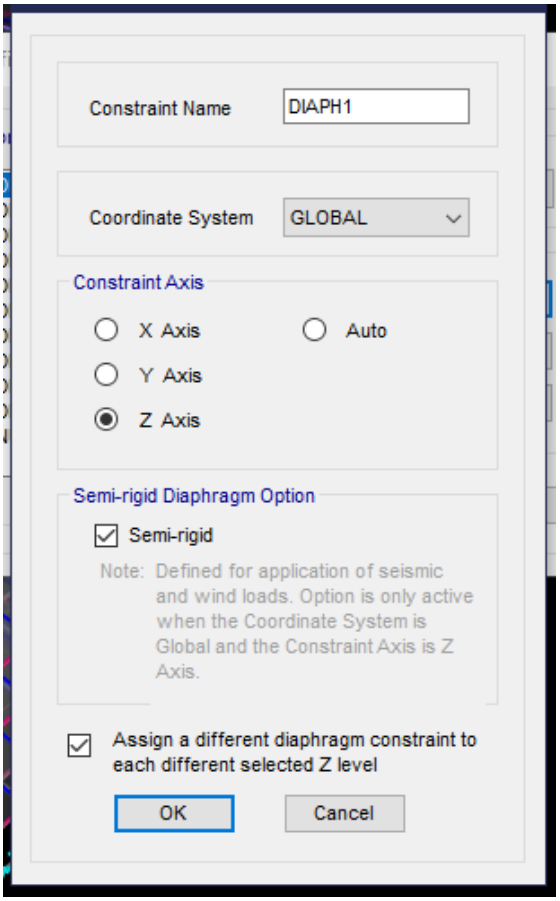
Setelah itu, berikan beban pada pelat. Adapun langkahnya adalah, Assign – Area Loads – Uniform (Shell)… – pada Load Pattern, pilih ADEAD/LIVE – pada kotak Load, masukkan besar beban. Adapun langkah ini dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Pemebebanan Pelat

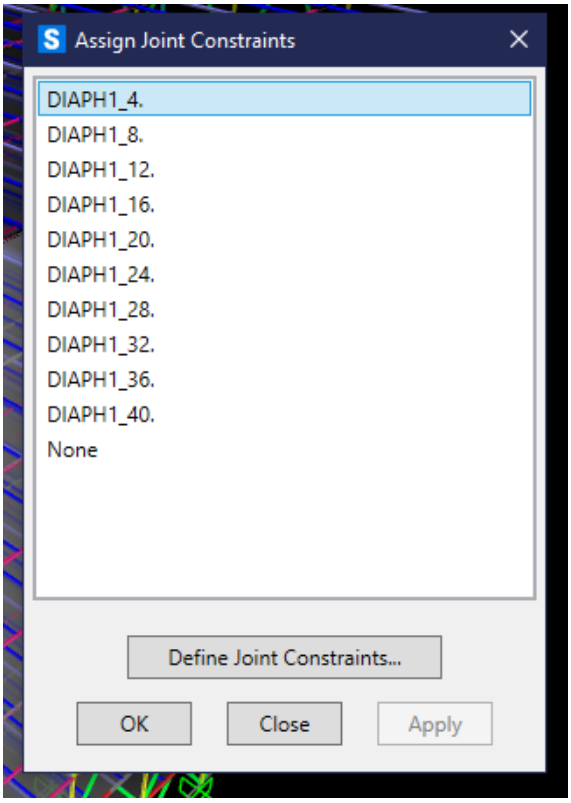
8. Mendefinisikan Diafragma

Diafragma dapat diinput ke dalam model dengan langkah sebagai berikut. Klik Define – Joint Constraints… – pada Choose Constraint Type to Add, pilih Diaphragm. Sesusaikan seperti pada Gambar 5.22 Berikut, kemudian pilih OK.



Gambar 5.22 Penyesuaian Define Diafragma

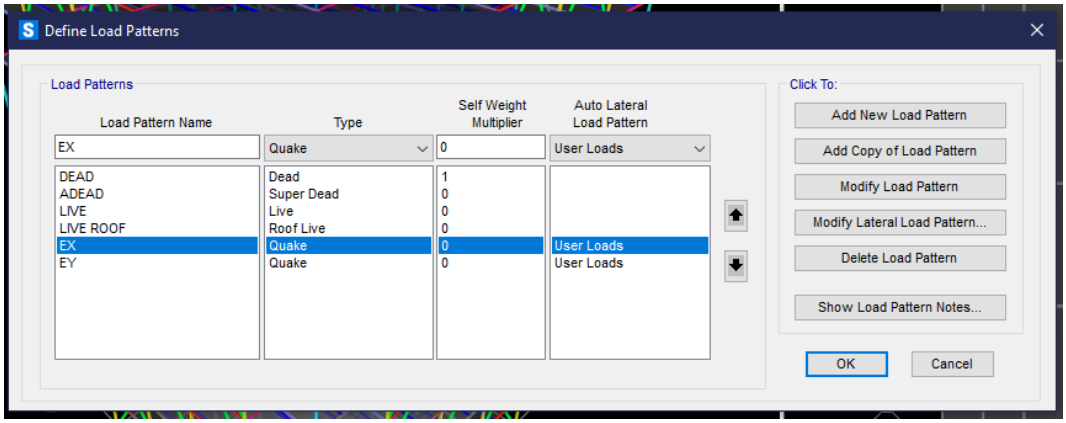
Terakhir, seleksi semua balok dan pelat tiap lantai, klik Assign – Joint – Constraints… – pilih DIAPH1 – klik Apply – klik OK. Sekarang struktur telah memiliki diafragma tiap lantai seperti yang terlihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Diafragma yang Telah Diterapkan Pada Tiap Lantai

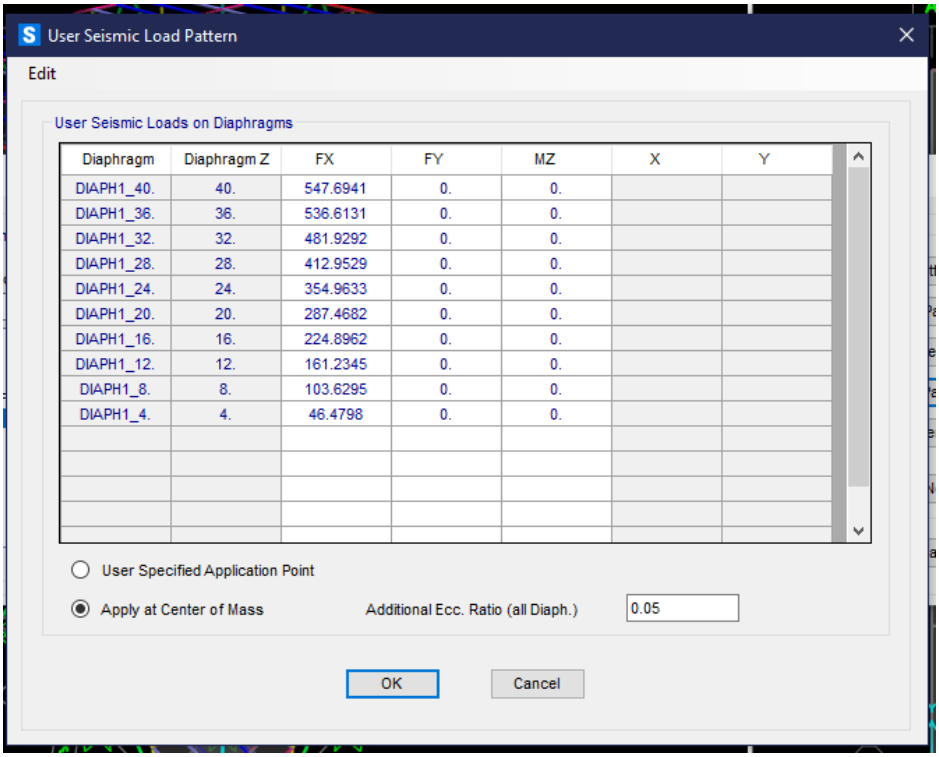
9. Input Beban Lateral

   Beban lateral dapat diinput setelah Load Pattern khusus untuk beban lateral dibuat terlebih dahulu. Langkahnya, klik Define – pilih Load Patterns… – Tambahkan Load Pattern baru dengan nama EX/EY – pada type, pilih Quake pada Auto Lateral Load Pattern, pilih User Loads – klik Add New Load Pattern. Langkah ini dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5.24 Load Pattern EX dan EY

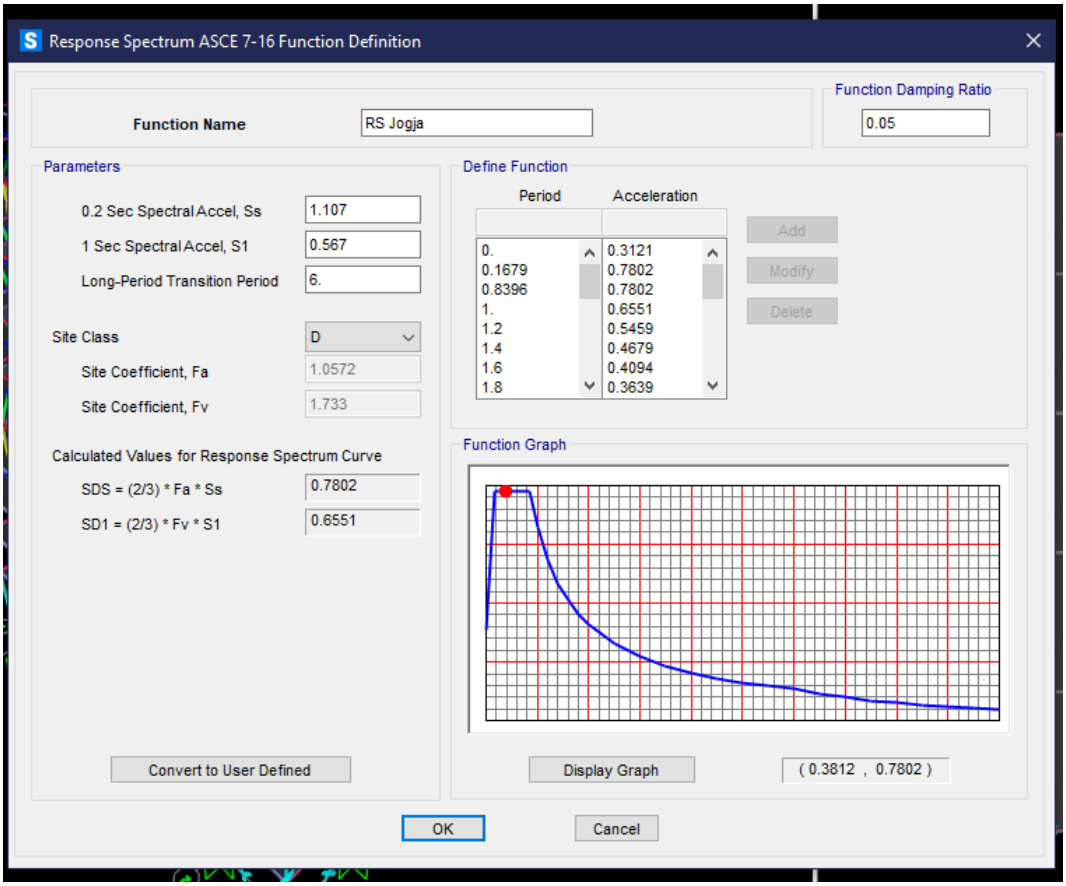
Setelah Load Pattern dibuat, maka masukkan beban lateral dengan cara, klik Modify Lateral Load Pattern… – masukkan data beban lateral tiap lantai pada kolom FX/FY sesuai arah masing-masing Load Pattern. Adapun langkah ini dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.25 Input Beban Lateral FX/FY

10. Input Respon Spektrum

    Respon spektrum sesuai lokasi denah yang akan diteliti dapat dimasukkan dengan langkah berikut. Klik Define – Functions – Response Spectrum… – pada Choose Function Type to Add, pilih ASCE 7-16 – klik Add New Function…dan ubah isi pengaturan yang ada menjadi seperti Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26 Setting Respon Spektrum

5.5 Analisa Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Bresing

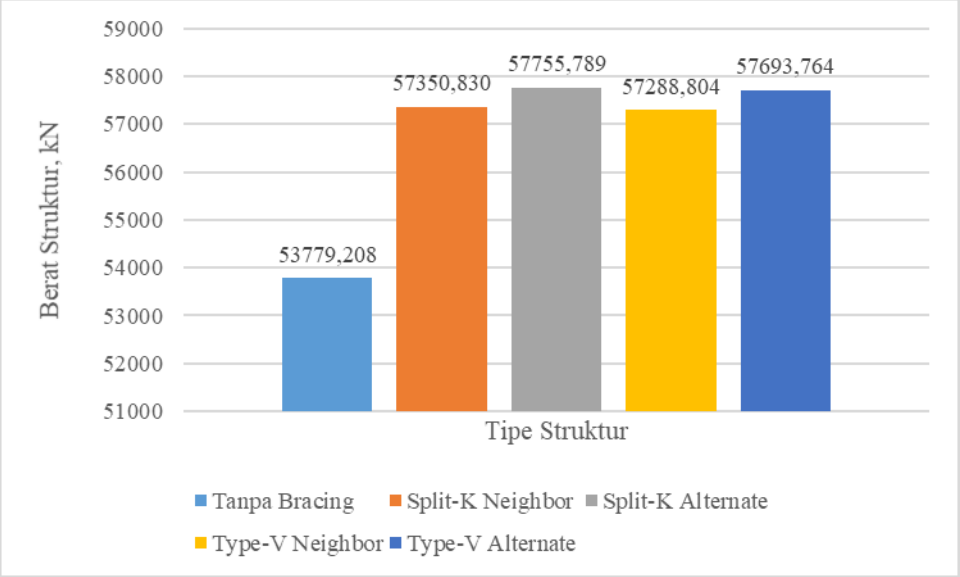
Analisa akan dilakukan dengan mengamati dan membandingkan sejumlah parameter yang diambil dari pengecekan awal dan perilaku struktur sebgaai berikut.

5.5.1 Berat Struktur

Berat strukur secara total dapat diperoleh dari perhitungan manual atau SAP2000. Adapun berat struktur yang dihitung secara manual dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.27 berikut.

Tabel 5.8 Berat Total Tiap Model Struktur

Tipe struktur	Berat Struktur (kN)
Tanpa Bresing	53779,208
Split-K Neighbor	57350,830
Split-K Alternate	57755,789
Type-V Neighbor	57288,804
Type-V Alternate	57693,764



Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Berat Total Struktur

Dari grafik dan tabel dapat dlihat bahwa model struktur tanpa bresing memiliki berat total terkecil dan struktur *Split-K Alternate* memiliki berat total terbesar.

5.5.2 Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019, partisipasi massa yang diizinkan harus memenuhi syarat melebihi 90% atau 0,9. Partisipasi massa pada penelitian ini dicoba dengan jumlah mode dari Modal sebanyak 30 mode. Adapun hasil rekapitulasi partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Partisipasi Massa Tiap Model Struktur

Mode	Tanpa Bresing		*Split-K Neighbor*		*Split-K Alternate*		*Type-V Neighbor*		*Type-V Alternate*	
	Sum UX	Sum UY	Sum UX	Sum UY	Sum UX	Sum UY	Sum UX	Sum UY	Sum UX	Sum UY
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,00	79,52	0,00	77,24	0,00	71,39	0,00	76,71	0,00	72,11
2	0,00	79,52	76,28	77,24	71,54	71,39	76,26	76,71	72,16	72,11
3	79,21	79,52	76,29	77,24	71,54	71,39	76,26	76,71	72,16	72,11
4	79,21	89,59	76,29	91,08	71,54	89,66	76,26	90,25	72,16	89,16
5	79,21	89,59	89,75	91,08	88,91	89,66	89,95	90,25	88,60	89,16
6	89,48	89,59	90,06	91,08	88,91	89,66	89,95	94,65	88,60	89,16
7	89,48	93,55	90,06	91,08	88,91	94,71	89,95	94,65	88,60	94,27
8	89,48	95,75	90,06	95,24	88,91	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
9	89,48	95,75	90,06	95,26	88,91	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
10	93,48	95,75	94,19	95,26	93,88	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
11	93,48	97,21	94,19	95,26	93,88	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
12	93,48	97,21	94,20	95,26	93,89	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
13	95,70	97,21	94,20	95,26	93,89	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
14	95,70	98,11	94,20	95,26	93,89	94,71	94,16	94,65	93,62	94,27
15	95,70	98,11	94,20	95,26	93,89	94,71	94,16	96,80	93,62	94,27
16	95,70	98,75	94,20	95,26	93,89	94,71	94,16	96,80	93,62	96,60
17	97,18	98,75	94,20	95,26	93,89	94,71	94,16	96,80	93,62	96,60
18	97,18	99,17	94,20	95,27	93,89	94,71	94,16	96,80	93,62	96,60
19	97,18	99,17	94,20	95,27	93,89	94,71	94,16	96,81	93,62	96,61
20	97,18	99,51	94,20	95,28	93,89	96,52	94,16	96,81	93,62	96,61
21	98,07	99,51	94,20	97,25	93,89	96,96	96,26	96,81	95,98	96,61
22	98,07	99,51	94,22	97,25	93,92	96,96	96,26	96,81	95,98	96,61
23	98,07	99,51	95,01	97,25	96,17	96,96	96,26	97,66	95,98	96,61
24	98,07	99,51	96,32	97,25	96,17	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
25	98,07	99,51	96,32	97,25	96,19	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
26	98,07	99,51	96,32	97,25	96,19	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
27	98,07	100,00	96,32	97,25	96,19	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
28	98,07	100,00	96,32	97,25	96,19	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
29	98,07	100,00	96,32	97,25	96,19	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
30	98,07	100,00	96,32	97,25	96,19	96,96	96,27	97,66	95,98	97,53
>90%	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**

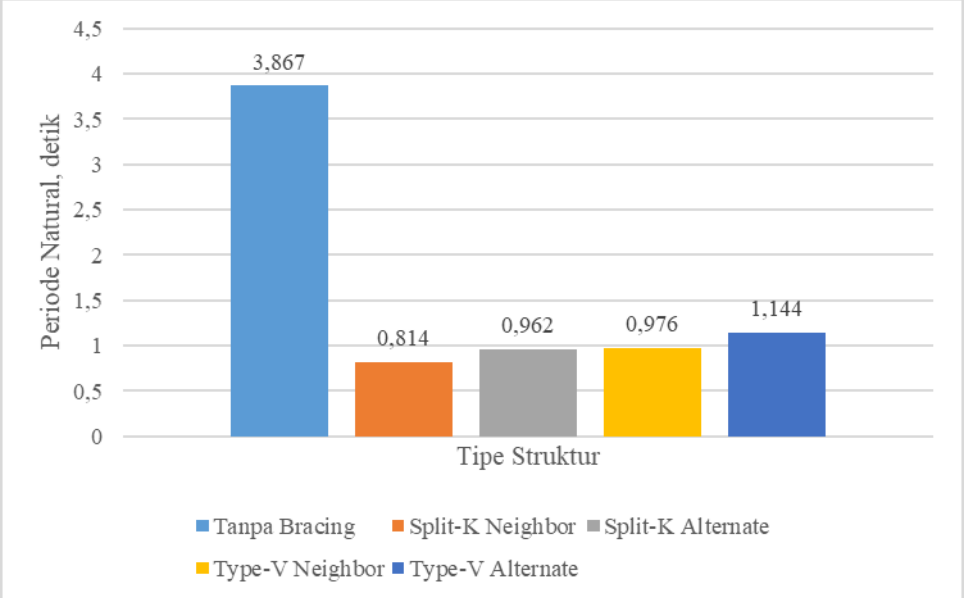
Maka didapat hasil bahwa seluruh model struktur telah memenuhi persayaratan partisipasi massa minimum yang disyaratkan SNI.

5.5.3 Periode Natural

Periode natural didapat dari mode 1 running Modal pada SAP2000. Periode pada mode 1 merupakan periode terbesar dan dapat dianggap mewakili periode natural model secara keseluruhan dan digunakan pada semua arah perhitungan agar lebih aman. Adapun rekapitulasi periode natural tiap struktur model dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.28 berikut.

Tabel 5.10 Periode Natural Tiap Model Struktur

Tipe struktur	Periode Natural (detik)
Tanpa Bresing	3,867
Split-K Neighbor	0,814
Split-K Alternate	0,962
Type-V Neighbor	0,976
Type-V Alternate	1,144



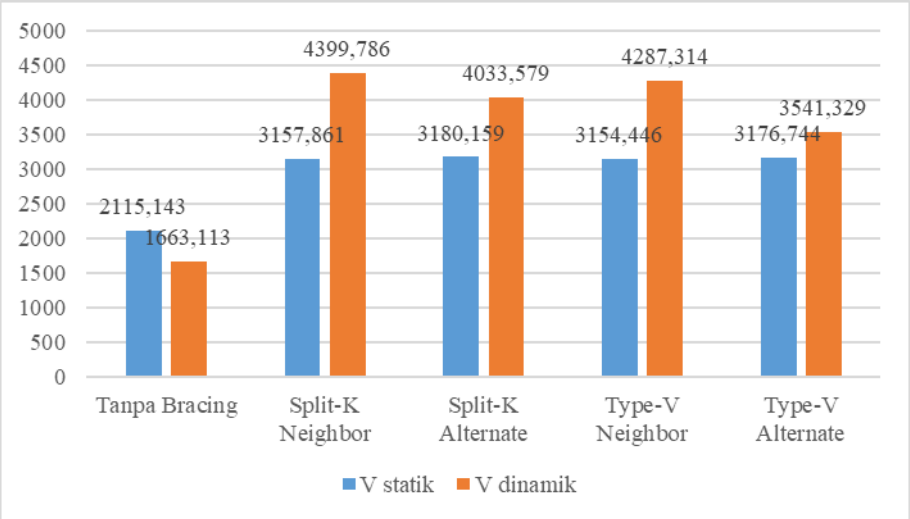
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Periode Natural Tiap Model Struktur

5.5.4 *Base Shear*

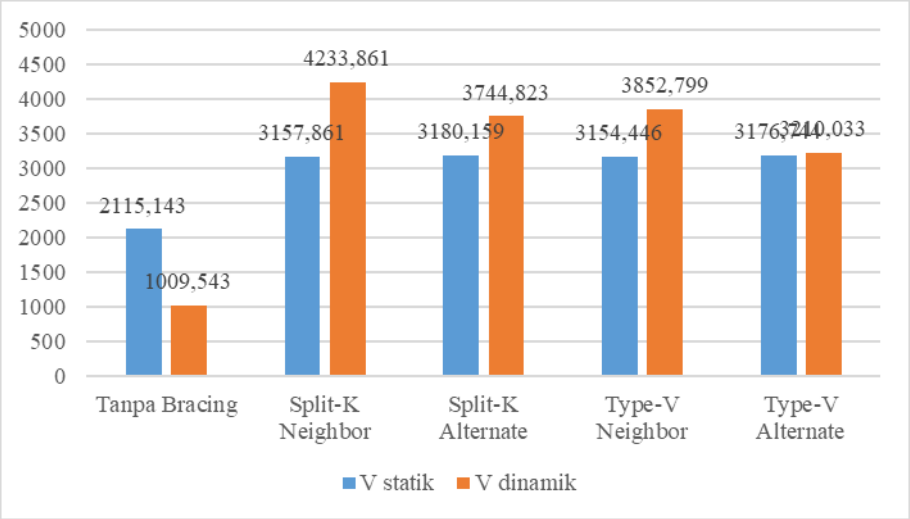
Base shear atau gaya geser dasar (V) pada tiap model terdiri dari gaya geser statik dan gaya geser dinamik, perhitungan gaya geser statik didapat melalui rumus perhitungan SNI 1726:2019 pada sub bab 5.2.3. Sedangkan gaya geser dinamik didapat melalui hasil output running SAP2000 pada tabel dengan langkah, Ctrl+T setelah running – ANALYSIS RESULTS – Structure Output – Base Reactions – Table: Base Reactions. Adapun rekapitulasi *base shear* tiap model struktur dapat dilihat pada Tabel 5.11, Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 berikut.

Tabel 5.11 *Base Shear* Tiap Model Struktur

Tipe	V_{statik}		$V_{dinamik}$		Kontrol	
	X	Y	X	Y		
	kN	kN	kN	kN	X	Y
Tanpa Bresing	2115,143	2115,143	1663,113	1009,543	NOT OK	NOT OK
Split-K Neighbor	3157,861	3157,861	4399,786	4233,861	OK	OK
Split-K Alternate	3180,159	3180,159	4033,579	3744,823	OK	OK
Type-V Neighbor	3154,446	3154,446	4287,314	3852,799	OK	OK
Type-V Alternate	3176,744	3176,744	3541,329	3210,033	OK	OK



Gambar 5.29 *Base Shear* Arah X



Gambar 5.30 *Base Shear* Arah Y

Didapat bahwa *base shear* dari model struktur tanpa bresing tidak memenuhi syarat kontrol, maka dilakukan perhitungan skala revisi yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Faktor Skala Revisi

Tipe	Faktor Skala Revisi	
	X	Y
Tanpa Bresing	1,272	2,095
Split-K Neighbor	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Split-K Alternate	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Type-V Neighbor	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Type-V Alternate	Tidak Perlu	Tidak Perlu

5.5.5 Ketidakberaturan Struktur

Ketidakberaturan struktur yang diperiksa terdiri atas ketidakberaturan struktur vertikal dan horizontal. Tabel perhitungan lengkap ketidakberaturan masing-masing model struktur dapat dilihat pada lampiran. Sedangkan rekapitulasi hasil pengecekan ketidakberaturan tiap model dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Ketidakberaturan Tiap Model Struktur

Ketidakberaturan	Model Struktur				
	Tanpa Bresing	***Split-K Neighbor***	***Split-K Alternate***	***Type-V Neighbor***	***Type-V Alternate***
Vertikal tipe 1	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Vertikal tipe 2	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Vertikal tipe 3	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Vertikal tipe 4	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Vertikal tipe 5	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Horizontal tipe 1	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Horizontal tipe 2	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Horizontal tipe 3	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Horizontal tipe 4	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan
Horizontal tipe 5	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan	Beraturan

Hasil didapatkan bahwa seluruh struktur tidak memiliki ketidakberaturan. Hal ini disebabkan oleh model bangunan yang simetris baik secara vertikal maupun horizontal.

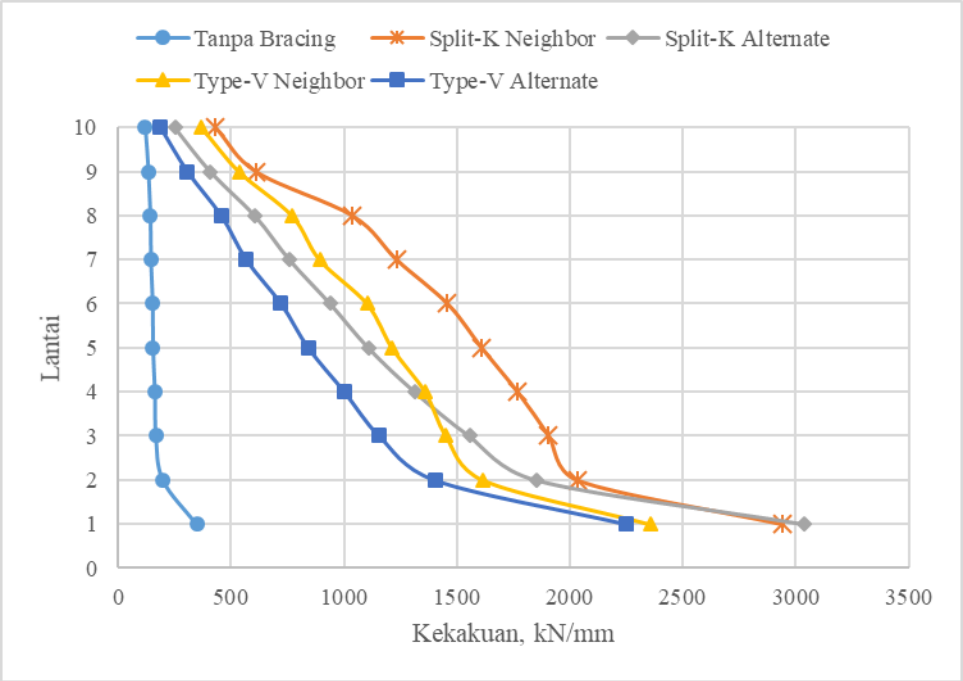
5.5.6 Kekakuan Struktur Tiap Lantai

Kekakuan struktur tiap lantai diperoleh dari pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1 arah X dan Y yang dapat dilihat pada lampiran. Gaya yang digunakan untuk pengecekan ketidakberaturan tersebut seragam sebesar 1 kN tiap lantai. Kekakuan didapat dengan membagi gaya akumulatif (V_x) dengan simpangan antar lantai (Δ_i) yang bekerja pada tiap lantai akibat gaya 1 kN tersebut.

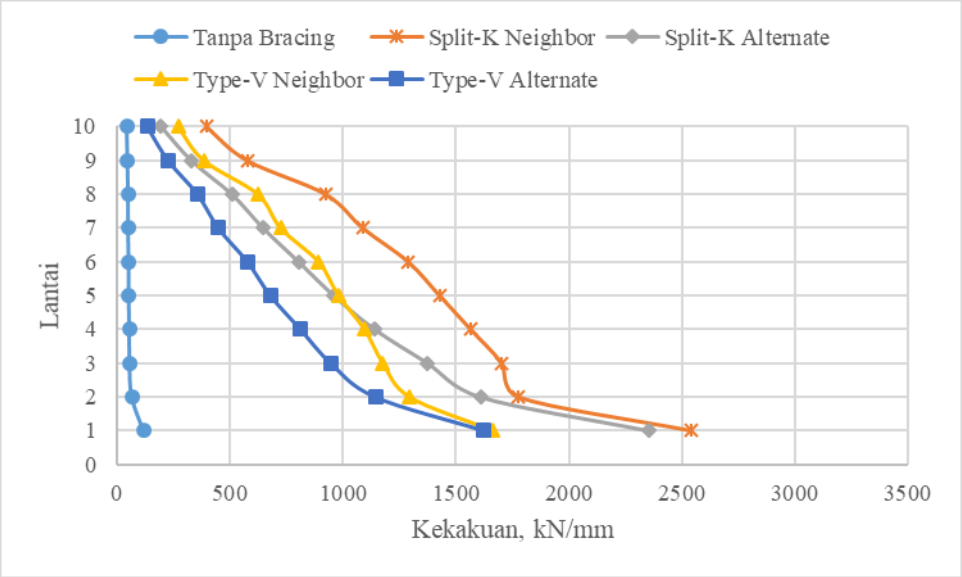
Adapun rekapitulasi kekakuan struktur tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.14, Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut.

Tabel 5.14 Kekakuan Struktur Tiap Lantai

Lantai	Tanpa Bracing		Split-K Neighbor		Split-K Alternate		Type-V Neighbor		Type-V Alternate	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm
10	120,569	44,940	430,293	395,413	252,398	196,194	370,370	271,887	187,056	136,911
9	134,499	48,347	610,128	576,868	409,668	329,544	535,619	386,100	306,185	229,095
8	143,321	50,695	1037,344	923,645	606,796	508,992	770,021	624,480	455,996	359,066
7	145,312	50,989	1232,286	1087,843	759,878	647,144	892,260	724,506	566,251	450,603
6	153,261	53,399	1457,726	1288,992	940,911	804,764	1102,536	892,538	720,877	579,039
5	154,552	53,626	1608,579	1427,891	1109,262	960,615	1212,856	980,713	840,925	680,581
4	162,794	56,082	1767,677	1564,945	1314,307	1141,180	1359,487	1094,948	1001,001	813,386
3	167,081	57,315	1905,669	1701,766	1555,815	1375,279	1451,906	1176,298	1155,235	946,410
2	198,597	67,112	2033,439	1776,199	1852,233	1608,579	1615,509	1294,405	1402,306	1143,438
1	349,004	119,063	2942,042	2542,588	3040,438	2352,388	2354,603	1662,510	2250,731	1623,640



Gambar 5.31 Kekakuan Tiap Lantai Arah X



Gambar 5.32 Kekakuan Tiap Lantai Arah Y

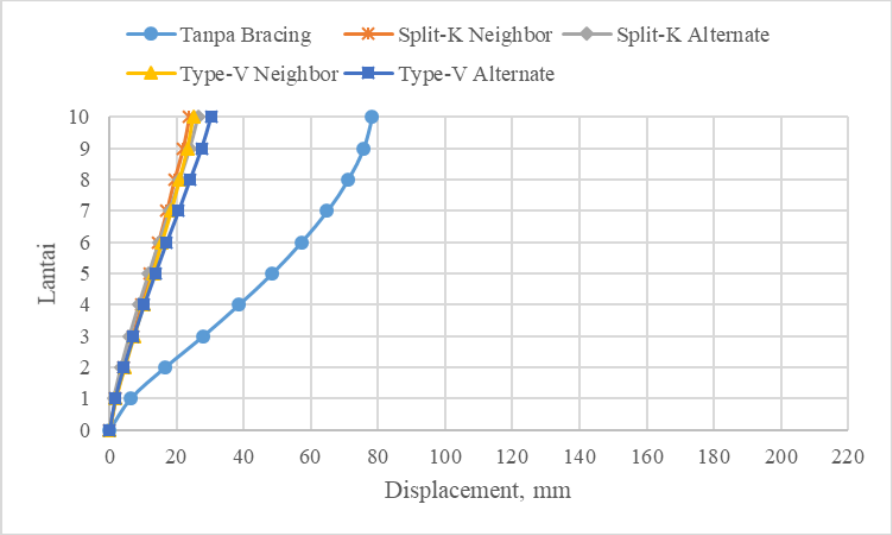
Dari tabel dan grafik dapat dilihat bahwa model struktur *Split-K Neighbor* bekerja paling baik.

5.5.7 *Displacement*

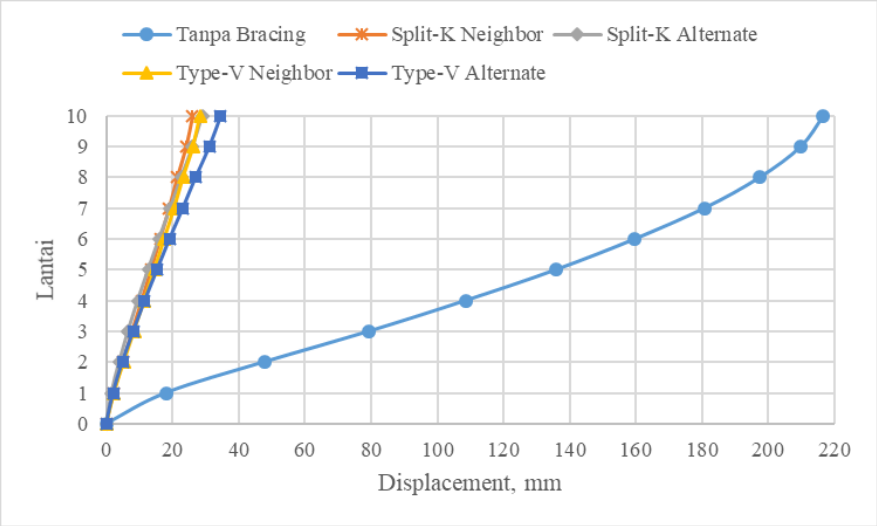
Displacement atau perpindahan tiap lantai didapatkan dari output running SAP2000 dengan langkah sebagai berikut, setelah running, pilih joint – Ctrl+T – ANALYSIS RESULTS – Joint Output – Displacements – Table: Joint Displacements. Adapun displacement tiap model struktur dapat dilihat pada Tabel 5.15, Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.

Tabel 5.15 *Displacement* Tiap Model Struktur

Lantai	Tanpa Bracing		Split-K Neighbor		Split-K Alternate		Type-V Neighbor		Type-V Alternate	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	78,111	216,623	23,792	25,932	26,404	28,939	24,906	28,320	30,279	34,485
9	75,538	209,774	21,960	24,013	23,971	26,046	23,220	26,250	27,484	31,053
8	70,964	197,440	19,334	21,335	20,937	22,561	20,826	23,253	24,025	26,897
7	64,791	180,723	17,072	18,892	17,933	19,264	18,368	20,552	20,622	23,035
6	57,079	159,732	14,599	16,201	14,815	15,897	15,608	17,528	17,052	19,030
5	48,373	135,889	12,089	13,469	11,770	12,624	12,913	14,568	13,662	15,265
4	38,442	108,643	9,480	10,637	8,795	9,466	10,089	11,465	10,297	11,554
3	27,851	79,387	6,859	7,778	6,012	6,515	7,292	8,373	7,139	8,080
2	16,505	47,659	4,268	4,974	3,497	3,888	4,477	5,269	4,178	4,838
1	6,221	18,026	1,764	2,205	1,321	1,568	1,844	2,326	1,625	2,019



Gambar 5.33 *Displacement* Arah X



Gambar 5.34 *Displacement* Arah Y

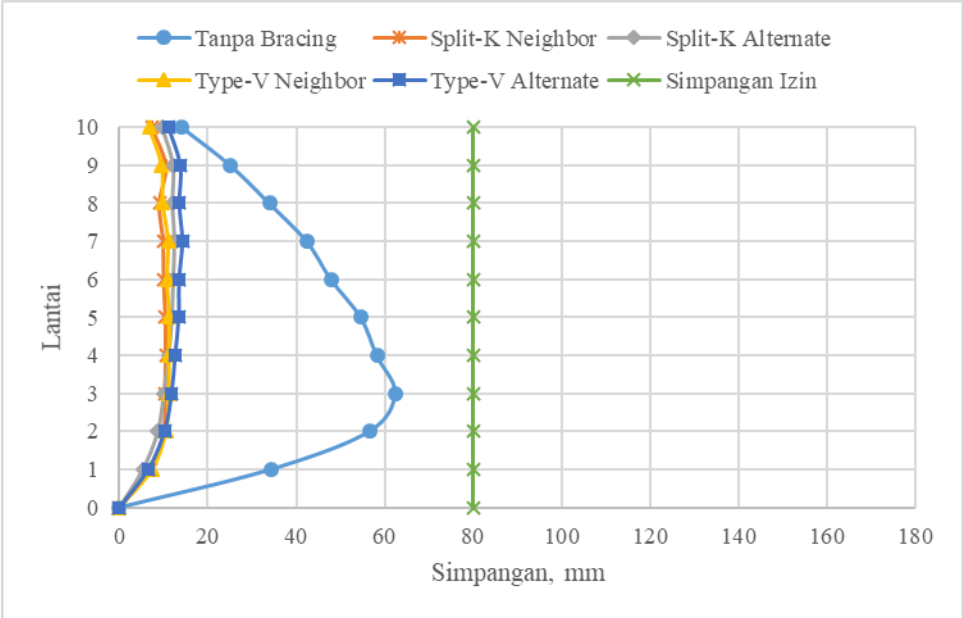
Dapat dilihat dari tabel dan grafik bahwa model struktur *Split-K Neighbor* memiliki nilai *displacement* terkecil.

5.5.8 Simpangan Antar Lantai

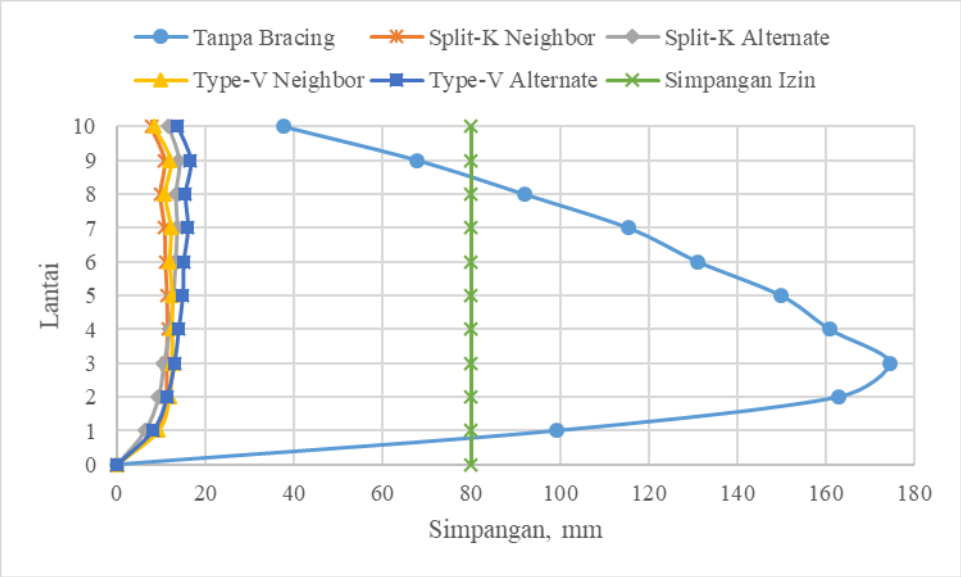
Simpangan antar lantai didapatkan dengan menghitung selisih antara *displacement* lantai satu dengan lantai selanjutnya. Data *displacement* diambil dari salah satu titik kolom pada model struktur dengan langkah sebagai berikut, setelah running, pilih joint – Ctrl+T – ANALYSIS RESULTS – Joint Output – Displacements – Table: Joint Displacements. Rekapitulasi simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 5.16, Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 berikut.

Tabel 5.16 Simpangan Antar Lantai Tiap Model Struktur

Lantai	Tanpa Bresing		*Split-K Neighbor*		*Split-K Alternate*		*Type-V Neighbor*		*Type-V Alternate*		Δijin
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
	mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm	mm
10	14,150	37,667	7,329	7,674	9,734	11,575	6,743	8,281	11,184	13,725	80
9	25,154	67,841	10,507	10,713	12,134	13,940	9,576	11,989	13,834	16,626	80
8	33,951	91,940	9,048	9,772	12,018	13,187	9,834	10,805	13,613	15,448	80
7	42,419	115,454	9,890	10,766	12,471	13,468	11,041	12,097	14,279	16,019	80
6	47,879	131,136	10,039	10,927	12,181	13,091	10,780	11,837	13,561	15,061	80
5	54,625	149,850	10,436	11,326	11,898	12,633	11,293	12,415	13,461	14,845	80
4	58,249	160,911	10,484	11,439	11,134	11,802	11,191	12,365	12,632	13,894	80
3	62,400	174,499	10,365	11,217	10,061	10,509	11,259	12,416	11,841	12,968	80
2	56,566	162,985	10,016	11,072	8,704	9,282	10,531	11,774	10,211	11,278	80
1	34,214	99,142	7,057	8,822	5,283	6,271	7,376	9,303	6,502	8,074	80



Gambar 5.35 Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 5.36 Simpangan Antar Lantai Arah Y

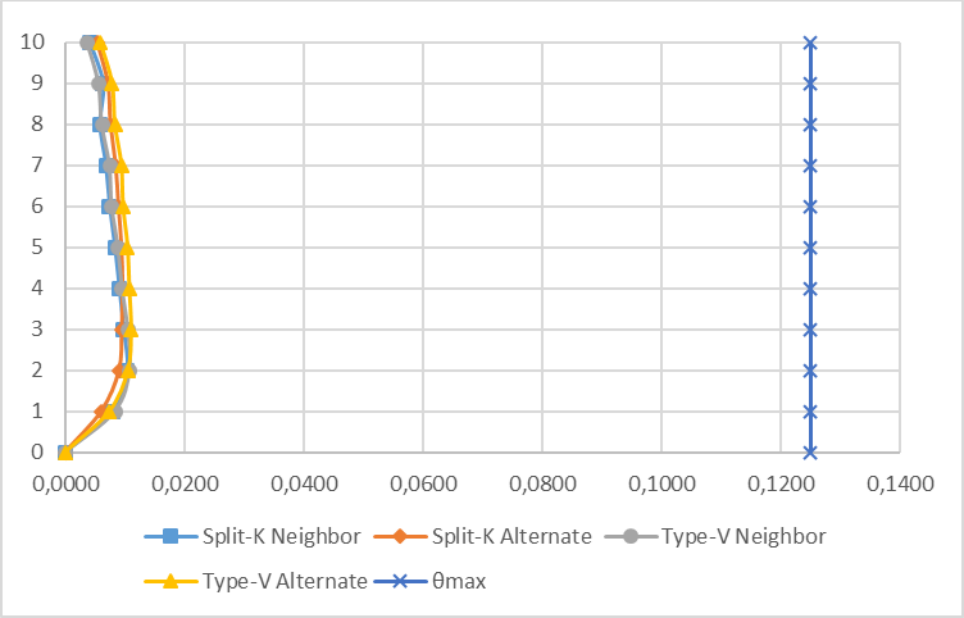
Dari tabel dan grafik dapat dilihat bahwa *Split-K Neighbor* memiliki nilai simpangan antar lantai terkecil.

5.5.9 P-Delta

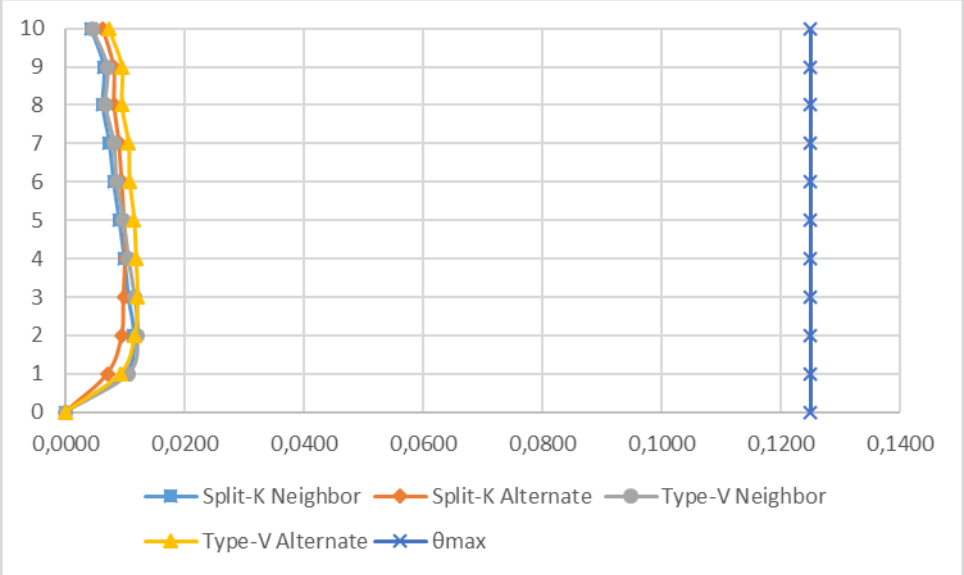
P-Delta merupakan pengaruh gaya gravitasi terhadap perpindahan horizontal suatu struktur. Pengecekan P-Delta tiap model dilakukan dengan menghitung koefisien stabilitas (θ) yang tidak boleh melebihi keofisien stabilitas maksimal sesuai SNI 1726:2019. Adapun rekapitulasi P-Delta tiap model struktur dapat dilihat pada Tabel 5.17, Gambar 5.37 dan Gambar 5.38.

Tabel 5.17 P-Delta Model Struktur Dengan Bresing

Lantai	*Split-K Neighbor*		*Split-K Alternate*		*Type-V Neighbor*		*Type-V Alternate*		θmax
	θX	θY	θX	θY	θX	θY	θX	θY	
10	0,0042	0,0044	0,0053	0,0063	0,0037	0,0045	0,0059	0,0073	0,1250
9	0,0063	0,0065	0,0071	0,0082	0,0056	0,0070	0,0078	0,0094	0,1250
8	0,0058	0,0063	0,0075	0,0083	0,0062	0,0068	0,0083	0,0094	0,1250
7	0,0068	0,0074	0,0084	0,0091	0,0074	0,0082	0,0094	0,0105	0,1250
6	0,0074	0,0081	0,0089	0,0095	0,0078	0,0086	0,0097	0,0107	0,1250
5	0,0083	0,0090	0,0094	0,0099	0,0089	0,0098	0,0104	0,0115	0,1250
4	0,0091	0,0099	0,0095	0,0101	0,0096	0,0106	0,0107	0,0118	0,1250
3	0,0097	0,0105	0,0094	0,0098	0,0105	0,0116	0,0110	0,0121	0,1250
2	0,0103	0,0114	0,0089	0,0095	0,0108	0,0121	0,0105	0,0116	0,1250
1	0,0080	0,0100	0,0060	0,0071	0,0084	0,0106	0,0074	0,0092	0,1250



Gambar 5.37 P-Delta Model Struktur Dengan Bresing Arah X

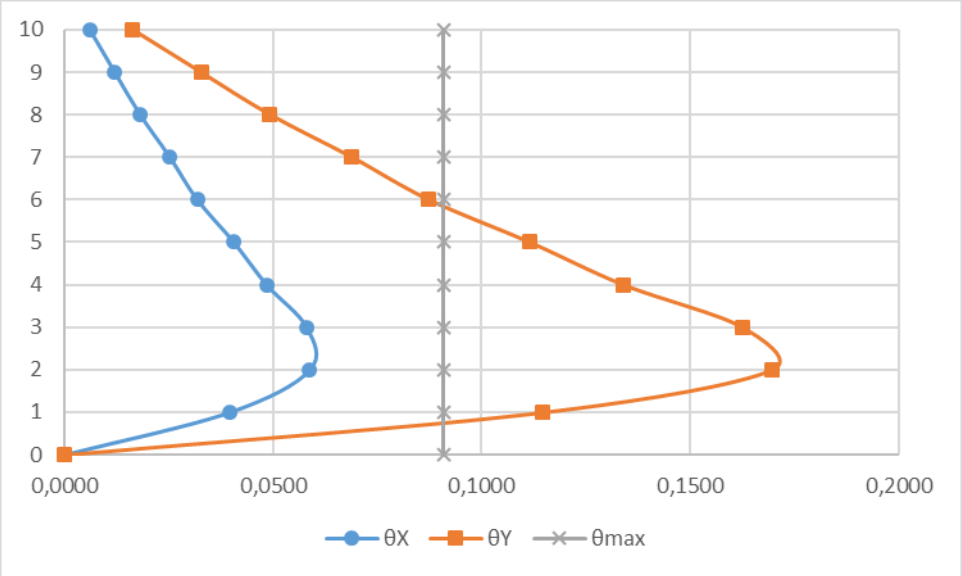


Gambar 5.38 P-Delta Model Struktur Dengan Bresing Arah Y

Karena model struktur tanpa bresing memiliki koefisien stabilitas yang berbeda, maka, data P-Delta akan disajikan terpisah yang dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Gambar 5.39 berikut.

Tabel 5.18 P-Delta Model Struktur Tanpa Bresing

Lantai	Tanpa Bresing		θmax
	θX	θY	
10	0,0061	0,0164	0,0909
9	0,0121	0,0328	0,0909
8	0,0182	0,0493	0,0909
7	0,0253	0,0689	0,0909
6	0,0319	0,0873	0,0909
5	0,0407	0,1115	0,0909
4	0,0485	0,1340	0,0909
3	0,0581	0,1625	0,0909
2	0,0588	0,1695	0,0909
1	0,0395	0,1146	0,0909



Gambar 5.39 P-Delta Model Struktur Tanpa Bresing

Didapatkan bahwa seluruh model kecuali model struktu rtanpa bresing dapat memenuhi syarat untuk mengabaikan pengaruh P-Delta.

5.5.10 Rekapitulasi Hasil Analisa Konfigurasi dan Posisi Bresing

1. Berat Struktur

   Berat Struktur terbesar dialami oleh model struktur *Split-K Neighbor*. Sedangkan berat struktur terkecil dialami oleh model struktur tanpa bresing

2. Partisipasi Massa

   Seluruh model struktur sudah melebihi syarat minimal partisipasi massa sebesar

90% dalam 30 mode yang diuji.

3. Periode Natural

   Periode natural struktur terbesar dialami oleh model struktur tanpa bresing. Sedangkan periode natural struktur terkecil dialami oleh model struktur *Split-K Neighbor.*

4. *Base Shear*

   Seluruh model struktur kecuali struktur tanpa bresing telah memenuhi persyaratan dan tidak perlu melakukan perhitungan ulang faktor skala.

5. Ketidakberaturan Struktur

   Seluruh model struktur tidak memiliki ketidakberaturan vertikal maupun horizontal.

6. Kekakuan Struktur Tiap Lantai

   Kekakuan struktur terbesar dialami oleh model struktur *Split-K Neighbor*. Sedangkan kekakuan terkecil dialami oleh model struktur tanpa bresing.

7. *Displacement*

   Displacement terkecil dialami oleh model struktur *Split-K Neighbor*. Sedangkan *displacement* terbesar dialami oleh model struktur tanpa bresing.

8. Simpangan Antar Lantai

   Simpangan antar lantai terkecil dialami oleh model struktur *Split-K Neighbor*. Sedangkan simpangan antar lantai terbesar dialami oleh model struktur tanpa bresing.

9. Seluruh model struktur kecuali struktur tanpa bresing dapat mengabaikan P-Delta.

   Untuk mempermudah pengamatan, maka hasil analisa akan ditabelkan dan diberi singkatan untuk masing-masing model struktur seperti NBR (tanpa bresing), SKN (*Split-K Neighbor*), SKA (*Split-K Alternate*), TVN (*Type-V Neighbor*) dan TVA (*Type-V Alternate*). Adapun dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Analisa

No	Parameter	NBR	SKN	SKA	TVN	TVA
1	Berat Struktur	53779,208 kN	57350,830 kN	57755,789 kN	57288,804 kN	57693,764 kN
2	Partisipasi Massa	Seluruh model struktur memenuhi syarat >90%				
3	Periode Natural	3,8674 detik	0,81352 detik	0,96236 detik	0,97557 detik	1,14444 detik
4	*Base Shear*	Skala gaya tidak memenuhi syarat	Skala gaya telah memenuhi syarat			
		Revisi faktor skala				
		Perlu	Tidak perlu			
5	Ketidakberaturan	Seluruh model struktur tidak memiliki ketidakberaturan				
6	Kekakuan Struktur	X: 349,004 kN/mm Y: 119,063 kN/mm	X: 2942,042 kN/mm Y: 2542,588 kN/mm	X: 3040,438 kN/mm Y: 2352,388 kN/mm	X: 2354,603 kN/mm Y: 1662,510 kN/mm	X: 2250,731 kN/mm Y: 1623,640 kN/mm
7	*Displacement*	X: 78,111 mm Y: 216,623 mm	X: 23,792 mm Y: 25,932 mm	X: 26,404 mm Y: 28,939 mm	X: 24,906 mm Y: 28,320 mm	X: 30,279 mm Y: 34,485 mm
8	Simpangan Antar Lantai	Tidak memenuhi syarat	Telah memenuhi syarat			
9	P-Delta	Tidak memenuhi syarat	Telah memenuhi syarat			

5.6 Pembahasan Analisa Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Bresing

Berdasarkan hasil analisa pada setiap parameter yang telah didapat, terlihat bahwa konfigurasi bresing *Split-K* bekerja lebih baik dibanding konfigurasi *Type-V*. Selain itu, penempatan bresing pada posisi bersebelahan (*neighbor*) bekerja lebih baik dibanding posisi bergantian (*alternate*) baik dalam konfigurasi *Split-K* maupun *Type-V*. Perbandingan antara kedua konfigurasi dan kedua posisi bresing dapat dengan jelas diamati dari parameter seperti periode natural, *base shear*, kekakuan, *displacement*, dan simpangan antar lantai.

Pada parameter periode natural didapatkan bahwa konfigurasi *Split-K* memiliki periode natural yang lebih kecil dibanding konfigurasi *Type-V*. Sedangkan periode natural posisi *neighbor* memiliki periode natural yang lebih kecil dibanding posisi *alternate* baik dalam konfigurasi *Split-K* maupun *Type-V*. Periode natural didapat dari *run* MODAL SAP2000 pada *mode* 1. *Mode* 1 menunjukkan periode terbesar terjadi ke arah Y pada semua model bangunan.

Pada parameter *base shear* didapatkan bahwa nilai *base shear* konfigurasi *Split-K* lebih besar dari konfigurasi *Type-V*. Sedangkan nilai *base shear* posisi *neighbor* lebih besar dari posisi *alternate*. Nilai *base shear* terbesar dimiliki oleh model *Split-K neighbor*. *Split-K neighbor* juga memiliki nilai periode natural terkecil, yang berarti semakin kecil periode natural, semakin besar nilai *base shear* yang dialami sebuah struktur.

Pada parameter kekakuan struktur didapatkan bahwa konfigurasi *Split-K* memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dibanding konfigurasi *Type-V*. Sedangkan posisi *neighbor* memiliki nilai kekakuan yang lebih besar baik dalam konfigurasi *Split-K* maupun *Type-V*. Meskipun memiliki panjang bresing yang lebih pendek dan menggunakan profil yang sama, bresing pada *Type-V* tidak dapat memberi kekakuan yang lebih baik dari *Split-K*. *Split-K neighbor* menjadi model bangunan dengan nilai kekakuan terbesar. *Split-K neighbor* juga memiliki nilai *base shear* terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kaku suatu bangunan, semakin besar nilai *base shear* yang dialami sebuah struktur.

Pada parameter *displacement* didapatkan bahwa konfigurasi *Split-K* memiliki nilai *displacement* yang lebih kecil dibanding konfigurasi *Type-V* baik

dalam arah X maupun arah Y secara global. Sedangkan posisi *neighbor* memiliki nilai *displacement* yang lebih kecil dibanding posisi *alternate*. Mengacu pada parameter kekakuan struktur, semakin kaku sebuah struktur, maka semakin kecil pula nilai *displacement*-nya.

Pada parameter simpangan antar lantai, didapatkan bahwa konfigurasi *Split-K* memiliki nilai simpangan yang lebih kecil dibanding konfigurasi *Type-V* baik dalam arah X maupun arah Y secara global. Sedangkan posisi *neighbor* memiliki nilai dsimpangan yang lebih kecil dibanding posisi *alternate* baik dalam konfigurasi *Split-K* maupun *Type-V*. Mengacu pada parameter displacement, semakin kecil displacement, maka semakin kecil pula simpangan antar lantai yang dialami oleh struktur.

Pada parameter-parameter yang dapat diamati dari arah global X dan Y seperti *displacement* dan simpangan antar lantai, dapat dilihat bahwa nilai-nilai yang ditunjukkan dari arah Y lebih besar dari arah X. Hal ini disebabkan oleh arah penempatan seluruh profil kolom pada model dimana sumbu lemah profil IWF kolom ke arah Y dan sumbu kuat profil IWF kolom ke arah X seperti yang terlihat di denah model pada subbab 5.2.2.

Berdasarkan parameter-parameter yang telah dijelaskan, maka diketahui bahwa konfigurasi bresing *Split-K* dan posisi bresing *neighbor* (bersebelahan) bekerja lebih baik dari konfigurasi bresing *Type-V* dan posisi bresing *alternate* (bergantian) baik ke arah X maupun ke arah Y. Hasil terbaik diwakili oleh model struktur *Split-K Neighbor.*

BAB VI
KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan parameter-parameter yang diamati, dapat dilihat bahwa konfigurasi bresing yang berbeda akan mempengaruhi perilaku struktur secara berbeda pula. Dan berdasarkan penelitian ini, konfigurasi bresing *Split-K* bekerja lebih baik dari konfigurasi bresing *Type-V*.
2. Berdasarkan parameter-parameter yang diamati, dapat dilihat bahwa posisi bresing yang berbeda akan mempengaruhi perilaku struktur secara berbeda pula. Dan berdasarkan penelitian ini, posisi bresing bersebelahan (*neighbor*) bekerja lebih baik dari posisi bresing bergantian (*alternate*).

6.2 Saran

Adapun sejumlah saran yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Konfigurasi dan posisi bresing yang diteliti pada penelitian ini perlu dikembangkan lebih jauh dengan menerapkan analisa pada bentuk bangunan asimetris atau bangunan eksisting.
2. Dikarenakan kedua konfigurasi dan posisi bresing pada penelitian ini memiliki perbedaan seperti jumlah profil baja yang digunakan, maka perlu dibandingkan pula aspek biaya dan manajemen antara kedua konfigurasi dan posisi bresing.
3. Berdasarkan besar nilai sejumlah parameter yang sangat berbeda antara arah X dan arah Y, maka perlu dilakukan pertimbangan arah pemasangan kolom profil IWF atau kolom profil lain yang memiliki sumbu lemah agar bangunan dapat bergerak lebih seimbang pada kedua arah X dan arah Y.

DAFTAR PUSTAKA

Alireza, Ch. S. & Mohammad R. S. (2017), Assessment of Eccentrically Braced Frames Strength Against Progressive Collapse. *International Journal of Steel Structures Vol. 17 issue 2 ISSN 2093-6311*, 543–551.

ANSI/AISC. (2022). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.* Chicago, Illinois: American Institute of Steel Structure.

ANSI/AISC. (2022). *Specification for Structural Steel Buildings.* Chicago, Illinois: American Institute of Steel Constructions.

Bruneau, M., Chia-Ming U. & Sabelli, R. (2011). *Ductile Design of Steel Structures*. *United States of America*: McGraw-Hill Companies, Inc.

BSN. (2020). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

BSN. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Departemen PU. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung.* Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.

Dewobroto, W. (2016). *Struktur Baja: Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010.* Tangerang: Jurusan Teknik Sipil UPH.

Elvarando, A. (2020) Pengaruh Konfigurasi dan Posisi Breis Eksentrik Terhadap Perilaku Bangunan Struktur Baja Akibat Gaya Gempa.

Ghewa, G. (2021). Perbedaan Pengaruh Pemakaian Bracing Baja Model X dan Inverted-V pada Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Statik Non-linier Pushover, Ditinjau dari Kinerja Batas Layan. (Publikasi Ilmiah, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021) Diakses dari http://publikasiilmiah.ums.ac.id:8080/handle/11617/12720

Maizuar, Burhanuddin & Burhanuddin (2012). Studi Komparasi Perilaku Struktur Sistem Rangka Berpengaku Eksentrik Tipe D Terhadap Sistem Rangka Pemikul Momen. *Teras Jurnal Teknik Sipil Universitas Malikussaleh Lhokseumawe, Vol. 2 No. 4 ISSN 2088-0561, 301-309.*

Prasetyo, E.J., Prayudha, D., Tanojo, E. & Santoso, H.(2019). Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentris Tipe V dan Y Terbalik pada Bangunan 12 dan 18 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil Vol. 8 No. 2 e-ISSN 2598-239*, 122-129.

Puspitasari, Z. (2014). Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa Sistem Rangka Berpengaku Eksentrik Konfigurasi Split-K dengan Ketidakberaturan Horizontal.

Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002).* Jakarta: Penerbit Erlangga.

Sunariyati, J., Kurniawan, R. & Putra, E. S. (2009). Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur yang Mengalami Beban Gempa. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol. 5 No. 1 ISSN 1858-2133*, 1-10.

Suswanto, B., Amalia, A. R., Isdarmanu, & Fajri, A. (2018). Studi Perilaku Struktur Eccentrically Braced Frame (EBF) Akibat Beban Gempa dan Beban Siklik. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura Vol. 6 No. 2 ISSN 2527-5542*, 25-32.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Ketidakberaturan Struktur Tanpa Bresing

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U1	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,308	0,008	120,569	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,300	0,015	134,499	84,398	Regular	96,455	Regular
240	32000	1	3	0,285	0,021	143,321	94,149	Regular	102,027	Regular
239	28000	1	4	0,264	0,028	145,312	100,325	Regular	106,237	Regular
238	24000	1	5	0,236	0,033	153,261	101,718	Regular	112,835	Regular
237	20000	1	6	0,204	0,039	154,552	107,283	Regular	117,839	Regular
236	16000	1	7	0,165	0,043	162,794	108,186	Regular	120,833	Regular
235	12000	1	8	0,122	0,048	167,081	113,956	Regular	125,495	Regular
234	8000	1	9	0,074	0,045	198,597	116,957	Regular	129,181	Regular
233	4000	1	10	0,029	0,029	349,004	139,018	Regular	140,926	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U2	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,889	0,022	44,940	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,867	0,041	48,347	31,458	Regular	35,952	Regular
240	32000	1	3	0,826	0,059	50,695	33,843	Regular	37,315	Regular
239	28000	1	4	0,766	0,078	50,989	35,486	Regular	38,395	Regular
238	24000	1	5	0,688	0,094	53,399	35,692	Regular	40,008	Regular
237	20000	1	6	0,594	0,112	53,626	37,379	Regular	41,355	Regular
236	16000	1	7	0,482	0,125	56,082	37,538	Regular	42,137	Regular
235	12000	1	8	0,358	0,140	57,315	39,257	Regular	43,495	Regular
234	8000	1	9	0,218	0,134	67,112	40,120	Regular	44,539	Regular
233	4000	1	10	0,084	0,084	119,063	46,978	Regular	48,136	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2, Ketidakberaturan Massa

Lantai	W (kN)	150%Wi+1	Status
10	4837,984	0,000	Regular
9	5368,984	7256,977	Regular
8	5390,032	8053,477	Regular
7	5390,032	8085,049	Regular
6	5418,835	8085,049	Regular
5	5418,835	8128,253	Regular
4	5452,069	8128,253	Regular
3	5452,069	8178,103	Regular
2	5525,183	8178,103	Regular
1	5525,183	8287,775	Regular
Total	**53779,208**		

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3, Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Arah X			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Arah Y			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4, Ketidakberaturan Dsikontinuitas Kuat Lateral tingkat

Reguler. Tidak ada diskontinuitas atau offset dari dasar (pilecap) hingga atap.

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5, Diskontinuitas Kuat Lateral Antar Tingkat

Lantai	W (kN)	h	k	W.h^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
10	4837,984	40	2	7740775,085	0,239	0,239	0,000	
9	5368,984	36	2	6958203,819	0,215	0,454	1,899	Regular
8	5390,032	32	2	5519393,255	0,171	0,625	1,375	Regular
7	5390,032	28	2	4225785,461	0,131	0,755	1,209	Regular
6	5418,835	24	2	3121248,999	0,096	0,852	1,128	Regular
5	5418,835	20	2	2167534,027	0,067	0,919	1,079	Regular
4	5452,069	16	2	1395729,620	0,043	0,962	1,047	Regular
3	5452,069	12	2	785097,911	0,024	0,986	1,025	Regular
2	5525,183	8	2	353611,718	0,011	0,997	1,011	Regular
1	5525,183	4	2	88402,930	0,003	1,000	1,003	Regular

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	79,832	113,632	3,299	4,645	3,972	4,645	1,169	Reguler
9	76,533	108,987	5,686	8,038	6,862	8,038	1,171	Reguler
8	70,846	100,948	7,430	10,543	8,986	10,543	1,173	Reguler
7	63,416	90,406	8,922	12,680	10,801	12,680	1,174	Reguler
6	54,494	77,725	9,580	13,651	11,616	13,651	1,175	Reguler
5	44,914	64,074	10,275	14,655	12,465	14,655	1,176	Reguler
4	34,639	49,419	10,246	14,644	12,445	14,644	1,177	Reguler
3	24,393	34,775	10,279	14,686	12,482	14,686	1,177	Reguler
2	14,114	20,089	8,887	12,695	10,791	12,695	1,176	Reguler
1	5,227	7,395	5,227	7,395	6,311	7,395	1,172	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	261,575	295,379	10,170	11,515	10,843	11,515	1,062	Reguler
9	251,405	283,864	18,084	20,437	19,260	20,437	1,061	Reguler
8	233,321	263,427	23,956	27,069	25,513	27,069	1,061	Reguler
7	209,365	236,358	28,963	32,722	30,843	32,722	1,061	Reguler
6	180,402	203,636	31,303	35,374	33,338	35,374	1,061	Reguler
5	149,100	168,262	33,716	38,096	35,906	38,096	1,061	Reguler
4	115,384	130,166	33,863	38,262	36,062	38,262	1,061	Reguler
3	81,521	91,904	34,141	38,548	36,344	38,548	1,061	Reguler
2	47,380	53,356	29,928	33,736	31,832	33,736	1,060	Reguler
1	17,452	19,621	17,452	19,621	18,537	19,621	1,058	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2, Ketidakberaturan Sudut Dalam

Reguler. Bangunan berbentuk persegi simetris.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3, Diskontinuitas Diafragma

Reguler. Bangunan tidak memiliki void pada semua lantai.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4, Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Reguler. Bangunan memiliki jenis portal yang sama dari bawah ke atas.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5, Ketidakberaturan Sistem Nonparallel

Reguler. Bangunan tidak memiliki pemikul gaya lateral nonparallel.

Lampiran 2 Ketidakberaturan Split-K Neighbor

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U1	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,035	0,002	430,293	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,033	0,003	610,128	301,205	Regular	344,234	Regular
240	32000	1	3	0,029	0,003	1037,344	427,090	Regular	416,168	Regular
239	28000	1	4	0,026	0,003	1232,286	726,141	Regular	554,071	Regular
238	24000	1	5	0,023	0,003	1457,726	862,600	Regular	767,936	Regular
237	20000	1	6	0,020	0,004	1608,579	1020,408	Regular	993,962	Regular
236	16000	1	7	0,016	0,004	1767,677	1126,005	Regular	1146,291	Regular
235	12000	1	8	0,012	0,004	1905,669	1237,374	Regular	1289,062	Regular
234	8000	1	9	0,008	0,004	2033,439	1333,969	Regular	1408,513	Regular
233	4000	1	10	0,003	0,003	2942,042	1423,407	Regular	1521,809	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U2	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,039	0,003	395,413	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,037	0,003	576,868	276,789	Regular	316,331	Regular
240	32000	1	3	0,033	0,003	923,645	403,807	Regular	388,912	Regular
239	28000	1	4	0,030	0,004	1087,843	646,552	Regular	505,580	Regular
238	24000	1	5	0,026	0,004	1288,992	761,490	Regular	690,228	Regular
237	20000	1	6	0,022	0,004	1427,891	902,294	Regular	880,128	Regular
236	16000	1	7	0,018	0,004	1564,945	999,524	Regular	1014,594	Regular
235	12000	1	8	0,014	0,005	1701,766	1095,462	Regular	1141,821	Regular
234	8000	1	9	0,009	0,005	1776,199	1191,236	Regular	1251,894	Regular
233	4000	1	10	0,004	0,004	2542,588	1243,339	Regular	1344,776	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2, Ketidakberaturan Massa

Lantai	W (kN)	150%Wi+1	Status
10	4973,755	0,000	Regular
9	5504,755	7460,632	Regular
8	5665,408	8257,132	Regular
7	5665,408	8498,112	Regular
6	5820,436	8498,112	Regular
5	5820,436	8730,654	Regular
4	5894,535	8730,654	Regular
3	5894,535	8841,803	Regular
2	6055,781	8841,803	Regular
1	6055,781	9083,671	Regular
Total	**57350,830**		

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3, Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Arah X			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Arah Y			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4, Ketidakberaturan Dsikontinuitas Kuat Lateral tingkat

Reguler. Tidak ada diskontinuitas atau offset dari dasar (pilecap) hingga atap.

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5, Diskontinuitas Kuat Lateral Antar Tingkat

Lantai	W (kN)	h	k	W.h^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
10	4973,755	40	1,157	354718,053	0,173	0,173	0,000	
9	5504,755	36	1,157	347541,334	0,170	0,343	1,980	Regular
8	5665,408	32	1,157	312124,947	0,153	0,496	1,444	Regular
7	5665,408	28	1,157	267451,918	0,131	0,627	1,264	Regular
6	5820,436	24	1,157	229894,559	0,112	0,739	1,179	Regular
5	5820,436	20	1,157	186180,844	0,091	0,830	1,123	Regular
4	5894,535	16	1,157	145655,671	0,071	0,901	1,086	Regular
3	5894,535	12	1,157	104424,707	0,051	0,952	1,057	Regular
2	6055,781	8	1,157	67116,376	0,033	0,985	1,034	Regular
1	6055,781	4	1,157	30102,949	0,015	1,000	1,015	Regular

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	13,948	15,952	1,054	1,312	1,183	1,312	1,109	Reguler
9	12,894	14,640	1,475	1,899	1,687	1,899	1,126	Reguler
8	11,419	12,740	1,358	1,508	1,433	1,508	1,053	Reguler
7	10,061	11,232	1,483	1,650	1,566	1,650	1,053	Reguler
6	8,578	9,582	1,503	1,675	1,589	1,675	1,054	Reguler
5	7,075	7,907	1,550	1,728	1,639	1,728	1,054	Reguler
4	5,525	6,179	1,549	1,727	1,638	1,727	1,054	Reguler
3	3,976	4,452	1,509	1,683	1,596	1,683	1,054	Reguler
2	2,467	2,769	1,434	1,603	1,518	1,603	1,055	Reguler
1	1,033	1,167	1,033	1,167	1,100	1,167	1,061	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	16,047	17,712	1,209	1,340	1,275	1,340	1,051	Reguler
9	14,837	16,371	1,684	1,870	1,777	1,870	1,052	Reguler
8	13,154	14,501	1,539	1,697	1,618	1,697	1,049	Reguler
7	11,615	12,804	1,691	1,865	1,778	1,865	1,049	Reguler
6	9,923	10,939	1,714	1,890	1,802	1,890	1,049	Reguler
5	8,209	9,049	1,763	1,943	1,853	1,943	1,049	Reguler
4	6,446	7,106	1,764	1,945	1,854	1,945	1,049	Reguler
3	4,682	5,161	1,708	1,883	1,795	1,883	1,049	Reguler
2	2,974	3,278	1,656	1,824	1,740	1,824	1,048	Reguler
1	1,318	1,454	1,318	1,454	1,386	1,454	1,049	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2, Ketidakberaturan Sudut Dalam

Reguler. Bangunan berbentuk persegi simetris.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3, Diskontinuitas Diafragma

Reguler. Bangunan tidak memiliki void pada semua lantai.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4, Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Reguler. Bangunan memiliki jenis portal yang sama dari bawah ke atas.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5, Ketidakberaturan Sistem Nonparallel

Reguler. Bangunan tidak memiliki pemikul gaya lateral nonparallel.

Lampiran 3 Ketidakberaturan Split-K Alternate

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U1	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,048	0,004	252,398	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,044	0,005	409,668	176,678	Regular	201,918	Regular
240	32000	1	3	0,040	0,005	606,796	286,768	Regular	264,826	Regular
239	28000	1	4	0,035	0,005	759,878	424,757	Regular	338,363	Regular
238	24000	1	5	0,029	0,005	940,911	531,915	Regular	473,691	Regular
237	20000	1	6	0,024	0,005	1109,262	658,638	Regular	615,356	Regular
236	16000	1	7	0,019	0,005	1314,307	776,484	Regular	749,347	Regular
235	12000	1	8	0,013	0,005	1555,815	920,015	Regular	897,195	Regular
234	8000	1	9	0,008	0,005	1852,233	1089,070	Regular	1061,169	Regular
233	4000	1	10	0,003	0,003	3040,438	1296,563	Regular	1259,295	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U2	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,057	0,005	196,194	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,052	0,006	329,544	137,336	Regular	156,955	Regular
240	32000	1	3	0,046	0,006	508,992	230,681	Regular	210,295	Regular
239	28000	1	4	0,040	0,006	647,144	356,295	Regular	275,928	Regular
238	24000	1	5	0,034	0,006	804,764	453,001	Regular	396,181	Regular
237	20000	1	6	0,028	0,006	960,615	563,335	Regular	522,907	Regular
236	16000	1	7	0,022	0,006	1141,180	672,430	Regular	643,340	Regular
235	12000	1	8	0,016	0,006	1375,279	798,826	Regular	775,082	Regular
234	8000	1	9	0,010	0,006	1608,579	962,696	Regular	927,220	Regular
233	4000	1	10	0,004	0,004	2352,388	1126,005	Regular	1100,010	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2, Ketidakberaturan Massa

Lantai	W (kN)	150%Wi+1	Status
10	4979,417	0,000	Regular
9	5510,417	7469,125	Regular
8	5685,718	8265,625	Regular
7	5685,718	8528,576	Regular
6	5865,117	8528,576	Regular
5	5865,117	8797,676	Regular
4	5949,432	8797,676	Regular
3	5949,432	8924,149	Regular
2	6132,711	8924,149	Regular
1	6132,711	9199,066	Regular
Total	**57755,789**		

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3, Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Arah X			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Arah Y			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4, Ketidakberaturan Dsikontinuitas Kuat Lateral tingkat

Reguler. Tidak ada diskontinuitas atau offset dari dasar (pilecap) hingga atap.

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5, Diskontinuitas Kuat Lateral Antar Tingkat

Lantai	W (kN)	h	k	W.h^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
10	4979,417	40	1,231	467307,455	0,178	0,178	0,000	
9	5510,417	36	1,231	454227,026	0,173	0,352	1,972	Regular
8	5685,718	32	1,231	405411,282	0,155	0,507	1,440	Regular
7	5685,718	28	1,231	343951,577	0,131	0,638	1,259	Regular
6	5865,117	24	1,231	293470,986	0,112	0,750	1,176	Regular
5	5865,117	20	1,231	234465,422	0,090	0,839	1,119	Regular
4	5949,432	16	1,231	180702,425	0,069	0,908	1,082	Regular
3	5949,432	12	1,231	126806,614	0,048	0,957	1,053	Regular
2	6132,711	8	1,231	79344,859	0,030	0,987	1,032	Regular
1	6132,711	4	1,231	33798,442	0,013	1,000	1,013	Regular

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	20,454	22,609	1,922	2,123	2,023	2,123	1,050	Reguler
9	18,531	20,486	2,376	2,627	2,501	2,627	1,050	Reguler
8	16,156	17,859	2,330	2,564	2,447	2,564	1,048	Reguler
7	13,826	15,294	2,432	2,678	2,555	2,678	1,048	Reguler
6	11,394	12,616	2,378	2,619	2,498	2,619	1,048	Reguler
5	9,016	9,997	2,309	2,545	2,427	2,545	1,049	Reguler
4	6,707	7,452	2,157	2,382	2,269	2,382	1,050	Reguler
3	4,550	5,070	1,909	2,114	2,011	2,114	1,051	Reguler
2	2,641	2,956	1,620	1,803	1,712	1,803	1,054	Reguler
1	1,021	1,153	1,021	1,153	1,087	1,153	1,061	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	24,520	26,675	2,465	2,665	2,565	2,665	1,039	Reguler
9	22,055	24,010	2,980	3,233	3,106	3,233	1,041	Reguler
8	19,075	20,777	2,801	3,034	2,918	3,034	1,040	Reguler
7	16,275	17,742	2,885	3,131	3,008	3,131	1,041	Reguler
6	13,389	14,611	2,805	3,047	2,926	3,047	1,041	Reguler
5	10,584	11,564	2,699	2,936	2,817	2,936	1,042	Reguler
4	7,885	8,629	2,509	2,735	2,622	2,735	1,043	Reguler
3	5,376	5,894	2,200	2,404	2,302	2,404	1,044	Reguler
2	3,176	3,490	1,888	2,068	1,978	2,068	1,046	Reguler
1	1,289	1,422	1,289	1,422	1,355	1,422	1,049	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2, Ketidakberaturan Sudut Dalam

Reguler. Bangunan berbentuk persegi simetris.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3, Diskontinuitas Diafragma

Reguler. Bangunan tidak memiliki void pada semua lantai.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4, Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Reguler. Bangunan memiliki jenis portal yang sama dari bawah ke atas.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5, Ketidakberaturan Sistem Nonparallel

Reguler. Bangunan tidak memiliki pemikul gaya lateral nonparallel.

Lampiran 4 Ketidakberaturan Type-V Neighbor

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U1	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,045	0,003	370,370	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,042	0,004	535,619	259,259	Regular	296,296	Regular
240	32000	1	3	0,038	0,004	770,021	374,933	Regular	362,396	Regular
239	28000	1	4	0,034	0,004	892,260	539,014	Regular	446,936	Regular
238	24000	1	5	0,030	0,005	1102,536	624,582	Regular	586,106	Regular
237	20000	1	6	0,025	0,005	1212,856	771,775	Regular	737,284	Regular
236	16000	1	7	0,020	0,005	1359,487	848,999	Regular	855,374	Regular
235	12000	1	8	0,015	0,006	1451,906	951,641	Regular	979,968	Regular
234	8000	1	9	0,010	0,006	1615,509	1016,334	Regular	1073,133	Regular
233	4000	1	10	0,004	0,004	2354,603	1130,856	Regular	1180,507	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U2	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,057	0,004	271,887	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,053	0,005	386,100	190,321	Regular	217,510	Regular
240	32000	1	3	0,048	0,005	624,480	270,270	Regular	263,195	Regular
239	28000	1	4	0,043	0,006	724,506	437,136	Regular	341,991	Regular
238	24000	1	5	0,038	0,006	892,538	507,155	Regular	462,690	Regular
237	20000	1	6	0,032	0,006	980,713	624,777	Regular	597,740	Regular
236	16000	1	7	0,026	0,006	1094,948	686,499	Regular	692,735	Regular
235	12000	1	8	0,020	0,007	1176,298	766,463	Regular	791,520	Regular
234	8000	1	9	0,013	0,007	1294,405	823,408	Regular	867,189	Regular
233	4000	1	10	0,006	0,006	1662,510	906,084	Regular	950,840	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2, Ketidakberaturan Massa

Lantai	W (kN)	150%Wi+1	Status
10	4970,455	0,000	Regular
9	5501,455	7455,682	Regular
8	5659,599	8252,182	Regular
7	5659,599	8489,398	Regular
6	5813,135	8489,398	Regular
5	5813,135	8719,703	Regular
4	5887,234	8719,703	Regular
3	5887,234	8830,851	Regular
2	6048,479	8830,851	Regular
1	6048,479	9072,719	Regular
Total	**57288,804**		

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3, Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Arah X			
Lantai	di (m)	(di+di+1)	Status
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Arah Y			
Lantai	di (m)	(di+di+1)	Status
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4, Ketidakberaturan Dsikontinuitas Kuat Lateral tingkat

Reguler. Tidak ada diskontinuitas atau offset dari dasar (pilecap) hingga atap.

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5, Diskontinuitas Kuat Lateral Antar Tingkat

Lantai	W (kN)	h	k	W.h^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
10	4970,455	40	1,238	477971,437	0,180	0,180	0,000	
9	5501,455	36	1,238	464349,979	0,174	0,354	1,972	Regular
8	5659,599	32	1,238	412893,182	0,155	0,509	1,438	Regular
7	5659,599	28	1,238	349990,414	0,131	0,641	1,258	Regular
6	5813,135	24	1,238	297040,175	0,112	0,752	1,174	Regular
5	5813,135	20	1,238	237031,374	0,089	0,841	1,118	Regular
4	5887,234	16	1,238	182118,037	0,068	0,910	1,081	Regular
3	5887,234	12	1,238	127557,402	0,048	0,958	1,053	Regular
2	6048,479	8	1,238	79337,305	0,030	0,987	1,031	Regular
1	6048,479	4	1,238	33640,856	0,013	1,000	1,013	Regular

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	18,197	20,514	1,294	1,468	1,381	1,468	1,063	Reguler
9	16,903	19,046	1,813	2,059	1,936	2,059	1,064	Reguler
8	15,090	16,987	1,846	2,076	1,961	2,076	1,059	Reguler
7	13,245	14,911	2,066	2,324	2,195	2,324	1,059	Reguler
6	11,179	12,587	1,990	2,237	2,113	2,237	1,058	Reguler
5	9,189	10,350	2,066	2,322	2,194	2,322	1,058	Reguler
4	7,123	8,028	2,016	2,266	2,141	2,266	1,058	Reguler
3	5,107	5,763	1,996	2,243	2,120	2,243	1,058	Reguler
2	3,110	3,519	1,810	2,036	1,923	2,036	1,059	Reguler
1	1,300	1,483	1,300	1,483	1,392	1,483	1,066	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	23,548	25,867	1,801	1,975	1,888	1,975	1,046	Reguler
9	21,747	23,892	2,588	2,836	2,712	2,836	1,046	Reguler
8	19,159	21,055	2,311	2,540	2,426	2,540	1,047	Reguler
7	16,848	18,515	2,576	2,834	2,705	2,834	1,048	Reguler
6	14,272	15,681	2,497	2,743	2,620	2,743	1,047	Reguler
5	11,775	12,938	2,586	2,842	2,714	2,842	1,047	Reguler
4	9,189	10,095	2,536	2,786	2,661	2,786	1,047	Reguler
3	6,653	7,310	2,504	2,751	2,627	2,751	1,047	Reguler
2	4,150	4,559	2,311	2,535	2,423	2,535	1,046	Reguler
1	1,839	2,024	1,839	2,024	1,932	2,024	1,048	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2, Ketidakberaturan Sudut Dalam

Reguler. Bangunan berbentuk persegi simetris.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3, Diskontinuitas Diafragma

Reguler. Bangunan tidak memiliki void pada semua lantai.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4, Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Reguler. Bangunan memiliki jenis portal yang sama dari bawah ke atas.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5, Ketidakberaturan Sistem Nonparallel

Reguler. Bangunan tidak memiliki pemikul gaya lateral nonparallel.

Lampiran 5 Ketidakberaturan Type-V Alternate

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U1	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,064	0,005	187,056	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,059	0,007	306,185	130,939	Regular	149,645	Regular
240	32000	1	3	0,052	0,007	455,996	214,329	Regular	197,296	Regular
239	28000	1	4	0,046	0,007	566,251	319,197	Regular	253,130	Regular
238	24000	1	5	0,039	0,007	720,877	396,376	Regular	354,249	Regular
237	20000	1	6	0,032	0,007	840,925	504,614	Regular	464,833	Regular
236	16000	1	7	0,025	0,007	1001,001	588,648	Regular	567,481	Regular
235	12000	1	8	0,018	0,007	1155,235	700,701	Regular	683,414	Regular
234	8000	1	9	0,011	0,006	1402,306	808,664	Regular	799,243	Regular
233	4000	1	10	0,004	0,004	2250,731	981,614	Regular	948,944	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1, Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Joint	Z	Fx	Akumulatif	U2	Δi	K	cek		cek	
lantai	mm	kN	Vx	mm	mm	KN/mm	70%Ki	status	80%Ki	status
242	40000	1	1	0,082	0,007	136,911	0,000	Regular	0,000	Regular
241	36000	1	2	0,075	0,009	229,095	95,838	Regular	109,529	Regular
240	32000	1	3	0,066	0,008	359,066	160,367	Regular	146,403	Regular
239	28000	1	4	0,057	0,009	450,603	251,346	Regular	193,353	Regular
238	24000	1	5	0,049	0,009	579,039	315,422	Regular	277,004	Regular
237	20000	1	6	0,040	0,009	680,581	405,327	Regular	370,322	Regular
236	16000	1	7	0,031	0,009	813,386	476,407	Regular	456,059	Regular
235	12000	1	8	0,022	0,008	946,410	569,370	Regular	552,801	Regular
234	8000	1	9	0,014	0,008	1143,438	662,487	Regular	650,767	Regular
233	4000	1	10	0,006	0,006	1623,640	800,407	Regular	774,196	Regular
232	0	0		0,000	0,000		0,000			

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2, Ketidakberaturan Massa

Lantai	W (kN)	150%Wi+1	Status
10	4976,117	0,000	Regular
9	5507,117	7464,175	Regular
8	5679,908	8260,675	Regular
7	5679,908	8519,862	Regular
6	5857,816	8519,862	Regular
5	5857,816	8786,724	Regular
4	5942,131	8786,724	Regular
3	5942,131	8913,197	Regular
2	6125,409	8913,197	Regular
1	6125,409	9188,114	Regular
Total	**57693,764**		

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3, Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Arah X			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Arah Y			
Lantai	**di (m)**	**(di+di+1)**	**Status**
10	30	0	
9	30	39	Regular
8	30	39	Regular
7	30	39	Regular
6	30	39	Regular
5	30	39	Regular
4	30	39	Regular
3	30	39	Regular
2	30	39	Regular
1	30	39	Regular

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4, Ketidakberaturan Dsikontinuitas Kuat Lateral tingkat

Reguler. Tidak ada diskontinuitas atau offset dari dasar (pilecap) hingga atap.

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5, Diskontinuitas Kuat Lateral Antar Tingkat

Lantai	W (kN)	h	k	W.h^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
10	4976,117	40	1,322	653380,728	0,185	0,185	0,000	
9	5507,117	36	1,322	629069,420	0,178	0,364	1,963	Regular
8	5679,908	32	1,322	555239,979	0,157	0,521	1,433	Regular
7	5679,908	28	1,322	465374,537	0,132	0,653	1,253	Regular
6	5857,816	24	1,322	391452,113	0,111	0,764	1,170	Regular
5	5857,816	20	1,322	307598,076	0,087	0,851	1,114	Regular
4	5942,131	16	1,322	232302,441	0,066	0,917	1,077	Regular
3	5942,131	12	1,322	158802,479	0,045	0,962	1,049	Regular
2	6125,409	8	1,322	95767,635	0,027	0,989	1,028	Regular
1	6125,409	4	1,322	38299,304	0,011	1,000	1,011	Regular

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	27,387	30,427	2,602	2,899	2,750	2,899	1,054	Reguler
9	24,785	27,528	3,187	3,554	3,371	3,554	1,054	Reguler
8	21,597	23,975	3,106	3,440	3,273	3,440	1,051	Reguler
7	18,491	20,534	3,284	3,639	3,461	3,639	1,051	Reguler
6	15,207	16,895	3,090	3,421	3,255	3,421	1,051	Reguler
5	12,117	13,474	3,056	3,386	3,221	3,386	1,051	Reguler
4	9,061	10,089	2,836	3,143	2,989	3,143	1,051	Reguler
3	6,225	6,945	2,619	2,908	2,763	2,908	1,052	Reguler
2	3,607	4,037	2,179	2,428	2,304	2,428	1,054	Reguler
1	1,427	1,609	1,427	1,609	1,518	1,609	1,060	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1, Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	Δavg	Δmax	max/avg	Status
10	35,230	38,272	3,548	3,844	3,696	3,844	1,040	Reguler
9	31,682	34,427	4,318	4,686	4,502	4,686	1,041	Reguler
8	27,364	29,741	3,986	4,319	4,153	4,319	1,040	Reguler
7	23,378	25,422	4,171	4,526	4,349	4,526	1,041	Reguler
6	19,207	20,896	3,894	4,224	4,059	4,224	1,041	Reguler
5	15,313	16,671	3,824	4,153	3,988	4,153	1,041	Reguler
4	11,489	12,518	3,534	3,842	3,688	3,842	1,042	Reguler
3	7,955	8,677	3,253	3,543	3,398	3,543	1,043	Reguler
2	4,702	5,134	2,726	2,972	2,849	2,972	1,043	Reguler
1	1,976	2,162	1,976	2,162	2,069	2,162	1,045	Reguler

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2, Ketidakberaturan Sudut Dalam

Reguler. Bangunan berbentuk persegi simetris.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3, Diskontinuitas Diafragma

Reguler. Bangunan tidak memiliki void pada semua lantai.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4, Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Reguler. Bangunan memiliki jenis portal yang sama dari bawah ke atas.

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5, Ketidakberaturan Sistem Nonparallel

Reguler. Bangunan tidak memiliki pemikul gaya lateral nonparallel.