

**ANALISIS PEMODELAN PERILAKU TEGANGAN DAN
REGANGAN PADA PORTAL DENGAN BRACING TIPE DIAGONAL
EKSENTRIS SATU ARAH**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



GRACESELLA NOVITA SAULINA SITUMORANG

NIM. 175060107111030

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PEMODELAN PERILAKU TEGANGAN DAN REGANGAN PADA PORTAL DENGAN BRACING TIPE DIAGONAL EKSENTRIS SATU ARAH

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL



GRACESELLA NOVITA SAULINA SITUMORANG

NIM. 175060107111030

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 27 Desember 2021

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT.

Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc.

NIP. 19850221 210903 2 003

NIP. 201102 841203 2 001

Mengetahui Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)

NIP. 19810220 200604 1 002



Halaman sengaja dikosongkan



LEMBAR PERUNTUKAN



My father, who taught me kindness in every situation

My mother, who taught me strength under any given circumstances

My siblings, who taught me to give even if what we had was so little

*Lastly to my future self – whether or not you'd look back to this page,
here's a piece of you that once helped you become who you are right now.*



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis terkuip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi/Tesis/Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 1 November 2021

Mahasiswa,

Materai Rp. 6.000,00

Gracesella N. S. Situmorang

175060107111030



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 010/UN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

FIRHAN REZI AMJAD

Dengan Judul Skripsi :

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG RSUD
GEDUNG RSUD dr. M. SOEWANDHIE SURABAYA MENGGUNAKAN SISTEM CASTELLATED BEAM

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 9 Desember 2021



Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Alwafi Pujiwahario, ST, MT
NIP. 19700829 200012 1 001

Dr. Eng. Indrati Wiatmiko, ST., M.Eng. [Prac]
NIP. 19810220 200604 1 002

Halaman sengaja dikosongkan



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat dan Karunia-Nya yang melimpah, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi dengan judul “Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal dengan *Bracing* Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah” sebagai syarat akhir dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil di Universitas Brawijaya.

Tidak lupa penulis juga ucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada orang tua penulis yang selalu senantiasa membantu serta memberikan dukungan yang luar biasa kepada penulis selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan. Ucapan terimakasih juga penulis berikan kepada Adrian Situmorang, Cantika Situmorang, dan Axel Situmorang selaku saudara kandung dari penulis yang juga tidak pernah berhenti memberikan semangat kepada penulis serta yang selalu mengingatkan penulis untuk tidak pernah menyerah dalam menghadapi segala hal demi membangun masa depan.

Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang turut membantu dan mendukung penulis dalam penelitian ini serta segala ilmu, motivasi, dan pengalaman yang telah diberikan. Oleh karena itu, penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Alwafi Puji Raharjo., ST., MT selaku ketua jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Indradi W., ST., M.Eng.(Prac.) selaku ketua program studi S1 jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT. dan Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan., ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 penulis yang telah sabar membimbing, membantu, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu dari awal saya memulai perkuliahan.
5. Arga Yudhistira dan Armanda Wisnu yang selalu hadir serta sabar dalam membantu dan mengajari penulis di setiap kekurangan.
6. Farhan Reza Amjad, Firhan Rezi Amjad, Awliya Subki, Kyra Ratu, Jeremia Christ, dan M. Fauzan yang senantiasa menemani serta mengisi hari-hari penulis selama meniti pendidikan di kota Malang.

7. Raden Taqy Dharma Putra untuk segala hal yang tidak bisa diungkapkan satu-persatu.
8. Sjahihza, Raihan, Gerrie, Oryza, Faisal, Irfan, dan Ravniar yang selalu menjadi teman bagi penulis untuk belajar baik dalam segi akademis maupun non-akademis.
9. Zefanya Esther Samperante dan Nada Afina Putri yang selalu hadir di segala kondisi serta selaku sahabat dan seperjuangan penulis dalam memperoleh gelar sarjana meskipun di lapangan yang berbeda.

Seiring dengan keinginan penulis untuk terus berkembang juga mengembangkan pengetahuan serta teknologi yang sudah ada dengan harapan membantu menghilangkan hambatan aksesibilitas serta menjadi bagian kecil dari langkah baru di kemudian hari, penulis menyadari bahwa masih ada banyak kekurangan dalam penelitian ini. Maka dari itu, penulis terbuka terhadap saran dan kritik yang membangun serta bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Malang, 1 November 2021

Penulis



RINGKASAN

Gracesella Novita Saulina Situmorang, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2021, Analisis Pemodelan Portal dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah, Dosen Pembimbing: Lilya Susanti dan Desy Setyowulan.

Berada di daerah *ring of fire*, Indonesia memiliki bahaya relatif tinggi terhadap gempa yang menyebabkan kerusakan pada ribuan unit rumah hingga menelan korban jiwa. Struktur rangka dengan *bracing* eksentris (EBF) adalah sistem rangka portal yang merupakan sebuah pengembangan dari struktur rangka dengan *bracing* konsentris (CBF) dengan kekakuan serta kapasitas daktilitas yang signifikan. Pada struktur EBF, *link-beam* merupakan komponen terpenting struktur yang berfungsi untuk disipasi energi secara stabil. Penelitian dilakukan guna mengetahui pengaruh tegangan dan regangan eksentrisitas pada pemodelan portal baja dengan bresing diagonal eksentrisitas satu arah sebagai upaya mitigasi risiko yang terfokus pada struktur bangunan sederhana terutama di Indonesia dan dilakukan dengan tiga jenis pemodelan.

Hasil menunjukkan bahwa komponen *bracing* pada pemodelan CBF yang berfungsi sebagai elemen *fuse* dapat mendisipasi sebagian besar energi yang diterima oleh struktur dengan baik dan menjadi penentu perilaku keruntuhan dari pemodelan portal. Pada sisi lain, komponen *link-beam* pada pemodelan EBF mengalami kelelahan terlebih dahulu dibandingkan dengan komponen lainnya.

Kata kunci: EBF, CBF, *link-beam*, bresing diagonal



Halaman sengaja di kosongkan



SUMMARY

Gracesella Novita Saulina Situmorang, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, November 2021. Analysis of Stress-Strain Behavior on One Way Eccentrically Braced Frame Modelling, Supervisor: Lilya Susanti and Desy Setyowulan.

Located in the area of ring of fire, Indonesia has a relatively high risk of earthquakes that could cause damage to thousands of housing units and even lead to fatalities. Eccentrically braced frame (EBF) is a braced frame system in which a development of concentrically braced frame (CBF) with significant capacity of stiffness and ductility. Link-beam is said to be the most important part of EBF structure that functions steadily for energy dissipation. This research aimed to determine the stress-strain behavior of the braced frame eccentricities that focused on simple building structures and conducted on braced frames with three various lengths of link-beam.

The results showed that the bracing in CBF modeling which functions as a fuse element could dissipate most of the energy (force) and be a determinant of the structure's failure behavior. On the other hand, the link-beam component in EBF yielded first compared to the other components of the structure.

Keywords: CBF, EBF, link-beam, diagonal braced frame



Halaman sengaja di kosongkan



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	iii
SUMMARY	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Standar Peraturan Perencanaan Struktur Baja.....	5
2.1.1 <i>American Institute of Steel Construction (AISC)</i>	5
2.1.2 Standar Nasional Indonesia (SNI).....	6
2.2. Material Baja	6
2.3. Sifat Material Baja.....	8
2.3.1 Tegangan dan Regangan Normal	8
2.3.2 Tegangan dan Regangan Geser	10
2.3.3 Elastisitas dan Plastisitas	11
2.3.4 Daktilitas.....	12
2.3.5 Engineering Stress-Strain & True Stress Strain	13
2.3.6 Tegangan von Mises.....	14
2.4. Sistem Struktur	14
2.4.1 <i>Moment Resisting Frame (MRF)</i>	15
2.4.2 <i>Braced Frame</i>	15
2.4.3 <i>Link-Beam</i>	17
2.5. Beban Statis Lateral.....	19
2.5.1 <i>Software Abaqus</i>	20
2.5.2 Analisis Statik Non-Linier (<i>Pushover Analysis</i>).....	20



2.6. Penelitian Terdahulu.....	21
2.6.1 Hipotesis Penelitian.....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Perencanaan Struktur.....	23
3.1.1 Spesifikasi Material.....	23
3.1.2 Perencanaan Profil Komponen Struktur.....	23
3.2. Konversi <i>Engineering Stress-Strain</i>	24
3.3. Pemodelan Portal.....	26
3.4. Analisis Struktur.....	27
3.5. Variabel Penelitian.....	30
3.6. Diagram Penelitian.....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Gambaran Umum Pemodelan Portal.....	33
4.1.1 Spesifikasi Pemodelan Portal.....	34
4.2. Simulasi dan Respons Struktur.....	35
4.3. Hasil Analisis Struktur.....	37
4.3.1 Analisis Pemodelan Portal dengan <i>Bracing</i> Konsentris.....	38
4.3.2 Analisis Pemodelan Portal dengan <i>Bracing</i> Eksentris 60 cm.....	40
4.3.3 Analisis Pemodelan Portal dengan <i>Bracing</i> Eksentris 120 cm.....	42
4.4. Analisis Pengaruh <i>Meshing</i> Terhadap Hasil Pemodelan.....	44
4.5. Analisis Pengaruh Eksentrisitas Terhadap Perilaku Struktur.....	46
4.6. Rekapitulasi Elemen Kritis Dalam Analisis Pemodelan Portal.....	48
BAB 5 PENUTUP.....	51
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi material	23
Tabel 3.2 Profil komponen struktur	24
Tabel 3.3 Hasil konversi true stress-strain	24
Tabel 4.1 Jenis pengaturan pada software Abaqus	33
Tabel 4.2 Dimensi profil	35
Tabel 4.3 Spesifikasi material baja	35
Tabel 4.4 Output step time pemodelan portal	38
Tabel 4.5 Rekapitulasi Tegangan-Regangan pada Seluruh Elemen Tinjauan Berdasarkan Meshing	49



Halaman sengaja di kosongkan



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan (σ) vs Regangan (ϵ)..... 9

Gambar 2.2 Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar 10

Gambar 2.3 Kurva tegangan-regangan tipikal profil baja konstruksi 12

Gambar 2.4 *Engineering Stress vs. True Stress* 13

Gambar 2.5 Perilaku inelastis sistem portal daktail; Kiri: *strong column-weak beam*, Kanan: *story mechanism* (Hamburger, et al., 2009) 15

Gambar 2.6 Tipe-tipe rangka portal dengan bresing konsentris; (a) *V-bracing*, (b) *inverted bracing*, (c) *zipper bracing*, (d) *X-bracing*, (e) *diagonal bracing*..... 16

Gambar 2.7 Tipe-tipe sistem rangka portal dengan bresing eksentris; (a) *D-braced frame*, (b) *split K-braced frame*, (c) *V-braced frame*..... 17

Gambar 2.8 Deformasi *link* 18

Gambar 2.9 Klasifikasi panjang *link* dan kegagalannya 19

Gambar 2.10 Tipikal kurva kapasitas POA..... 20

Gambar 3. 1 Kurva perbandingan *engineering stress-strain vs. true stress-strain*..... 25

Gambar 3.2 Skema pemodelan portal 26

Gambar 3.3 (a) portal dengan *bracing* konsentris, (b) portal dengan *bracing* eksentris 60 cm, dan (c) portal dengan *bracing* eksentris 120 cm. 26

Gambar 3.4 Pemodelan sistem portal..... 27

Gambar 3.5 *Input data*; Kiri: spesifikasi profil, Kanan: spesifikasi material baja 28

Gambar 3.6 Proses *meshing* 28

Gambar 3.7 Tumpuan pada portal..... 29

Gambar 3.8 Pembebanan pada portal..... 29

Gambar 3.9 Diagram alir penelitian..... 31

Gambar 4.1 Pemodelan portal..... 33

Gambar 4.2 Geometri profil..... 34

Gambar 4.3 Pembagian *node* pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris; Kiri: *meshing* 4, Kanan; *meshing* 25..... 36

Gambar 4.4 Pembagian *node* pada pemodelan portal dengan *bracing* eksentris 60 cm; Kiri: *meshing* 4, Kanan; *meshing* 25..... 36

Gambar 4.5 Pembagian *node* pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris; Kiri: *meshing* 4, Kanan; *meshing* 25..... 37



Gambar 4.6 Plot kontur tegangan von Mises pada pemodelan portal dengan <i>bracing</i> konsentris; Kiri: <i>meshing</i> 25, Kanan: <i>meshing</i> 4	38
Gambar 4.7 Grafik tegangan-regangan komponen balok pada portal dengan <i>bracing</i> konsentris	39
Gambar 4.8 Grafik tegangan-regangan komponen <i>bracing</i> pada portal dengan <i>bracing</i> konsentris	40
Gambar 4.9 Plot kontur tegangan von Mises pada pemodelan portal dengan <i>bracing</i> eksentris 60 cm; Kiri: Meshing 4, Kanan: Meshing 25	41
Gambar 4.10 Grafik tegangan-regangan komponen kolom pada portal dengan <i>bracing</i> eksentris 60 cm	41
Gambar 4.11 Grafik tegangan-regangan komponen <i>link-beam</i> pada portal dengan <i>bracing</i> eksentris 60 cm	42
Gambar 4.12 Plot kontur tegangan von Mises pada pemodelan portal dengan <i>bracing</i> eksentris 120 cm; Kiri: <i>Meshing</i> 4, Kanan: <i>Meshing</i> 25	43
Gambar 4.13 Grafik tegangan-regangan komponen kolom pada portal dengan <i>bracing</i> eksentris 120 cm	43
Gambar 4.14 Grafik tegangan-regangan komponen <i>link-beam</i> pada portal dengan <i>bracing</i> eksentris 120 cm	44
Gambar 4.15 Grafik tegangan-regangan elemen pada <i>bracing</i> pada pemodelan CBF	45
Gambar 4.16 Grafik tegangan-regangan elemen pada <i>link-beam</i> pemodelan portal EBF...45	45
Gambar 4.17 Grafik perbandingan tegangan-regangan elemen pada <i>bracing</i> pemodelan portal	46
Gambar 4.18 Grafik perbandingan tegangan-regangan elemen pada kolom pemodelan portal	47
Gambar 4.19 Grafik perbandingan tegangan-regangan elemen pada <i>link-beam</i> pemodelan portal EBF	48



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bumi memiliki rangkaian gerakan bawah tanah yang terjadi selama jutaan kali pada tiap tahunnya. Gerakan ini dihasilkan oleh arus konveksi yang berkembang pada lapisan mantel bumi akibat suhu tinggi dan gradien tekanan yang terjadi antara kerak dan inti bumi. Terletak di antara lempeng Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik, Indonesia merupakan satu dari 33 wilayah di bumi yang sering mengalami gempa bumi. Gempa bumi merupakan sebuah fenomena alam dimana terjadi pergeseran lempeng (gempa tektonik) atau aktivitas vulkanis gunung aktif (gempa vulkanik). Pada tahun 2019, BMKG (Badan Meteorologi dan Geofisika) mencatat bahwa terdapat peningkatan gempa dalam kurun waktu 2014-2019, yaitu sebanyak 11.920 gempa.

Menjadi salah satu negara yang termasuk dalam *ring of fire*, hanya Pulau Kalimantan yang memiliki bahaya relatif rendah terhadap gempa bumi di Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa terdapat 1.926 unit rumah mengalami kerusakan akibat gempa sepanjang tahun 2020. Kerusakan pada struktur yang timbul akibat beban gempa terbagi menjadi 3 golongan, yaitu kerusakan ringan, kerusakan sedang, dan kerusakan berat.

Jenis struktur yang sudah umum digunakan untuk bangunan sederhana terutama perumahan di Indonesia adalah Struktur Rangka Pemikul Momen (SRPM), namun struktur dianggap lemah dalam menahan gaya lateral serta jarang direkomendasikan untuk struktur gedung bertingkat. Dinding pada struktur bertindak seperti kantilever yang dapat menyebabkan *lateral drift* pada lantai saat terkena beban lateral (Duggal, 2013:166), permasalahan ini dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada balok terlebih dahulu. Sebagai upaya mitigasi pada saat terjadi gempa, dilakukan beberapa penelitian dan analisa lebih lanjut akan desain yang lebih efektif dan aman bagi penghuni, yaitu penggunaan sistem pengaku pada struktur portal. Pengaku (*bracing*) diharapkan dapat memberi kekuatan lebih pada struktur pada saat gempa terjadi.

Terdapat dua macam sistem pengaku pada sistem portal, yaitu eksentris dan konsentris. Struktur rangka dengan bresing konsentris atau biasa disebut dengan *cocentrically braced*

frame (CBF) merupakan struktur daktil yang sudah umum digunakan pada bangunan bertingkat, namun akibat memiliki sifat kekakuan yang sangat tinggi dengan pengaku yang terpasang secara konsentris, struktur CBF dapat menarik gaya seismik yang lebih besar dan dapat mengakibatkan terangkatnya pondasi. Akibat beberapa kekurangan serta permasalahan yang masih ada, dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap desain serta fungsi yang dapat diaplikasikan pada bangunan sederhana tempat tinggal.

Struktur rangka dengan bresing eksentris (EBF) adalah sistem rangka portal yang merupakan sebuah pengembangan dari struktur rangka dengan bresing konsentris (CBF). Sistem rangka portal EBF memiliki kekakuan daktilitas yang hampir sama dengan CBF namun lebih fungsional saat diterapkan pada bangunan sederhana. Salah satu bagian terpenting pada struktur portal ini adalah *link-beam*. Panjang *link* pada sistem portal dianggap sebagai jarak bersih antara dua ujung bresing diagonal atau antara bresing diagonal dan wajah kolom dan berfungsi untuk mengontrol perilaku elastisitas *link* serta perilaku keruntuhan struktur.

Memiliki pembukaan arsitektural yang lebih baik serta kemampuan dalam memberikan kapasitas daktilitas yang signifikan, penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh tegangan dan regangan eksentrisitas pada portal baja dengan *bracing* diagonal eksentrisitas satu arah sebagai upaya mitigasi risiko yang terfokus pada struktur bangunan sederhana terutama di Indonesia.

1.2. Identifikasi Masalah

Dengan berkembangnya perencanaan rekayasa yang *modern*, faktor keamanan terhadap beban tak terduga seperti gempa menjadi salah satu hal yang paling penting. Mengacu pada latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, akibat letak geologis Indonesia yang menyebabkan gempa sering terjadi serta kurangnya prasarana tempat tinggal yang baik dalam menangani permasalahan tersebut, dibutuhkan pengetahuan serta penelitian lebih lanjut mengenai perilaku struktur dalam menahan beban gempa sebagai upaya mitigasi dan solusi di kemudian hari. Dengan adanya kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh eksentrisitas pada perilaku tegangan dan regangan pada struktur portal dengan *bracing* diagonal eksentris satu arah.

1.3. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh eksentrisitas pada portal baja dengan *bracing* diagonal eksentris satu arah akibat beban lateral statis terhadap tegangan dan regangan struktur?
2. Bagaimana pengaruh efektifitas panjang *link-beam* pada portal baja dengan *bracing* diagonal eksentris satu arah akibat beban lateral statis?
3. Bagaimana pengaruh eksentrisitas pada portal baja dengan *bracing* diagonal eksentris satu arah akibat beban lateral statis terhadap mekanisme keruntuhan struktur?

1.4. Batasan Masalah

Adapun beberapa hal yang menjadi batasan pada penelitian ini, yaitu:

1. Digunakan bresing diagonal dengan eksentrisitas satu arah dengan pemodelan 2D.
2. Variasi eksentrisitas pada struktur portal sebesar 0 cm, 60 cm, dan 120 cm.
3. Profil yang digunakan pada struktur adalah WF. 300.200.8.12 untuk komponen kolom, WF. 200.150.6.9 untuk komponen balok, dan WF. 100.100.6.8 untuk komponen bresing, mengacu pada tabel profil baja Ir. Morisco.
4. Digunakan mutu baja BJ-37.
5. Digunakan pembebanan lateral statis pada permodelan portal dengan *bracing* diagonal.
6. Digunakan *software Abaqus (student version)* untuk analisa permodelan.

1.5. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh eksentrisitas pada portal baja dengan bresing diagonal eksentris satu arah akibat beban lateral statis terhadap tegangan dan regangan struktur serta efektifitas portal dibandingkan dengan baja dengan bresing konsentris
2. Mengetahui efektifitas panjang *link-beam* pada pemodelan portal.
3. Mengetahui pengaruh eksentrisitas pada perilaku keruntuhan pemodelan portal.

1.6. Manfaat Penelitian

Ada pun manfaat dari penelitian ini yang diharapkan dapat berguna dalam beberapa aspek kehidupan serta bagi beberapa pihak, yaitu:

1. Bagi penulis

Dapat mengetahui serta mengerti perilaku tegangan dan regangan pada struktur portal dengan *bracing* diagonal eksentris satu arah oleh pengaruh eksentrisitas.

2. Bagi Pembaca

Penelitian dapat menjadi sarana guna menambah ilmu pengetahuan dan wawasan di tengah-tengah era teknologi yang terus berkembang. Selain itu, penelitian juga dapat digunakan sebagai bahan referensi dan literatur untuk penelitian sejenis.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Standar Peraturan Perencanaan Struktur Baja

Konstruksi baja adalah jenis konstruksi yang paling sering diaplikasikan pada bangunan sederhana maupun gedung tinggi, hal ini disebabkan oleh struktur baja yang memiliki sifat elastisitas dan kompleksitas yang tinggi, yaitu mencakup perilaku dan mengetahui kriteria kekuatan, kekakuan, dan daktilitas struktur. Struktur baja terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu *portal frame*, *portal truss*, dan *portal space*. Untuk beberapa tipe, *detailing* ketat diperlukan untuk memenuhi persyaratan, sehingga dibutuhkan standar (*code*) untuk mengetahui ketentuan minimum dan maksimum yang perlu dipenuhi untuk menghasilkan konstruksi yang aman serta memperkecil risiko yang mungkin terjadi (Wiryanto, 2015).

2.1.1 American Institute of Steel Construction (AISC)

AISC merupakan sebuah institut teknik yang memimpin kegiatan teknis berkaitan dengan struktural dan bangunan menggunakan material baja. Hal ini mencakup spesifikasi, kode, penelitian, sertifikasi mutu, standardisasi, pengembangan, dan advokasi sehingga seluruh peraturan yang berlaku memiliki kekuatan hukum. Memiliki fokus terhadap bangunan dengan struktur baja, AISC juga memiliki beberapa ketentuan seismik yang dapat digunakan untuk penelitian ini.

Digunakan AISC 360:10 "*Specification for Structural Steel Buildings*" pada penelitian ini sebagai ketentuan dasar perencanaan struktur baja, termasuk kinerja optimal struktur dengan beban kerja rencana. Syarat-syarat yang berlaku meliputi kekakuan (*stiffness*), kekuatan (*strength*), dan sifat daktil (*ductility*) struktur. Desain struktur baja membutuhkan pendekatan berbasis statistic dan probabilitas yang dapat disebut dengan *Load Resistant Factor Design* (LRFD). Metode LRFD digunakan dalam mendesain struktur untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi. Metode ini dapat digunakan dalam memperhitungkan faktor beban dan faktor ketahanan material.

Selain itu, mengacu pada AISC 341-10 “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*”, struktur baja harus memiliki sifat daktilitas yang tinggi pada setiap komponen portal. Berdasarkan *chapter D section D1*, profil yang akan digunakan pada sistem portal terklasifikasi menjadi dua, yaitu memiliki sifat daktilitas yang sedang dan tinggi pada komponen bresing maupun kolom. Sifat daktilitas pada struktur diharapkan global dengan pembagian komponen struktur yang bekerja secara elastis dan plastis. Hal ini agar struktur dapat sistem dapat melakukan dissipasi energi sebagai upaya antisipasi saat gempa terjadi. Secara umum, standar ini berisi ketentuan khusus, perencanaan hingga pelaksanaan struktur baja pada bangunan tahan gempa

2.1.2 Standar Nasional Indonesia (SNI)

Dirumuskan oleh Komite Teknis Perumusan SNI dan ditetapkan oleh Badan Standar Nasional (BSN), SNI merupakan standar yang digunakan di Indonesia. Pada penelitian ini, SNI digunakan sebagai salah satu persyaratan serta standar dalam perencanaan struktur. Mengacu pada SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” yang sudah disesuaikan untuk penggunaan di wilayah Indonesia.

Untuk menentukan kekuatan struktur, digunakan sistem pemikul gaya seismik berdasarkan jenis struktur yang akan digunakan sebagai batasan sistem struktur yang termuat serta kombinasi pembebanan untuk mengetahui gaya dalam yang bekerja pada saat perencanaan dan pelaksanaan struktur.

2.2. Material Baja

Ada begitu banyak jenis material yang dapat digunakan dalam merencanakan pembangunan suatu struktur, salah satunya adalah baja. Memiliki kuat tarik 100 kali dari nilai kuat tarik beton (McCormac, Jack, 2001), baja adalah logam panduan antara besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur pematat. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai dengan tingkatannya. Fungsi karbon dalam baja yaitu sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada sisi kristal (*crystal lattice*) atom besi (Tarkono, dkk., 2012).

Sifat mekanik dari baja yang digunakan untuk perencanaan serta pembangunan struktur dengan sifat mekanik seperti tegangan leleh dan regangan putusnya, seperti yang sudah diatur pada ASTM A6/A6M, diklasifikasi menjadi:

1. Baja karbon

Baja karbon terbagi menjadi 3 kategori yang bergantung pada presentase kandungan karbon di dalamnya, yaitu baja karbon rendah ($C = 0,03-0,35\%$), baja karbon medium ($C = 0,35-0,50\%$), dan baja karbon tinggi ($C = 0,55-1,7\%$). Baja yang umum digunakan dalam konstruksi ialah baja karbon medium, seperti BJ 37 dengan tegangan leleh (f_y) antara 210-250 MPa.

2. Baja paduan rendah mutu tinggi

High-strength-low-alloy-steel/HSLA mempunyai tegangan leleh berkisar antara 290-550 MPa dengan tegangan putus (f_u) antara 415-700 MPa. Jika baja karbon mendapatkan kekuatan seiring dengan penambahan presentase karbon, maka bahan-bahan yang dipadukan didalam mampu memperbaiki sifat mekanik baja dengan membentuk mikrostruktur dalam bahan baja yang lebih halus.

3. Baja paduan

Baja paduan rendah (low alloy) dapat ditempa dan dipanaskan demi memperoleh tegangan leleh antara 550-760 MPa. Tegangan leleh dari baja paduan ditentukan sebagai tegangan yang terjadi pada saat regangan permanen timbul sebesar 0,2%. Baja paduan juga dapat ditentukan sebagai tegangan pada saat regangan mencapai 0.5%.

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, baja terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan besarnya tegangan putus (f_u) dan tegangan leleh (f_y) seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Sifat mekanis material baja struktural sesuai mutu

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (SNI)

Jenis Baja	Tegangan putus, f_u (MPa)	Tegangan leleh, f_y (MPa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20

BJ 41	410	260	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Selain terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan tegangan yang terjadi, material baja memiliki modulus elastisitas (E). Dengan adanya modulus elastisitas, material memiliki kemampuan untuk berubah bentuk, seperti memanjang, memendek, maupun melengkung. Beberapa sifat-sifat mekanis baja struktural yang juga menjadi acuan untuk perencanaan struktur baja, yaitu:

Modulus elastisitas : E = 200.000 MPa

Modulus geser : G = 80.000 MPa

Nisbah poisson : $\mu = 0,3$

2.3. Sifat Material Baja

Untuk memahami perilaku struktur dan sifat-sifat mekanik dari baja, uji tarik (*tensile test*) merupakan pengujian yang paling tepat dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan laju regangan normal yang terjadi pada material baja.

2.3.1 Tegangan dan Regangan Normal

Seumpama sebuah batang prismatic menerima gaya aksial pada kedua ujungnya, momen lentur yang terjadi pada benda uji akan mengalami tegangan berupa tarik (*tensile stress*) atau tekan (*compression stress*) yang terdistribusi pada seluruh luas permukaan.

Setelah mengalami tegangan, batang akan mengalami penyusutan atau perubahan bentuk serta ukurang, hal ini dapat disebut dengan regangan. Untuk mengukur tegangan dan regangan yang terjadi pada sebuah benda, dapat digunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan,

P = gaya yang bekerja



A = luas penampang

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.2)$$

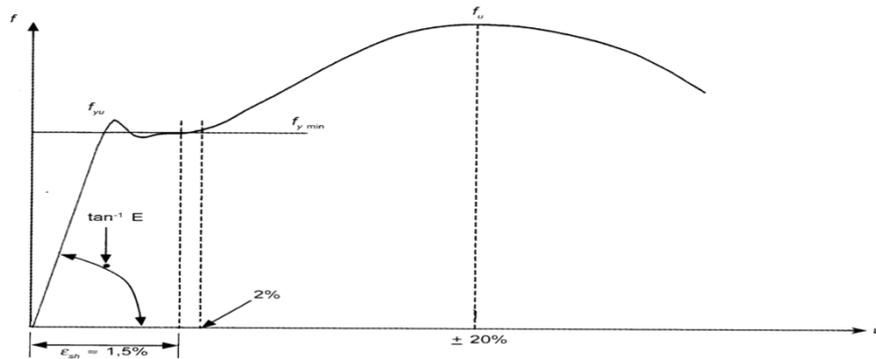
dengan,

ϵ = epsilon atau regangan

L = panjang benda

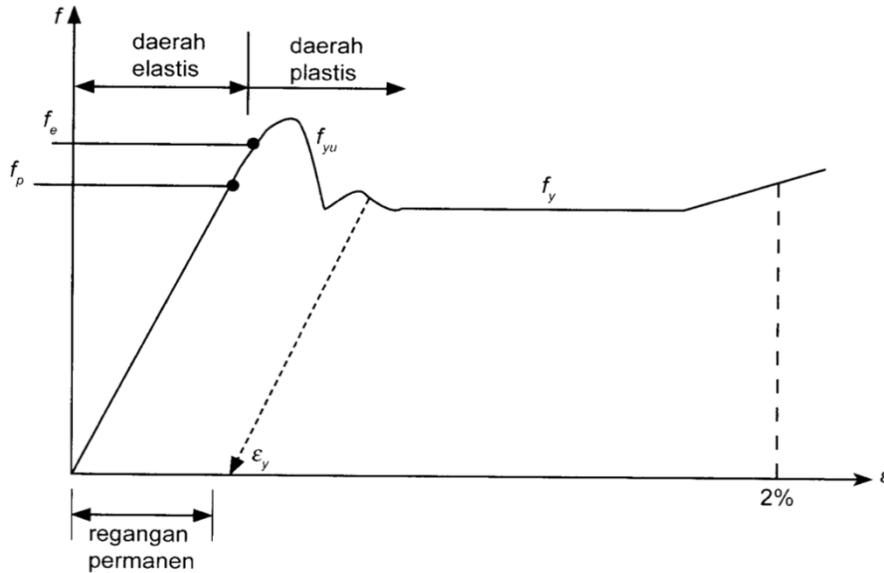
ΔL = perubahan panjang

Apabila benda mengalami perpanjangan, fenomena dapat disebut regangan tarik, namun apabila benda mengalami penyusutan, maka dapat dikatakan regangan tekan. Regangan merupakan besaran tanpa dimensi dengan rasio antara dua panjang. Berikut kurva hubungan antara tegangan dan regangan tipikal yang terjadi pada material baja ketika telah dilakukan uji coba tarik:



Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan (σ) vs Regangan (ϵ)





Gambar 2.2 Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar

Sumber: Agus Setiawan (2013)

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan pada Gambar 2-2 dan Gambar 2-3 antara lain:

f_p = batas proporsional

f_e = batas elastis

f_{yu}, f_y = tegangan leleh atas dan bawah

f_u = tegangan putus

ϵ_{sh} = regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening* (penguatan regangan)

ϵ_y = regangan tegangan dan regangan geser

2.3.2 Tegangan dan Regangan Geser

Tegangan geser bekerja dengan arah tangensial terhadap permukaan bahan dan sering ditemukan pada baut atau penjepit yang tersambung pada komponen struktur. Baut berfungsi untuk menahan gaya yang akan timbul dari dua arah plat Intensitas yang terpasang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal baut yang dapat menyebabkan gaya geser. Pada sisi lain, tegangan geser tidak dapat diasumsikan seragam pada permukaan benda selayaknya

tegangan normal (Beer et al., 2012:12). Setelah terjadi tegangan, regangan geser terjadi sebagai perpindahan permukaan benda akibat gaya geser relative terhadap posisi awal benda. Perhitungan tegangan dan regangan geser dapat dilakukan dengan persamaan (2.3).

$$\tau = \frac{D \cdot S}{b \cdot I} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan,

D = gaya lintang

S = statis momen terhadap garis netral penampang

b = lebar penampang sesuai dengan tinjauan

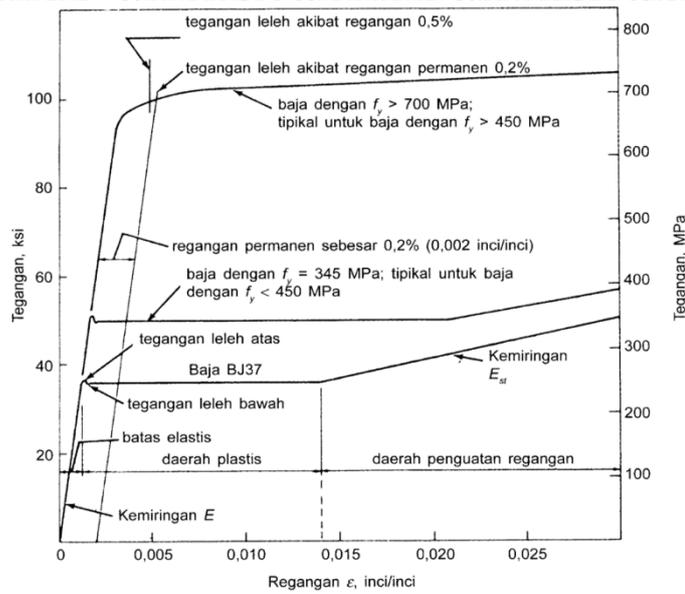
I = momen inersia penampang

2.3.3 Elastisitas dan Plastisitas

Batas elastis yang ada di material adalah tegangan yang berada di antara batas proporsional dan titik putus. Menggunakan perumpamaan yang sama seperti sebelumnya pada tegangan dan regangan, ketika batang prismatis ditarik, tegangan yang terjadi digambarkan menjadi garis linier pada kurva. Pada titik f_p (batas proporsional), benda uji akan mengalami regangan tanpa adanya deformasi permanen, hal ini dapat disebut dengan daerah elastis.

Ketika benda uji telah melewati batas elastis, benda akan mengalami kondisi plastis atau inelastic dimana benda mengalami deformasi secara permanen. Apabila beban terus diaplikasikan ketika material telah melewati kondisi plastis hingga melampaui tegangan maksimum (f_u), maka *necking* (pengecilan) akan terjadi. Desain plastis biasanya bergantung pada pertimbangan kondisi kegagalan material pada saat beban yang diaplikasikan lebih besar daripada beban yang bekerja (Segui, 2007:19).

Setelah benda uji mengalami tegangan dan regangan, terdapat rasio pada *elastic range* (E) yang dapat disebut dengan modulus elastisitas sebesar 200000 MPa seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kurva tegangan-regangan tipikal profil baja konstruksi

Sumber: Agus Setiawan (2013)

2.3.4 Daktilitas

Terdapat dua jenis keruntuhan pada struktur, yaitu keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba dan keruntuhan daktail. Daktilitas adalah kapasitas dari material konstruksi yang mengalami deformasi tanpa kehilangan kekakuan dan atau kekuatan yang signifikan (Duggal, 2013:158). Material daktail mampu mengalami regangan yang besar setelah terjadi leleh sebelum terjadi keruntuhan. Material baja yang memiliki daktilitas rendah dapat membuat baja lebih sensitif akibat adanya tegangan sisa yang terjadi selama proses pembuatan baja.

Kuzmanovic dan Willems (1977), mendefinisikan daktilitas material baja sebagai rasio antara ϵ_{sh} dan ϵ_y seperti persamaan (1.1) atau juga dapat diukur dengan persamaan (1.2):

$$\psi = \frac{\epsilon_{sh}}{\epsilon_y} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$e = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan,

e = elongasi (%)

L_f = panjang spesimen ketika terjadi keruntuhan



L_0 = panjang asli spesimen

2.3.5 Engineering Stress-Strain & True Stress Strain

Engineering stress adalah beban yang terdistribusi pada luas asli penampang sebuah material, atau bisa disebut juga sebagai tegangan nominal. Kurva *engineering stress-strain* ($\sigma - \epsilon$) biasanya didasari oleh kondisi penampang sebelum dibebani. Kurva didapat dengan melakukan konversi data pengujian ($P - \Delta$) dengan data geometri ($A - L$) kondisi awal, (Dewobroto, 2016:155&159). *True stress* memiliki nilai lebih besar daripada *engineering stress*. Ketika sebuah material telah mengalami penyusutan akibat tegangan yang terjadi, *true stress* digunakan untuk menghitung beban yang tersalurkan pada penampang. Konversi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

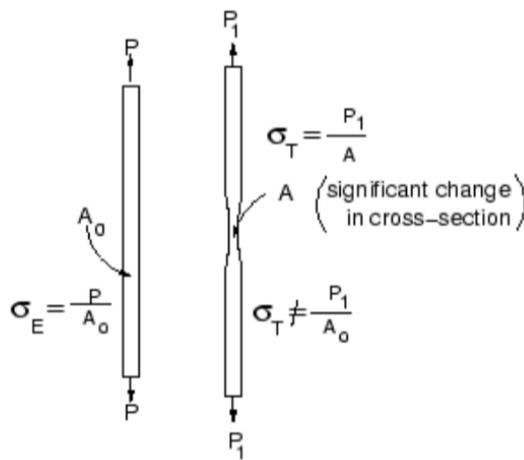
$$\sigma_t = \sigma(1 + \epsilon) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\epsilon_t = \ln(1 + \epsilon) - \frac{\sigma_t}{E} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan,

$E = 200000 \text{ MPa}$

ϵ_t = tegangan sebenarnya



Gambar 2.4 *Engineering Stress vs. True Stress*

Sumber: Iman Faridmehr, et al. (2014)

Engineering strain adalah besaran material berdeformasi pada saat dilakukan uji tarik, dibagi dengan panjang asli benda. Hal ini juga dapat disebut dengan regangan nominal.



Persamaan (2.8) dan (2.9) menjabarkan hubungan *true stress-strain* dan *engineering stress-strain* yang dapat berlaku hingga penyusutan mulai terjadi pada benda uji. Diluar kondisi yang telah disebutkan, dibutuhkan koreksi dengan menggunakan pengukuran aktual penampang yang diukur selama *coupon test* (Bruneau, Uang, dan Sabelli, 2011:10).

$$\sigma_{true} = (1 + \varepsilon_{engineering})\sigma_{engineering} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\varepsilon_{true} = \ln + \varepsilon_{engineering} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.3.6 Tegangan von Mises

Material baja memiliki beberapa kriteria leleh. Perilaku plastis pada material sering sekali dijabarkan dalam bentuk kriteria leleh tegangan von Mises. Tegangan von Mises merupakan bentuk lain dari tensor tegangan dimana material sudah melampaui batas elastis dan menjadi plastis.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_e^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Tegangan von Mises adalah rumus yang menggabungkan tegangan *ultimate* (f_u) menjadi tegangan ekuivalen yang dapat dibandingkan dengan tegangan leleh material (Khennane, 2013:141). Apabila digunakan material yang sama dalam uji coba tarik, komponen struktural dapat dikatakan aman ketika energi distorsi per satuan volume dalam material tersebut tetap lebih kecil dibandingkan dengan energi distorsi per satuan volume dari specimen yang digunakan (Bruneau, Uang, dan Sabelli, 2011:468).

2.4. Sistem Struktur

Portal merupakan merupakan hubungan antara balok dan kolom yang saling menyambung hingga membuat bangun *grid* atau membentuk suatu struktur portal bertingkat. Seiring dengan berkembangnya infrastruktur, bangunan dapat dinyatakan kuat dan aman pada saat terjadi gempa ketika portal memiliki kemampuan disipasi energi saat melewati deformasi inelastis yang besar.

2.4.1 *Moment Resisting Frame (MRF)*

Mengacu pada SNI 1726:2019, sistem rangka pemikul momen (SRPM) yang bekerja pada gedung sebagai penahan beban vertikal dan horizontal terbagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

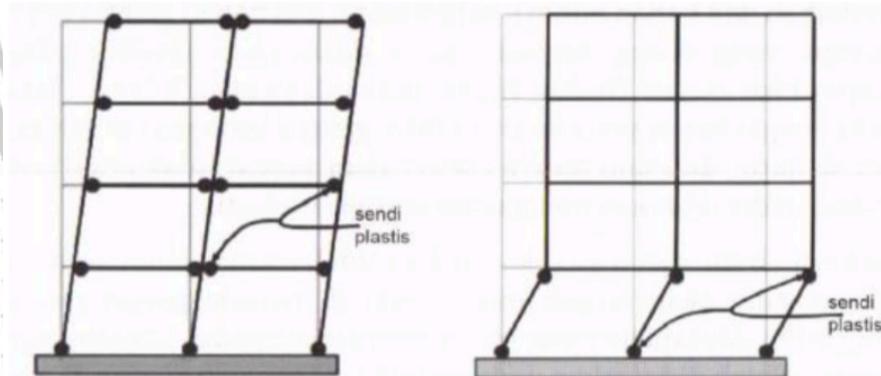
SRPMB merupakan sistem rangka yang memiliki kekuatan besar namun memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

SRPMM merupakan sistem rangka ruang dimana *joint* dan komponen pada struktur bekerja dengan menahan gaya melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Struktur ini memiliki sifat daktilitas sedang.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SRPMK adalah sistem rangka portal yang bersifat daktil secara menyeluruh dengan *detail* secara khusus. Kolom pada sistem portal diharapkan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan balok. Struktur rangka harus didesain berperilaku *strong-column-weak-beam* untuk memastikan tidak terjadi sendi plastis di kolom (Dewobroto, 2016:71).



Gambar 2.5 Perilaku inelastis sistem portal daktil; Kiri: *strong column-weak beam*, Kanan: *story mechanism* (Hamburger, et al., 2009)

Sumber: Wiryanto Dewobroto (2016)

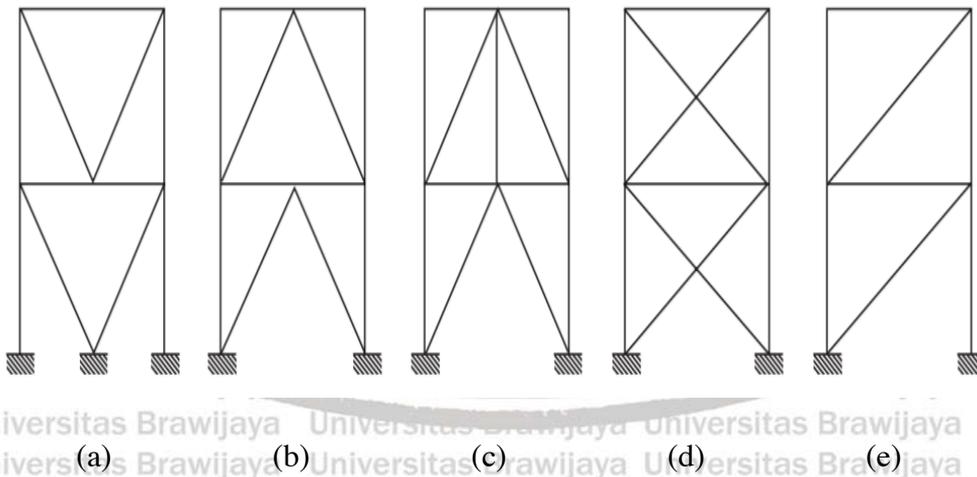
2.4.2 *Braced Frame*

Pengaku pada struktur portal yang digunakan dapat disebut dengan *bracing*. *Bracing* atau pengaku adalah salah satu komponen yang terpasang secara diagonal dan terhubung

diantara komponen balok dan kolom pada struktur rangka. *Bracing* digunakan demi menambah kekuatan dan kekakuan struktur dengan mengurangi simpangan dan menahan deformasi pada bangunan secara efektif. Mengacu kepada yang telah dijelaskan secara singkat sebelumnya, sistem pengaku pada portal terbagi menjadi dua jenis, yaitu eksentris dan konsentris. Pada kedua jenis tersebut, bresing dipasang berdasarkan beberapa tipe serta jenis struktur portal yang akan digunakan. Portal yang menggunakan sistem pengaku pada umumnya adalah portal dengan sistem rangka batang yang terbagi menjadi beberapa jenis.

2.4.2.1 Concentrically Braced Frame (CBF)

CBF adalah struktur rangka dengan *bracing* diagonal konsentris yang terhubung pada komponen balok. Pada tahun 1971, Pacoima Dam-Record melakukan percobaan eksitasi pada struktur CBF dengan hasil yang menunjukkan bahwa kekakuan awal yang tinggi pada *bracing* konsentris. Pada struktur ini, dibutuhkan *detail* pada *bracing* diagonal untuk menahan deformasi plastis serta disipasi energi histerisis secara stabil terhadap siklus tekuk yang terjadi dengan gaya tekan dan tarik. Deformasi plastis diharapkan hanya terjadi pada *bracing* sehingga tidak terjadi kerusakan pada kolom dan balok struktur (Bruneau, Uang, dan Sabelli, 2013:499).



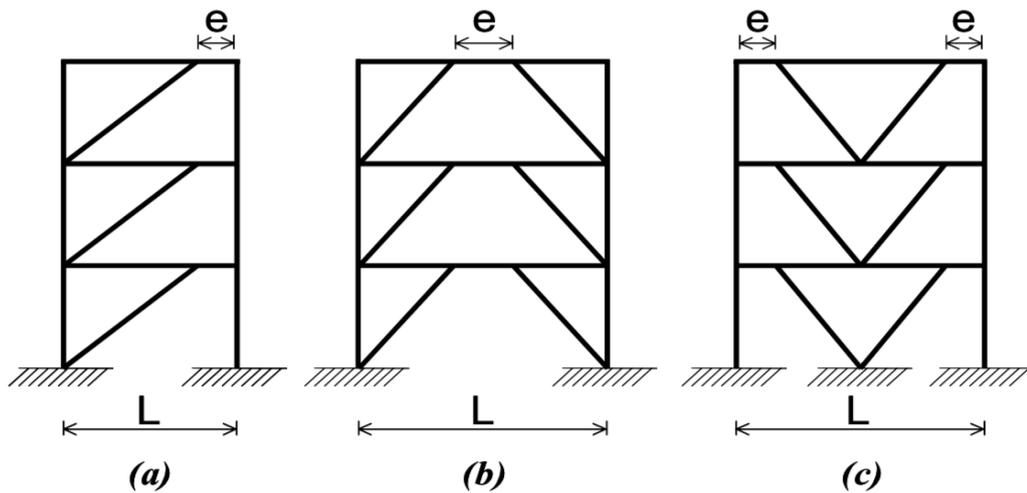
Gambar 2.6 Tipe-tipe rangka portal dengan bresing konsentris; (a) *V-bracing*, (b) *inverted bracing*, (c) *zipper bracing*, (d) *X-bracing*, (e) *diagonal bracing*.

Sumber: Duggal, S. K. (2013)

2.4.2.2 *Eccentrically Braced Frame (EBF)*

Penelitian terhadap tentang *Eccentrically Braced Frame (EBF)* atau portal dengan *bracing* eksentris pertama kali dilakukan pada tahun 1970 hingga 1980 di *University of California, Barkeley*. Struktur EBF memiliki kinerja yang baik pada saat gempa terjadi akibat kombinasi kekakuan yang tinggi dan perilaku *hysteretic* yang stabil.

EBF adalah sistem portal dimana gaya yang bekerja diinduksi pada *bracing* dan ditransfer pada komponen kolom atau bresing lain yang memiliki kemampuan disipasi energi seismik oleh kelelahan gaya geser atau lentur, yaitu *link* (Duggal, 2013:419). Sistem portal ini memiliki kekakuan yang besar dan dapat mempertahankan perilaku histeresis hingga ketika salah satu *link* mengalami keruntuhan (Taichiro Okazaki, 2004:13-14). *Link* pada struktur portal EBF merupakan komponen kecil yang terletak di jarak yang tersisa di antara *bracing* diagonal yang terhubung dengan komponen balok seperti pada Gambar 2.8. dengan e sebagai jarak eksentrisitas pada portal.



Gambar 2.7 Tipe-tipe sistem rangka portal dengan bresing eksentris; (a) *D-braced frame*, (b) *split K-braced frame*, (c) *V-braced frame*.

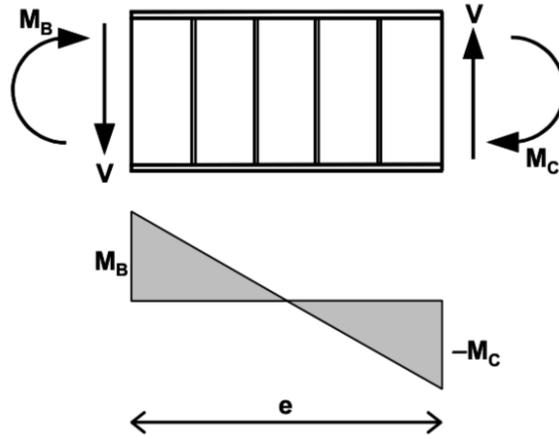
Sumber: Taichiro Okazaki (2004)

2.4.3 *Link-Beam*

Link-beam merupakan segmen pada balok yang terhubung antara *bracing* atau di antara *bracing* dan kolom (Taichiro Okazaki, 2004:8). *Link* pada portal diharapkan dapat menunda tekukan lokal dan tekuk torsi lateral sebelum pengembangan rotasi inelastis pada struktur. Sambungan *link* pada balok biasanya berada pada pelat ujung dengan baut yang terbuat



dengan material baja dengan kekuatan leleh yang lebih rendah untuk menghasilkan daktilitas yang tinggi. *Link* untuk sistem portal EBF pada umumnya berfungsi untuk disipasi energi gempa secara stabil. Perilaku daktil pada *link* bergantung pada penampang yang memenuhi syarat kelangsingan dan letak pengaku pada badan penampang. Hasil uji coba Kasai dan Popov (1986) membuktikan bahwa kapasitas rotasi inelastis bergantung pada panjang *link* – semakin panjang *link*, semakin besar kapasitas rotasi penampang.



Gambar 2.8 Deformasi *link*

Sumber: Taichiro Okazaki (2004)

Pada saat gempa terjadi, *link-beam* diharapkan mengalami keruntuhan terlebih dahulu. *Fuse* (sekring) atau *link* pada CBF diharapkan bekerja secara inelastik dengan memanfaatkan adanya leleh geser atau leleh lentur atau kombinasi keduanya (Dewobroto, 2016:74). Berdasarkan penelitian Engelhardt dan Popov (1989), panjang *link* terklasifikasi menjadi tiga dengan keruntuhan yang dapat menentukan kebutuhkannya *stiffener* atau tidak pada web profil, yaitu:

1. *Short link*

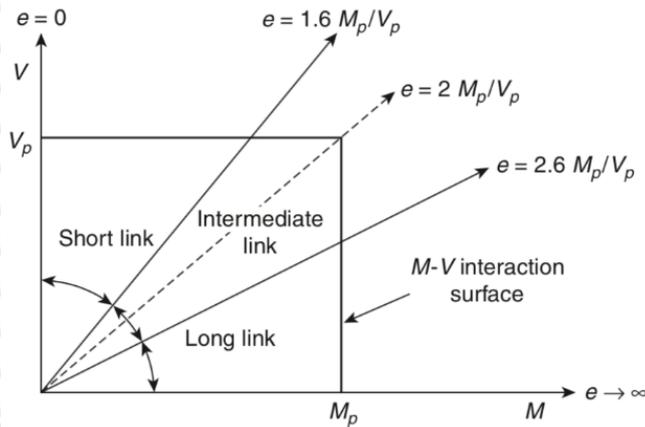
$e \leq e_0$, dimana kelelahan terjadi dominan geser.

2. *Intermediate link*

$2,6 \frac{M_p}{V_p} > e > 1,6 \frac{M_p}{V_p}$, dimana kelelahan yang terjadi merupakan lentur dan geser.

3. Long link

$e \geq e_0$ dengan $e_0 = \frac{1,6M_p}{V_p}$, dimana kelelahan yang terjadi dominan lentur.



Gambar 2.9 Klasifikasi panjang link dan kegagalannya

Sumber: Bruneau, Uang, dan Sabelli (1998)

Malley dan Popov (1983) melakukan pengujian untuk mengetahui tekuk lokal yang terjadi pada web profil pada saat link diberikan *stiffener* (pengaku) dan tidak. Hasil menunjukkan bahwa tekuk lokal dapat diatasi dengan menambahkan stiffener. Untuk link tanpa stiffener, kegagalan biasa terjadi di tengah badan profil akibat kelelahan material dari deformasi badan profil yang cukup parah (Bruneau, Uang, dan Sabelli, 2011:594).

2.5. Beban Statis Lateral

Dalam perencanaan, struktur terbagi menjadi dua, yaitu struktur atas (*upper structure*) yang berfungsi untuk menerima kombinasi pembebanan yang sudah direncanakan dan struktur bawah (*sub structure*) yang berfungsi untuk meneruskan beban ke tanah. Pada saat gempa terjadi, pergerakan vertikal biasanya memiliki besaran yang jauh lebih kecil dibanding dengan pergerakan horizontal yang diakibatkan oleh tanah. Gerakan horizontal menyebabkan efek yang paling signifikan, efek tersebut yang dianggap dengan beban gempa (Salmon & Johnson, 1996:11). Pada sisi lain, beban horizontal juga dapat disebut dengan beban lateral. Beban lateral yang bekerja pada struktur salah satunya adalah beban statis lateral, yaitu beban yang konstan terhadap waktu.



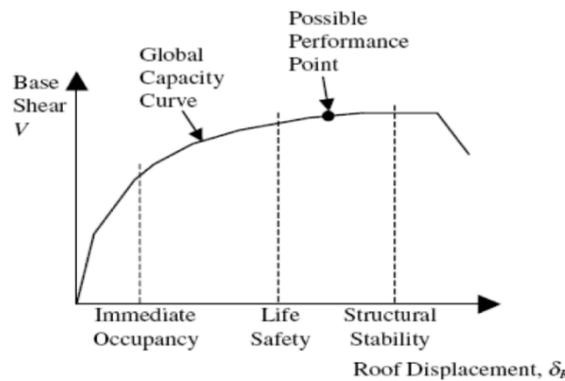
2.5.1 Software Abaqus

Software Abaqus merupakan program *finite element system* yang dapat digunakan untuk mensimulasikan perilaku material bahan rekayasa seperti logam, karet, polimer, komposit, beton bertulang, busa lentur dan kuat, dan bahan geoteknik seperti tanah dan batuan. Pada penelitian ini, software dapat digunakan untuk mempelajari struktural serta mensimulasikannya untuk mendapatkan hasil tegangan dan perpindahan yang terjadi.

Proses analisis menggunakan *Software Abaqus* akan dimulai dengan *pre-processing*, yaitu desain, *input* material serta parameter-parameter yang dibutuhkan oleh struktur. Pada tahap berikutnya, struktur disimulasikan untuk mengalami keruntuhan hingga hasil dapat diproses sesuai dengan output yang telah dipilih diawal.

2.5.2 Analisis Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*)

Pushover Analysis Method (POA) atau analisis beban dorong statik merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dengan tujuan memperkirakan gaya maksimum yang terjadi serta memperoleh informasi bagian kritis pada struktur (Wiryanto D., 2008). Keruntuhan akan terjadi saat struktur mencapai target perpindahan yang ditentukan diawal.



Gambar 2.10 Tipikal kurva kapasitas POA

Sumber: Dr. Mayank Desai dan Darshit Jasani (2015)

Seperti yang tertera pada Gambar 2.10, kapasitas struktur dapat digambarkan menjadi kurva kapasitas *pushover*. Analisa ini pada umumnya dibantu dengan program komputer dengan dengan memberikan gaya lateral pada struktur sebagai substitusi gaya inersia yang dialami oleh struktur ketika mengalami guncangan.

2.6. Penelitian Terdahulu

Seiring dengan berkembangnya konstruksi serta teknologi, beberapa penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu terkait sistem portal dengan bresing diagonal yang menjadi acuan pada penelitian ini adalah:

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil
1.	Dániel B. Merczel, Hugues Somja, Jean-Marie Aribert, dan János Lógó (2013)	<i>On the Behavior of Concentrically Braced Frames Subjected to Seismic Loading</i>	Desain tidak memenuhi akibat mekanisme kelelahan global yang belum memenuhi sehingga struktur mengalami keruntuhan lebih cepat dari yang direncanakan.
2.	Ali Ghabelrahmat (2016)	<i>Comparison of the Behavior of Steel Structures with Concentric and Eccentric Bracing Systems</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pada saat analisis linier, perpindahan EBF lebih besar dari CBF. • Grafik pushover CBF lebih tinggi dibanding dengan EBF, menunjukkan bahwa CBF lebih kuat menahan beban.
3.	Rinu G. David dan N. Sarif (2020)	<i>Seismic Performance of Eccentrically Braced Frames</i>	Kekakuan struktur EBF lebih besar dari SMRF. Selain itu, struktur meningkatkan kekakuan puntir struktur.
4.	Desi Setyowulan, Lilya Susanti, dan Ming Narto Wijaya (2020)	<i>Study on the Behavior of a One-Way Eccentric Bracing under Lateral Load</i>	Bresing dengan eksentrisitas kecil dapat menjadi alternatif pengganti bresing konsentris, dimana bresing konsentris memiliki kesulitan dalam pelaksanaannya.

2.6.1 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan penelitian yang juga merupakan dasar teori pada penelitian ini dan telah menjadi tinjauan sebelumnya, maka dapat dibuat hipotesis pada penelitian ini bahwa:

1. Komponen *link-beam* yang berfungsi sebagai elemen fuse pada portal dapat bekerja secara optimal menyerap energi gempa.
2. Pada grafik *pushover*, struktur EBF memasuki fase non-linier lebih cepat daripada struktur CBF. Pada sisi lain, bresing pada struktur EBF memiliki plastisitas yang lebih tinggi dari struktur EBF.
3. Penggunaan *link-beam* pada struktur EBF dapat memberikan tegangan dan regangan maksimum yang lebih besar pada struktur portal.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Perencanaan Struktur

Pada kajian ini, ditentukan penampang yang akan digunakan pada tiap komponen struktur. Hal ini juga mencakup spesifikasi material, dimensi profil, hingga perencanaan menggunakan bantuan *software Abaqus student version*.

3.1.1 Spesifikasi Material

Material yang akan digunakan untuk setiap komponen pada struktur adalah baja dengan mutu BJ-37 dan mengacu pada SNI 1729-2002.

Tabel 3.1 Spesifikasi material

Sumber: SNI 1729-2002

Data	Spesifikasi
Mutu Baja	BJ-37
E	200000 Mpa
f_y	240 MPa
f_u	370 Mpa

3.1.2 Perencanaan Profil Komponen Struktur

Perencanaan dilakukan untuk mengetahui gaya dalam yang bekerja pada struktur pada saat diberikan beban. Pada penelitian ini, digunakan profil WF untuk masing-masing komponen struktur seperti pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Profil komponen struktur

Komponen	Profil
Kolom	WF 300.200.8.12
Balok	WF 200.150.6.9
Bresing	WF 100.100.6.8

Seperti yang sudah dibahas pada sub-bab 2.4.3., panjang dan kegagalan *link-beam* terklasifikasi menjadi 3. Berdasarkan AISC 360, *chapter G section G2, stiffener* dapat digunakan pada badan atau sayap profil. Apabila hanya dibutuhkan satu *stiffener*, maka dapat ditempatkan pada sayap tekan untuk menghindari *uplift* pada saat terjadi kegagalan torsi.

$$\frac{h}{tw} \leq 2,46 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{3.1}$$

Apabila hasil perhitungan memenuhi persamaan (3.1), maka *stiffener* tidak dibutuhkan.

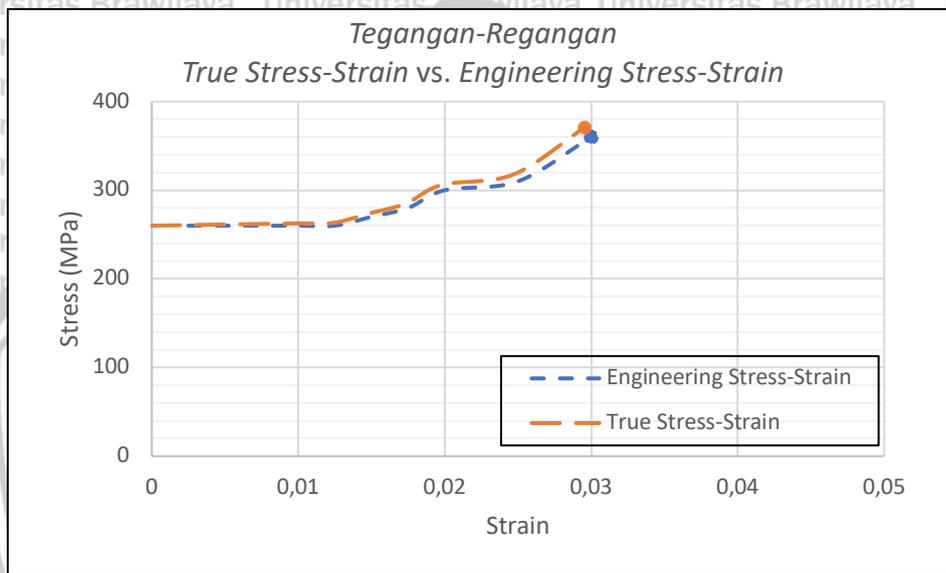
3.2. Konversi Engineering Stress-Strain

Digunakan persamaan (2.8) dan (2.9) untuk konversi nilai tegangan dan regangan menjadi *true stress-strain*. Besaran tegangan dan regangan baja yang digunakan untuk penelitian ini berdasarkan grafik baja tipikal dengan mutu BJ-37. Digunakan sepuluh data untuk merepresentasikan perilaku material seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil konversi *true stress-strain*

No.	Regangan	Tegangan (MPa)	True Strain	True Stress
1	0,0025	260	0,0000	260000000,00
2	0,005	260	0,0050	261300000,00
3	0,0075	260	0,0075	261950000,00
4	0,01	260	0,0100	262600000,00
5	0,0125	260	0,0124	263250000,00

No.	Regangan	Tegangan (MPa)	True Strain	True Stress
6	0,015	270	0,0149	274050000,00
7	0,0175	280	0,0173	284900000,00
8	0,02	300	0,0198	306000000,00
9	0,025	310	0,0247	317750000,00
10	0,03	360	0,0296	370800000,00

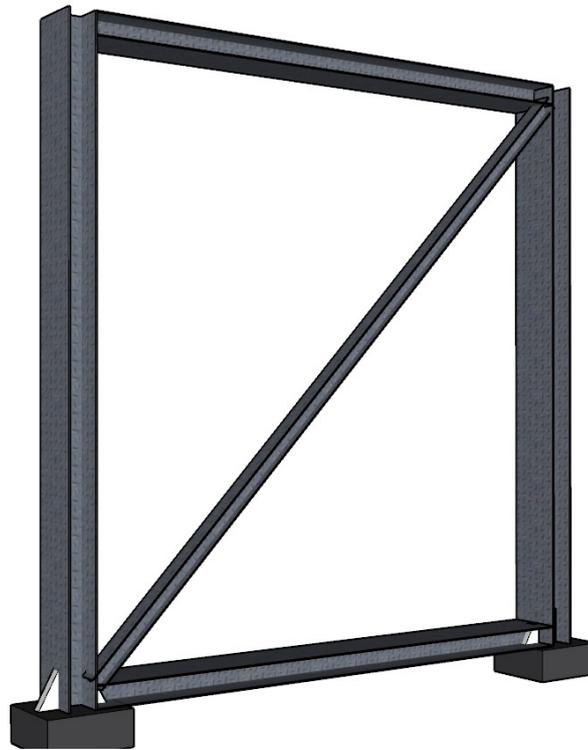


Gambar 3. 1 Kurva perbandingan *engineering stress-strain* vs. *true stress-strain*



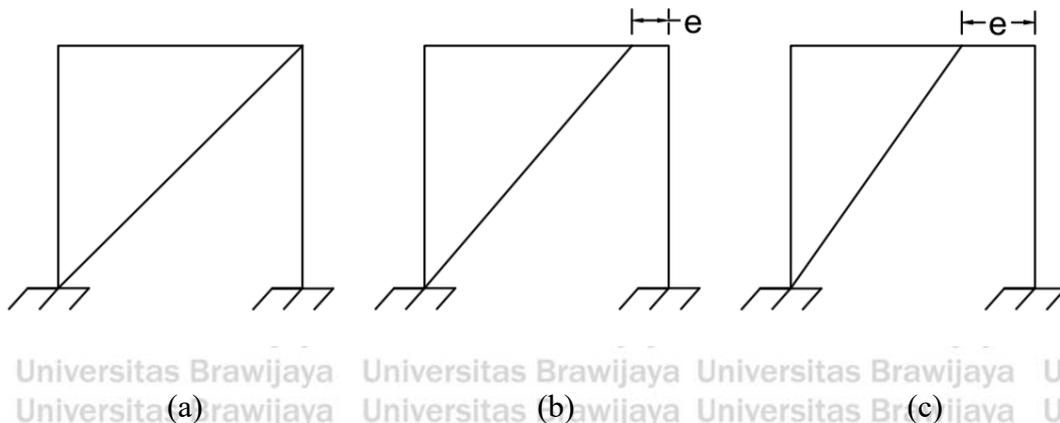
3.3. Pemodelan Portal

Struktur dirancang menggunakan struktur baja berukuran 4 x 4 m dan hanya dengan satu lantai sebagai penggambaran bangunan sederhana atau tempat tinggal. Komponen dimodelkan menggunakan elemen *beam*.



Gambar 3.2 Skema pemodelan portal

Pengelompokan *bracing* diagonal satu arah pada struktur portal terbagi menjadi dua jenis, yaitu *short link* dengan panjang bentang 60 cm dan *long link* dengan panjang bentang 120 cm seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.3 (a) portal dengan *bracing* konsentris, (b) portal dengan *bracing* eksentris 60 cm, dan (c) portal dengan *bracing* eksentris 120 cm.

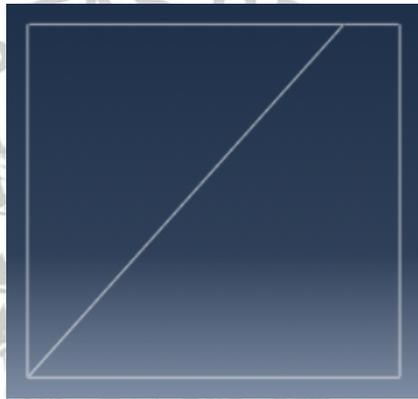
3.4. Analisis Struktur

Digunakan *Software Abaqus Student Edition* untuk membantu penelitian mencari *output* terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur pada saat telah terjadi keruntuhan.

Tahapan penelitian yang terbagi menjadi:

1. Pemodelan struktur portal

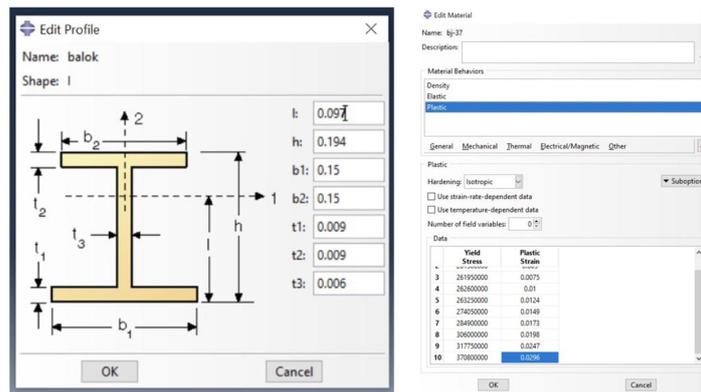
Dengan menggunakan modul *parts* pada *software* Abaqus, portal dirancang secara 2D dengan tipe *deformable*. Ditentukan titik koordinat letak *joint* untuk masing-masing komponen struktur, setelah itu setiap titik koordinat letak *joint* dihubungkan hingga membentuk sebuah kesatuan portal dengan ukuran 4 m x 4 m dengan *bracing* eksentris sebesar 60 cm.



Gambar 3.4 Pemodelan sistem portal

2. *Input* data material

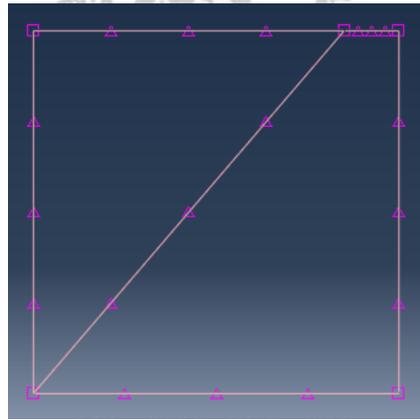
Setelah pemodelan struktur portal sudah jadi, digunakan *tool materials* pada *software* untuk *input* sifat mekanis material yang akan digunakan struktur portal dalam penelitian. Seperti yang sudah dianalisa sebelumnya, digunakan profil WF untuk komponen kolom, balok, dan bresing. Beberapa sifat mekanis yang digunakan pada tahap ini adalah *density* (berat jenis), modulus elastisitas, *poisson's ratio*, dan *true stress-strain* berdasarkan mutu baja yang digunakan, yaitu BJ-37.



Gambar 3.5 Input data; Kiri: spesifikasi profil, Kanan: spesifikasi material baja

3. Meshing

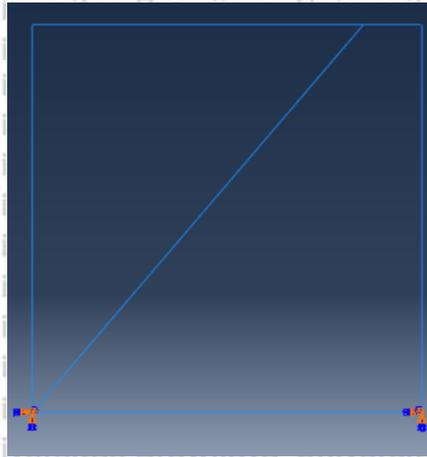
Proses *meshing* dilakukan dengan membagi komponen yang akan dianalisa menjadi elemen-elemen kecil. Tahapan ini dilakukan menggunakan *tool seed* pada software Abaqus untuk mengatur kerapatan. Ketika *seed* pada struktur semakin rapat, *output* yang akan didapatkan pada tahap akhir akan semakin akurat.



Gambar 3.6 Proses *meshing*

4. Boundary condition

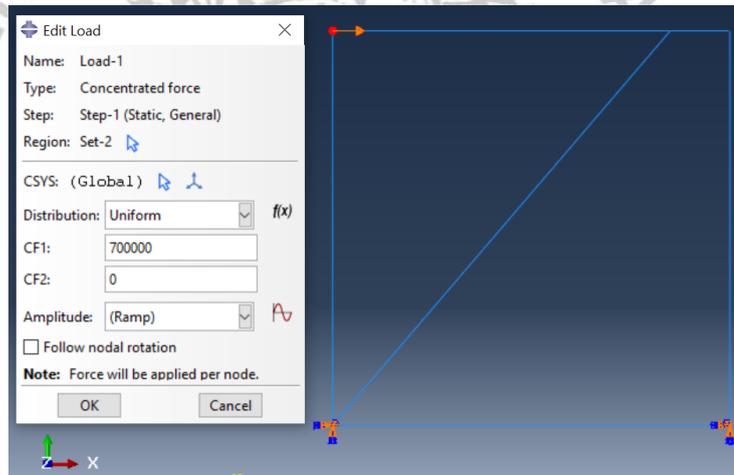
Dengan menggunakan modul *loads*, *boundary condition* berfungsi untuk *input* tumpuan yang akan digunakan pada struktur portal. Pada penelitian ini, digunakan tumpuan jepit-jepit pada portal.



Gambar 3.7 Tumpuan pada portal

5. Pembebanan pada portal

Tipe analisis yang digunakan adalah tipe analisis statis (*static general*) dengan modul *steps* pada *software* Abaqus. Pembebanan dilakukan menggunakan modul *loads* dan diaplikasikan pada titik joint atas portal bagian kiri sebagai beban lateral statis untuk struktur.



Gambar 3.8 Pembebanan pada portal

6. Output

Tahap akhir dilakukan menggunakan modul *job*. Ketika seluruh tahap telah dilakukan dan di-*submit* pada modul *job*, program akan *running* dan memberikan penjabaran data ketika telah terjadi keruntuhan pada struktur. Hasil yang diharapkan mencakup *stress* menggunakan Mises (M), *strains* (E), *displacement* (V), dan *forces* (RF).

3.5. Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga jenis variabel, yaitu:

1. Variabel bebas

Variabel bebas/independen adalah variabel yang besarnya telah ditentukan sebelum penelitian dimulai dan mampu mempengaruhi variabel lainnya. Dalam penelitian ini, variabel bebas mencakup nilai eksentrisitas pada struktur portal dengan bresing eksentris yang nantinya dapat menentukan besar *link beam* pada portal.

2. Variabel terikat

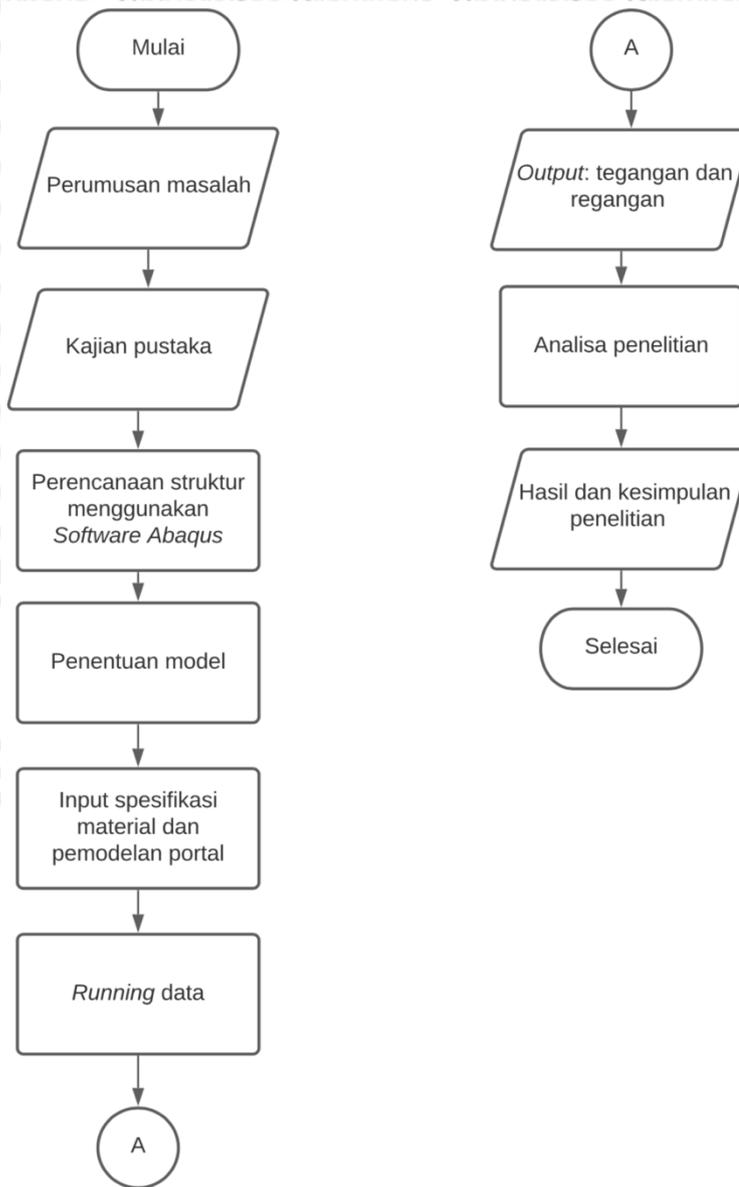
Variabel terikat/dependen adalah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikat mencakup tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur portal akibat besar nilai eksentrisitas pada struktur portal dengan bresing eksentris.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Dalam penelitian ini, yang mencakup variabel terkontrol adalah:

- a) Dimensi struktur portal yaitu 4 m x 4 m.
- b) Dimensi profil pada komponen balok, kolom, dan bresing yang akan digunakan untuk pemodelan struktur.

3.6. Diagram Penelitian



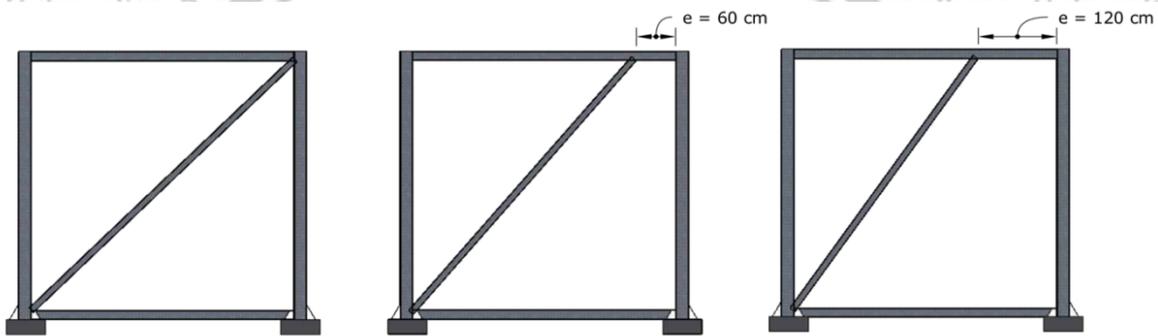
Gambar 3.9 Diagram alir penelitian



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Pemodelan Portal

Pemodelan struktur portal yang digunakan pada penelitian ini adalah portal dengan *bracing* diagonal konsentris dan eksentris. Besaran eksentrisitas atau *link-beam* pada struktur terbagi menjadi 60 cm untuk mewakili parameter *short link* dan 120 cm untuk mewakili parameter *long link* (2.4.3) seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Pemodelan portal

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya pada sub-bab 3.4, pemodelan serta analisis struktur dilakukan dengan bantuan *software Abaqus*, dimana portal dimodelkan secara 2D dengan dimensi 4 x 4 m. Beberapa pengaturan pemodelan struktur serta pengertiannya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jenis pengaturan pada *software Abaqus*

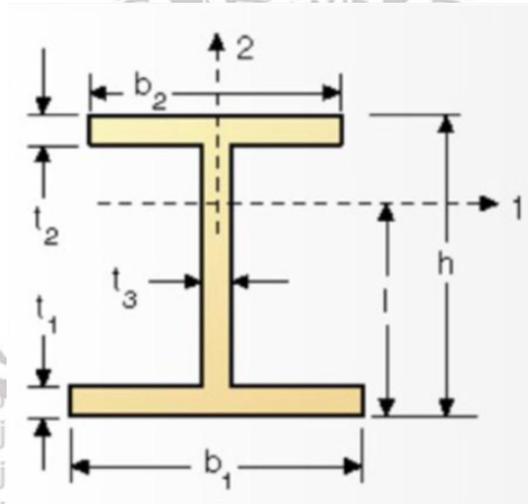
Jenis Pengaturan	Keterangan
Jenis Elemen	2D <i>geometric, line/wire, beam</i>
Jenis Pembebanan & Analisis	Beban statis lateral pada <i>joint</i> kiri atas pemodelan portal
<i>Boundary Condition</i>	Tumpuan jepit pada pangkal kolom

Lanjutan Tabel 4.1. Jenis pengaturan pada software Abaqus

Jenis Pengaturan	Keterangan
<i>Output Request</i>	<i>Field output</i> ; tegangan (Mises), regangan, dan gaya <i>History output</i> ; tegangan Mises (S Mises), regangan (E11) dari elemen kritis tinjauan
<i>Meshing</i>	Menggunakan jenis elemen beam dengan variasi meshing 4 dan 25

4.1.1 Spesifikasi Pemodelan Portal

Analisis pemodelan portal dilakukan dengan bantuan *software Abaqus Student Version*, dimana *input* data terlebih dahulu dilakukan untuk memberikan karakteristik portal serta perilaku material dari pemodelan. Sebagai data *input* pada *software*, profil yang digunakan adalah profil WF dengan spesifikasi profil yang mengacu pada tabel baja Ir. Morisco dengan dimensi seperti pada Gambar 4.2 serta mutu baja BJ-37 yang mengacu pada SNI 1729-2002 (Tabel 4.3).



Gambar 4.2 Geometri profil

Tabel 4.2 Dimensi profil

No.	Komponen	I (m)	h (m)	b ₁ (m)	b ₂ (m)	t ₁ (m)	t ₂ (m)	t ₃ (m)
1.	Balok & Link-Beam	0,097	0,194	0,150	0,150	0,009	0,009	0,006
2.	Kolom	0,147	0,294	0,200	0,200	0,012	0,012	0,008
3.	Bracing	0,050	0,100	0,100	0,100	0,008	0,008	0,006

Tabel 4.3 Spesifikasi material baja

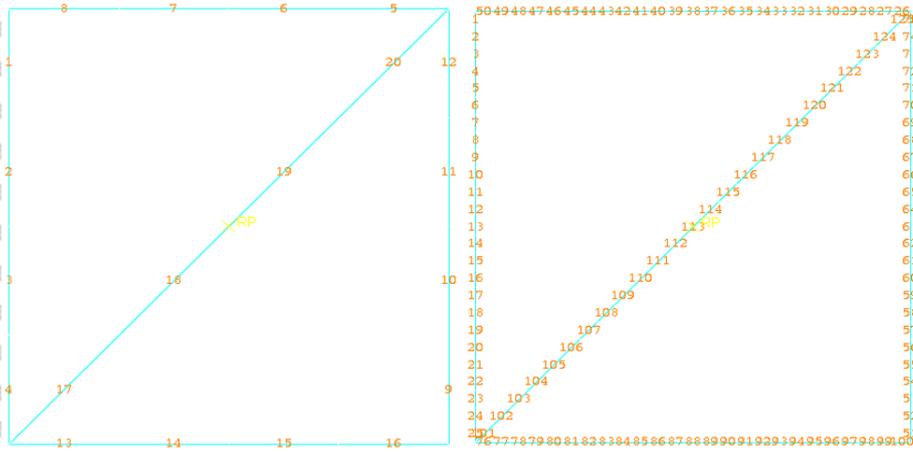
Data	Spesifikasi
Mutu baja	BJ-37
E	200000 MPa
f_y	240 MPa
f_u	370 MPa
G	80000 MPa
Nisbah <i>poisson</i>	0,3
<i>Density</i>	7850 kg

4.2. Simulasi dan Respons Struktur

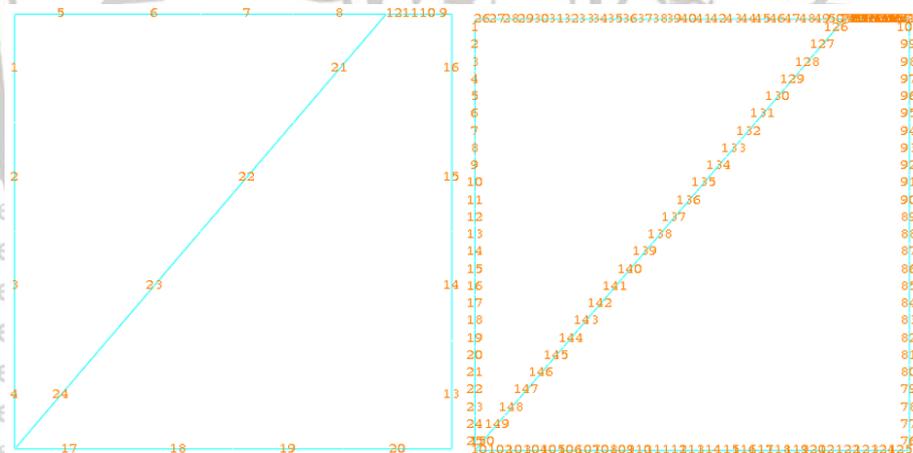
Digunakan pembebanan lateral statis pada masing-masing pemodelan portal dengan besar beban 700000 N (70 ton) pada *joint* kiri atas pemodelan struktur. Beban statis yang bekerja pada arah lateral akan meningkat secara bertahap (*incremental*) hingga terjadi keruntuhan pada struktur. Keruntuhan portal diketahui ketika tegangan von Mises telah melampaui tegangan batas yang menjadi *input* pada pemodelan, yaitu *true stress-strain* (Tabel 3.3).

Mengacu pada Tabel 3.1.2 untuk profil yang digunakan pada masing-masing komponen, struktur portal terbagi menjadi 3 bagian, yaitu balok, kolom, dan *bracing*. Pemodelan struktur dibagi menjadi dua pemodelan dengan jumlah *meshing* yang berbeda, yaitu *seed* 4 untuk mewakili *meshing* besar yang dimana masing-masing komponen pada struktur terbagi menjadi 4 bagian dan *seed* 25 untuk mewakili *meshing* kecil yang dimana masing-masing

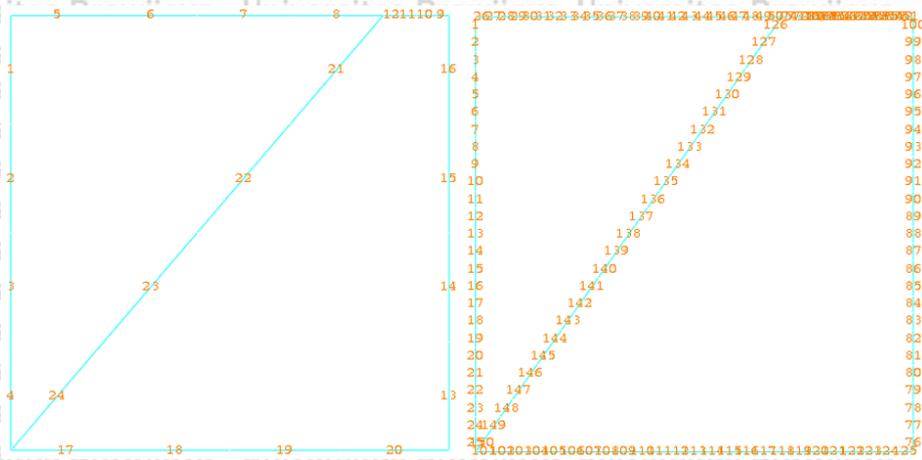
komponen pada struktur terbagi menjadi 25 bagian. Kedua *meshing* dapat dibandingkan untuk mengetahui output yang lebih akurat. Setelah pemodelan dilakukan, simulasi dilakukan dengan bantuan *software Abaqus* untuk mengetahui perilaku struktur yang mencakup tegangan dan regangan pada portal serta pengaruh variasi panjang *link-beam* pada struktur.



Gambar 4.3 Pembagian *node* pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris; Kiri: *meshing* 4, Kanan; *meshing* 25



Gambar 4.4 Pembagian *node* pada pemodelan portal dengan *bracing* eksentris 60 cm; Kiri: *meshing* 4, Kanan; *meshing* 25



Gambar 4.5 Pembagian *node* pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris; Kiri: *meshing* 4, Kanan; *meshing* 25

4.3. Hasil Analisis Struktur

Output yang dikeluarkan pada *software* terbagi menjadi 2, yaitu *field output request* dan *history output request*. *Field output request* dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui letak elemen kritis pada pemodelan portal, dimana *output* yang diketahui mencakup tegangan (Mises), regangan, translasi dan rotasi. Setelah mengetahui elemen kritis pada portal, *history output request* digunakan untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi pada masing-masing *node* elemen kritis, pada bagian ini *output* mencakup tegangan Mises dan regangan normal arah sumbu 1 (E11). Besaran beban maksimum yang dapat diterima oleh portal ketika terjadi keruntuhan dapat diketahui dari keterangan *step time*, dimana *output step time* dikalikan dengan beban yang menjadi input sebelum simulasi dilakukan.

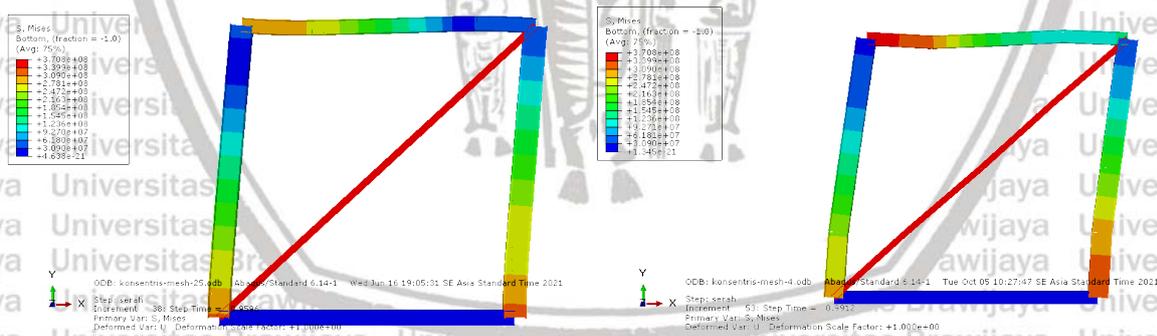
Bracing diagonal pada struktur berfungsi untuk menambahkan kekakuan pada portal sehingga dapat menahan beban yang lebih besar. Pada Tabel 4.4, dengan membandingkan *step time* ketiga pemodelan portal dengan *seed* 4 dan 25, terlihat bahwa portal dengan *bracing* konsentris memiliki kemampuan paling tinggi dalam menahan beban, diikuti dengan portal dengan *bracing* diagonal eksentris dengan panjang *link-beam* 60 cm (*short link*).

Tabel 4.4 *Output step time* pemodelan portal

No.	Model	Meshing	Step Time	Ultimate Load (N)
1.	Portal dengan <i>bracing</i> konsentris	4	0,9912	693840
		25	0,9596	671720
2.	Portal dengan <i>bracing</i> eksentris 60 cm	4	0,7106	497420
		25	0,6303	441210
3.	Portal dengan <i>bracing</i> eksentris 120 cm	4	0,5992	419440
		25	0,4526	316820

4.3.1 Analisis Pemodelan Portal dengan *Bracing* Konsentris

Hasil analisis akan menunjukkan plot kontur yang menunjukkan skema pesebaran daerah serta elemen kritis pada portal (Gambar 4.6). Pada plot kontur dapat diketahui tegangan-regangan maksimum yang terjadi pada struktur serta memberikan gambaran komponen yang pertama kali mengalami keruntuhan. Warna merah *orange* yang mengindikasikan bahwa elemen mendekati keruntuhan, warna merah pada plot kontur mengindikasikan telah terjadi keruntuhan (f_u) dengan besaran tegangan 340-370 MPa, dan warna kuning yang mengindikasikan bahwa elemen telah mengalami kelelahan (f_y) dengan besaran tegangan 240-270 MPa.

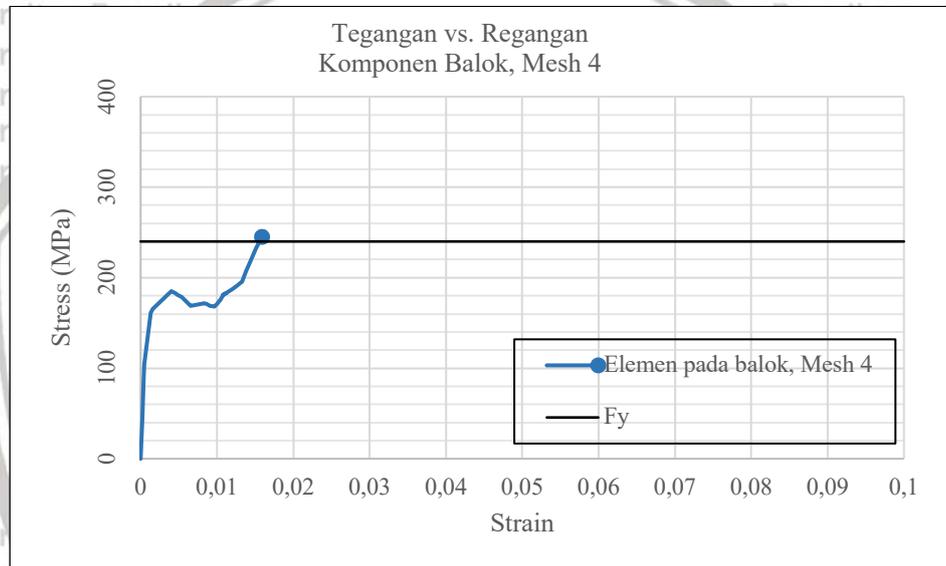


Gambar 4.6 Plot kontur tegangan von Mises pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris; Kiri: *meshing* 25, Kanan: *meshing* 4

Pada pemodelan ini, setelah analisis *field output request* dilakukan, *node* 8, 9, dan 20 mengindikasikan elemen kritis pada komponen *bracing*, kolom, dan balok. Berdasarkan Gambar 4.6, komponen *bracing* mengalami keruntuhan terlebih dahulu dengan besaran yang telah mencapai tegangan putus dibandingkan dengan komponen lain, hal ini dapat dilihat

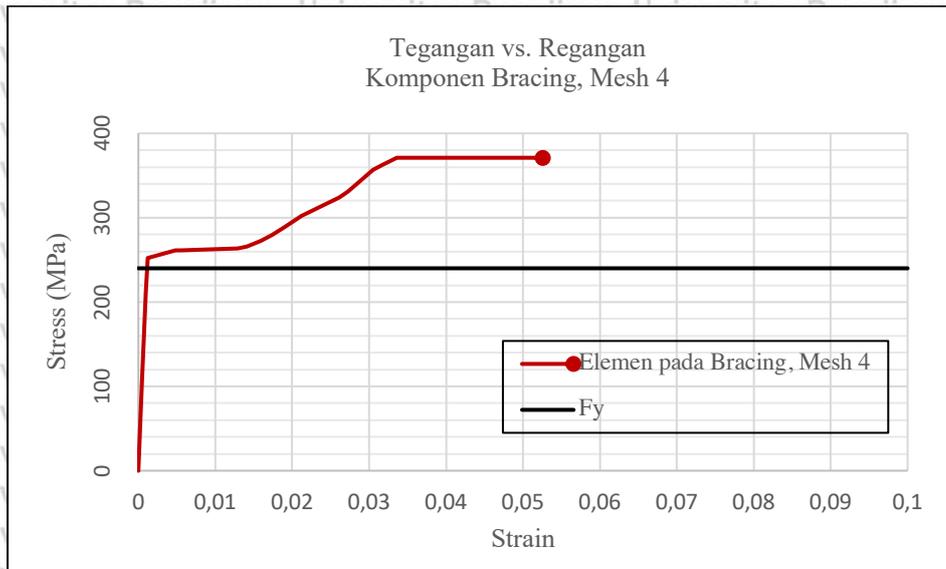
bahwa seluruh bagian dari komponen merupakan daerah kritis. Pada sisi lain, untuk komponen yang tidak mencapai tegangan runtuh seperti komponen kolom dan balok menunjukkan bahwa tidak terjadi keruntuhan meskipun terdapat beberapa daerah mengalami leleh.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa komponen balok mengalami tegangan hingga melampaui batas proporsional (f_y) sebesar 245 MPa dan regangan sebesar 0,0158 (Gambar 4.7). Sedangkan untuk komponen *bracing* mengalami leleh hingga kondisi batas (f_u), yaitu 370 MPa dan regangan sebesar 0,0525 (Gambar 4.8). Komponen *bracing* pada pemodelan portal mampu menahan tegangan hingga parameter tegangan putus material baja tanpa mengalami regangan yang besar hingga terjadi keruntuhan pada struktur.



Gambar 4.7 Grafik tegangan-regangan komponen balok pada portal dengan *bracing* konsentris

Menjadi elemen yang paling kritis, komponen *bracing* digunakan sebagai tinjauan pembandingan antar pemodelan portal untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi. Untuk struktur CBF, deformasi plastis diharapkan hanya terjadi pada komponen *bracing*. Dengan membandingkan kedua grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada masing-masing komponen, *bracing* pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris merupakan elemen yang mempengaruhi keruntuhan struktur.



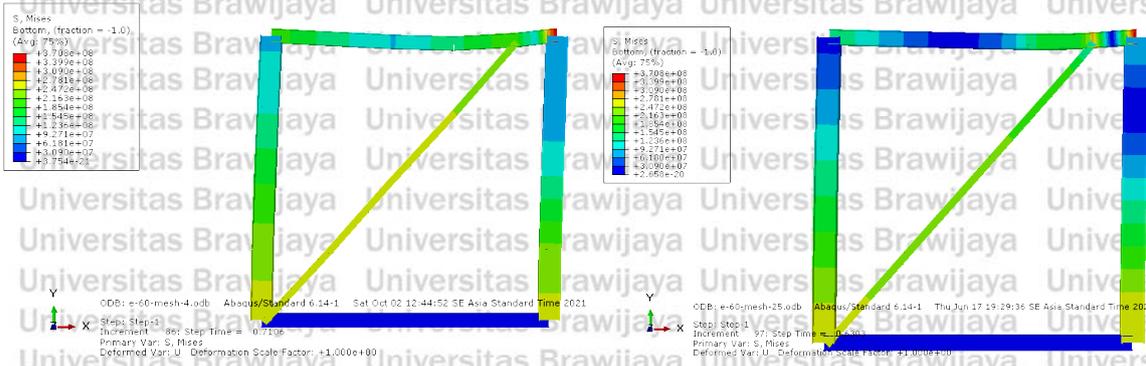
Gambar 4.8 Grafik tegangan-regangan komponen *bracing* pada portal dengan *bracing* konsentris

4.3.2 Analisis Pemodelan Portal dengan *Bracing* Eksentris 60 cm

Pada pemodelan portal dengan *bracing* eksentris, *link-beam* yang berfungsi sebagai elemen *fuse* diharapkan mengalami fase inelastik terlebih dahulu. Untuk mewakili parameter *short link*, variasi eksentrisitas sebesar 60 cm dianalisis untuk mengetahui perilaku struktur.

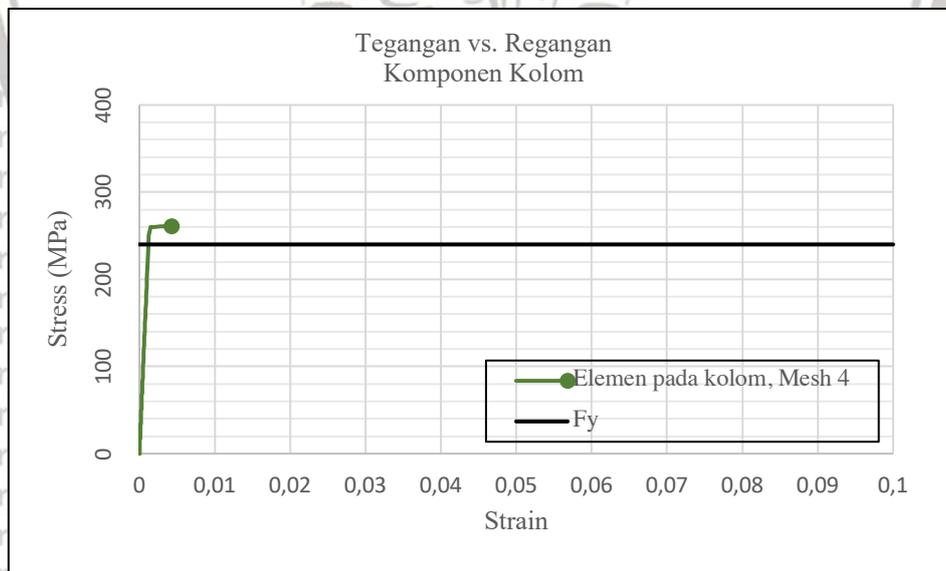
Pada analisis ini, digunakan *node* 4 dan 9 sebagai nomor elemen tinjauan untuk mengetahui tegangan-regangan yang terjadi pada elemen struktur.

Terlihat pada plot tegangan von Mises untuk pemodelan EBF dengan variasi panjang *link-beam* 60 cm (Gambar 4.9), daerah yang terlebih dahulu melampaui f_u (370 MPa) adalah komponen *link-beam* pada sisi kanan atas pemodelan portal. Selain itu, komponen *bracing* dan kolom relatif mengalami tegangan yang kecil meskipun beberapa daerah seperti pangkal kolom serta ujung *bracing* yang tersambung pada kolom telah mencapai tegangan leleh.

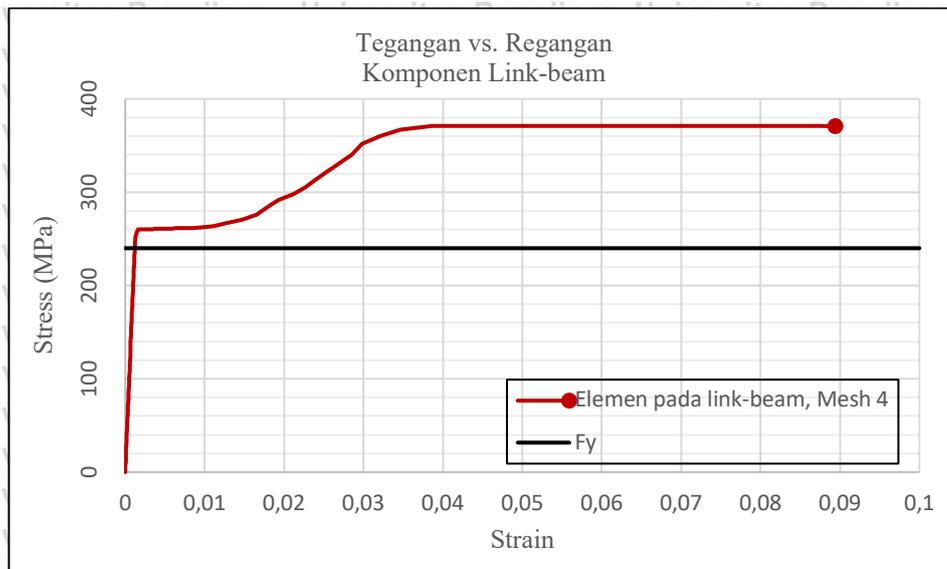


Gambar 4.9 Plot kontur tegangan von Mises pada pemodelan portal dengan bracing eksentris 60 cm; Kiri: Meshing 4, Kanan: Meshing 25

Komponen kolom dan *bracing* mengalami leleh hingga melampaui batas proporsional (f_y) dengan besaran 260 MPa. Regangan yang terjadi sebesar 0,0043 untuk komponen kolom dan 0,0096 untuk komponen *bracing* seperti yang tertera pada grafik (Gambar 4.10 dan Gambar 4.11). Apabila dibandingkan dengan pemodelan portal dengan *bracing* konsentris, *bracing* eksentris mengalami regangan yang lebih kecil. Hal ini diakibatkan oleh adanya komponen *link-beam* yang berfungsi sebagai disipasi energi hingga mengalami keruntuhan terlebih dahulu pada struktur dengan regangan sebesar 0,0894 dan tegangan hingga 370 MPa.



Gambar 4.10 Grafik tegangan-regangan komponen kolom pada portal dengan *bracing* eksentris 60 cm

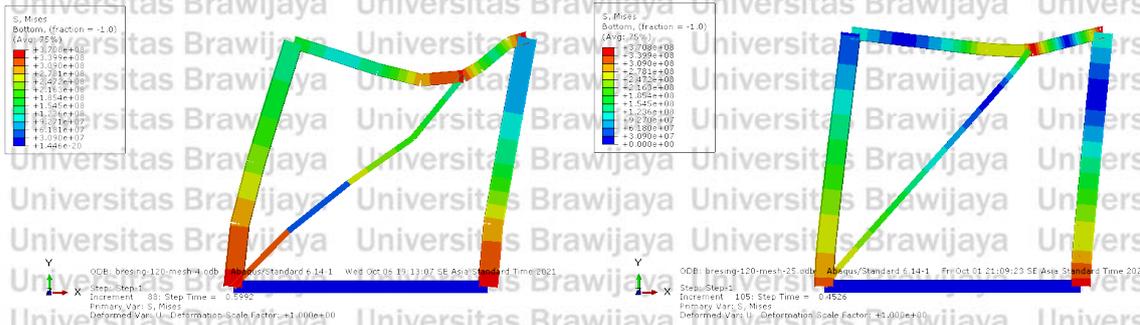


Gambar 4.11 Grafik tegangan-regangan komponen *link-beam* pada portal dengan *bracing* eksentris 60 cm

4.3.3 Analisis Pemodelan Portal dengan *Bracing* Eksentris 120 cm

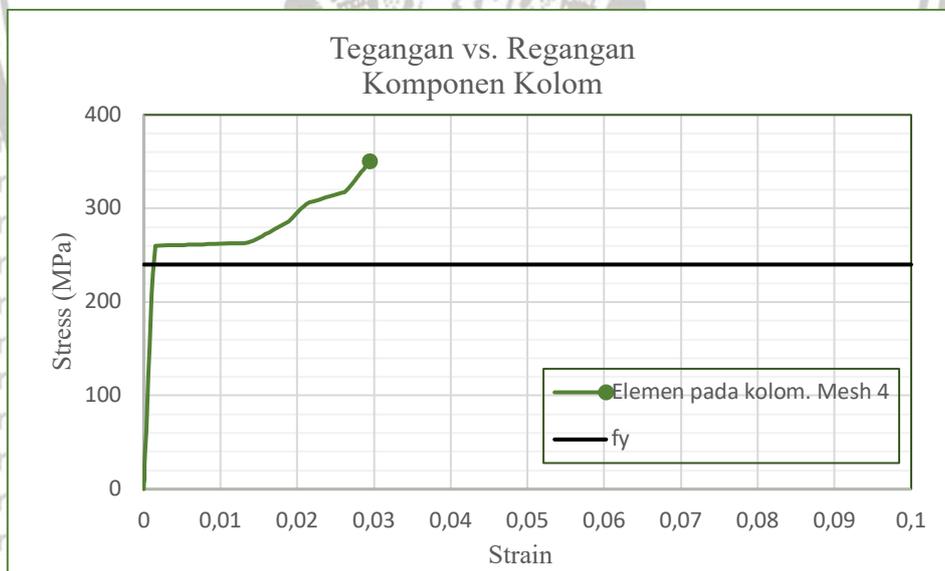
Variasi besaran eksentrisitas 120 cm pada penelitian ini digunakan untuk mewakili parameter *long link*. Plot kontur (Gambar 4.12) menunjukkan bahwa terdapat terdapat beberapa daerah kritis yang dapat mewakili perilaku keruntuhan struktur. Untuk plot kontur dengan *meshing* 4, terdapat pesebaran daerah kritis pada komponen *link-beam*, pangkal kolom dan *bracing*. Selain itu, *deformed shape* yang besar terjadi pada daerah yang menghubungkan antara komponen *link-beam* dan komponen balok. Dengan hasil besaran tegangan Mises melampaui tegangan putus, *node* 51 (elemen dari komponen *link-beam*) menjadi penentu perilaku keruntuhan struktur.

Selanjutnya apabila ditinjau dari kedua skema dan seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, pesebaran daerah kritis terjadi pada pangkal kolom kedua hasil *meshing*, hal ini dikibatkan oleh tumpuan jepit-jepit yang digunakan pada pemodelan portal yang berfungsi untuk menahan adanya rotasi yang besar pada struktur. Plot kontur dengan *meshing* 25, dengan hasil yang lebih halus, menunjukkan bahwa pesebaran daerah kritis cenderung hanya terjadi pada elemen pada *link-beam* dan elemen pada kolom (terutama bagian pangkal) dengan tegangan Mises yang sudah mencapai f_u tanpa adanya *deformed shape* yang besar pada pemodelan portal.

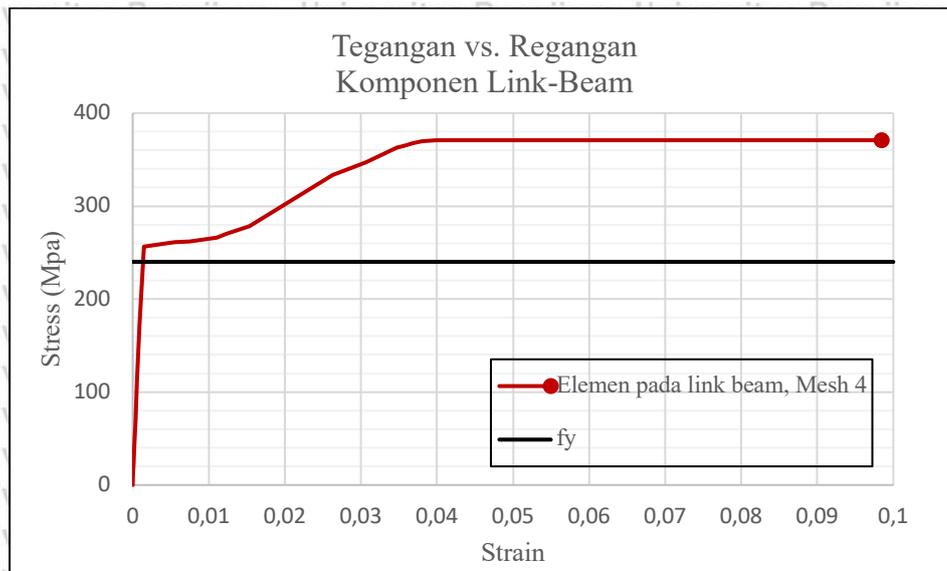


Gambar 4.12 Plot kontur tegangan von Mises pada pemodelan portal dengan *bracing* eksentris 120 cm; Kiri: *Meshing* 4, Kanan: *Meshing* 25

Seperti yang tertera pada grafik tegangan-regangan komponen kolom (Gambar 4.13), elemen pada kolom (*node* 4) telah jauh melampaui tegangan leleh hingga 350 MPa dan regangan sebesar 0,0295. Pada sisi lain, terlihat pada Gambar 4.14 untuk tegangan-regangan yang terjadi pada komponen *link-beam*, elemen mengalami keruntuhan terlebih dahulu dengan tegangan sebesar 370 MPa dan regangan sebesar 0,2745. Apabila dilihat dari plot kontur dengan *meshing* 25, terkait pesebaran daerah kritis pada komponen lain pemodelan portal, elemen pada *bracing* (*node* 21) juga telah mengalami leleh dengan tegangan sebesar 250 MPa dengan regangan sebesar 0,0293.



Gambar 4.13 Grafik tegangan-regangan komponen kolom pada portal dengan *bracing* eksentris 120 cm



Gambar 4.14 Grafik tegangan-regangan komponen *link-beam* pada portal dengan *bracing* eksentris 120 cm

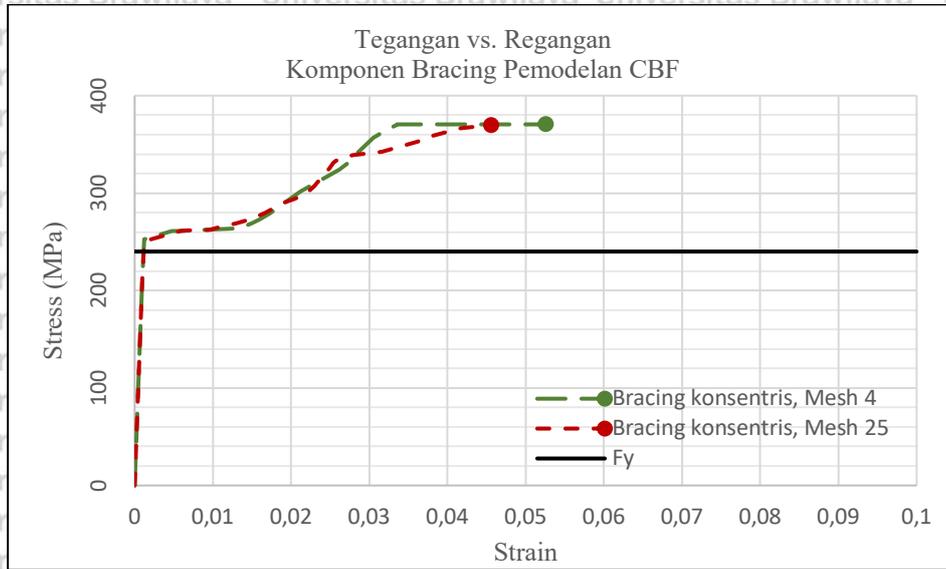
Dengan membandingkan kedua variasi panjang *link-beam*, portal dengan *bracing* eksentris yang kecil lebih dapat menahan beban yang diaplikasikan pada struktur. Hal ini dapat dilihat dari besaran tegangan-regangan serta *step time* kedua jenis pemodelan dimana pemodelan portal dengan *bracing* eksentris 60 cm dapat memberikan kapasitas tahanan yang lebih besar (Tabel 4.4).

4.4. Analisis Pengaruh *Meshing* Terhadap Hasil Pemodelan

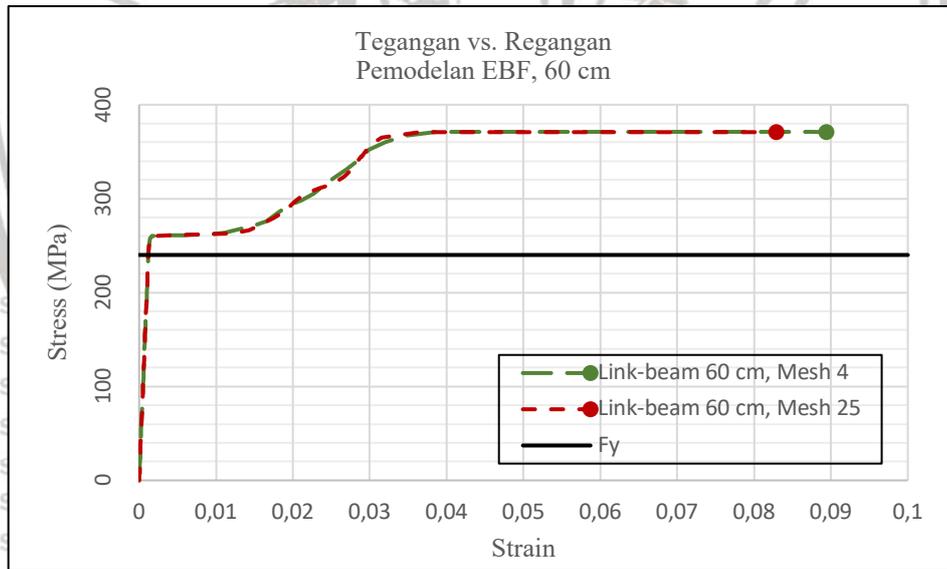
Meshing 25 dengan 125 elemen pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris dan 175 elemen pada pemodelan portal dengan *bracing* eksentris menyajikan *output* yang lebih halus pada plot kontur hingga tegangan-regangan yang terjadi pada masing-masing komponen struktur dibandingkan dengan *meshing* 4, dimana terdapat 20 elemen pada pemodelan portal dengan *bracing* konsentris dan 28 elemen pada portal dengan *bracing* eksentris.

Apabila ditinjau dari Tabel 4.4, *step time* dengan *meshing* 25 untuk semua pemodelan cenderung memiliki *output* yang lebih kecil, yang berarti struktur dapat menahan beban yang lebih kecil. Grafik tegangan-regangan elemen kritis pada komponen *bracing* untuk pemodelan CBF (Gambar 4.15) menunjukkan bahwa tegangan dan regangan dari komponen hasil kedua *meshing* tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Begitu juga dengan

membandingkan kedua hasil *meshing* untuk elemen pada *link-beam*, hasil kedua *meshing* juga tidak memberikan perbedaan yang signifikan.



Gambar 4.15 Grafik tegangan-regangan elemen pada bracing pada pemodelan CBF

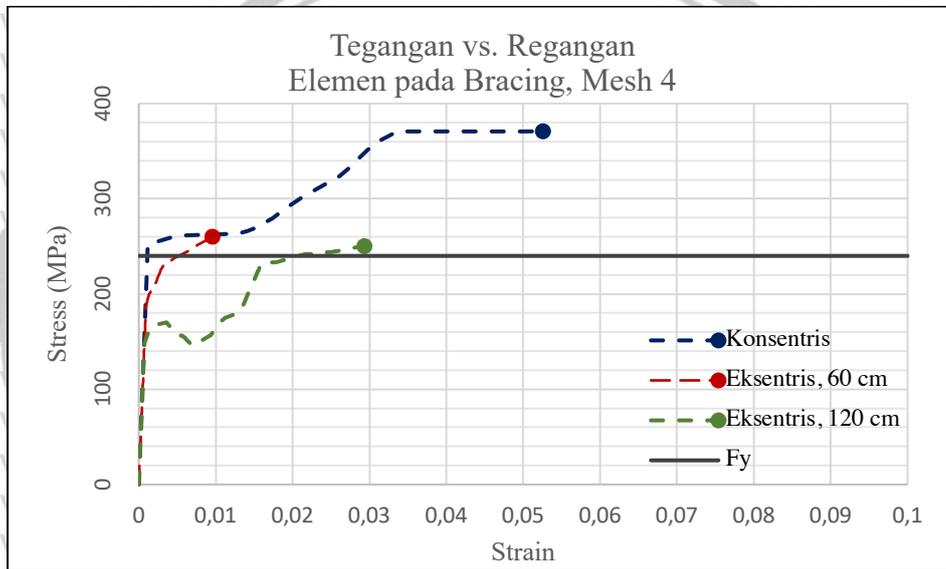


Gambar 4.16 Grafik tegangan-regangan elemen pada *link-beam* pemodelan portal EBF

Berdasarkan yang sudah dijelaskan sebelumnya, atas dasar optimalisasi dan efisiensi, *meshing* 4 dirasa sudah cukup untuk digunakan dalam pemodelan. Untuk selanjutnya, akan ditampilkan hasil dari *meshing* 4 untuk mengetahui analisis perilaku struktur.

4.5. Analisis Pengaruh Eksentrisitas Terhadap Perilaku Struktur

Berdasarkan hasil analisis kedua jenis pemodelan portal (CBF dan EBF) terdapat perbedaan mekanisme serta komponen yang menentukan keruntuhan struktur. Untuk pemodelan portal dengan *bracing* konsentris, komponen *bracing* menjadi komponen pertama yang mengalami keruntuhan setelah mengalami tegangan Mises hingga f_u (Gambar 4.17). Pada sisi lain, untuk pemodelan portal dengan *bracing* eksentris, komponen *link-beam* menjadi komponen pertama yang mengalami keruntuhan. Apabila ditinjau dari pemodelan EBF dengan *short link*, tegangan yang dicapai oleh komponen *bracing* hanya sedikit melampaui tegangan proporsional dengan besaran 260 MPa dan 250 MPa untuk *bracing* pada pemodelan EBF dengan *long link*.

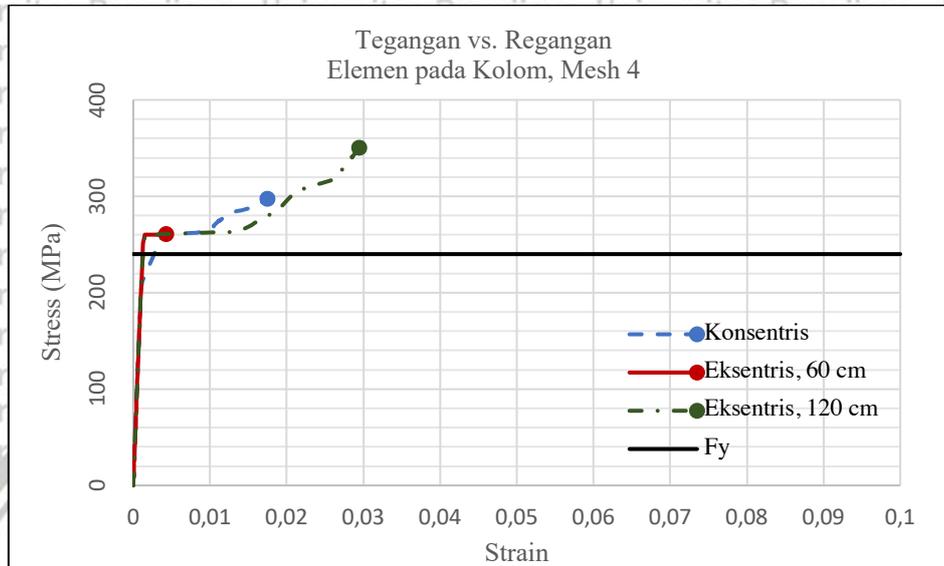


Gambar 4.17 Grafik perbandingan tegangan-regangan elemen pada *bracing* pemodelan portal

Komponen *bracing* pada pemodelan CBF digunakan demi menambah kekakuan dan kekuatan struktur terutama dalam menahan deformasi saat diberikan beban. Apabila ditinjau dari Gambar 4.17, elemen pada *bracing* untuk pemodelan CBF mencapai kekuatan yang lebih tinggi, hal ini dapat dilihat dari grafik bahwa tegangan yang dapat dicapai dari pemodelan CBF lebih tinggi dari pemodelan EBF. Selain itu, elemen pada *bracing* CBF memiliki daktilitas yang lebih tinggi karena mampu melalui regangan plastis dalam jumlah besar sebelum mengalami keruntuhan. Selanjutnya, *bracing* pada pemodelan EBF dengan *long link* mampu mencapai regangan plastis yang lebih besar setelah mengalami leleh

dibandingkan dengan bracing pada pemodelan EBF dengan *short link* meskipun tegangan plastis pada *long-link* sempat mengalami penurunan.

Meninjau dari komponen lain, komponen kolom pada pemodelan EBF dengan *long link* memiliki daktilitas yang paling tinggi dibandingkan kedua pemodelan lainnya, namun elemen pada kolom dari ketiga pemodelan portal sudah mengalami leleh (Gambar 4.18).

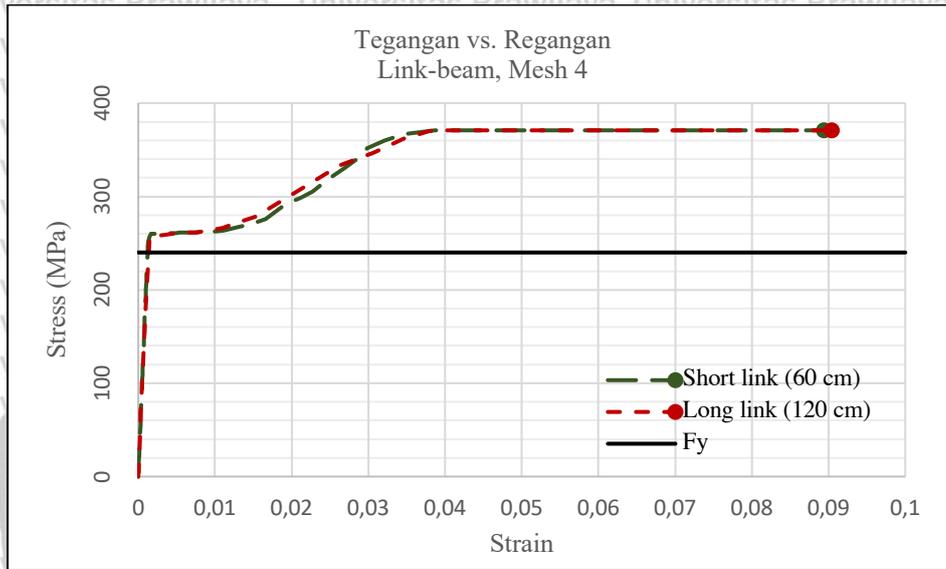


Gambar 4.18 Grafik perbandingan tegangan-regangan elemen pada kolom pemodelan portal

Jika membandingkan ketiga pemodelan portal, serta meninjau hasil *step time* (Tabel 4.4), pemodelan EBF dengan variasi *short link* mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan pemodelan EBF dengan variasi *long link*. Meskipun begitu, dengan tegangan proporsional yang sama, *long link* memiliki daktilitas yang lebih tinggi. Regangan plastis yang dicapai oleh komponen *long link* jauh lebih besar dibandingkan dengan *short link*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, komponen *link-beam* pada struktur berfungsi untuk disipasi energi secara stabil sehingga keruntuhan pertama diharapkan terjadi pada komponen *link-beam*. Dengan membandingkan kedua variasi panjang, grafik menunjukkan bahwa pemodelan EBF dengan *long link* mampu melalui regangan yang lebih besar sebelum akhirnya terjadi keruntuhan pada struktur dibandingkan dengan pemodelan EBF dengan *short link*.

Perbedaan antara CBF dan EBF adalah letak sendi plastis atau elemen *fuse* dimana komponen *bracing* merupakan elemen *fuse* pada pemodelan CBF dan *link-beam* untuk pemodelan EBF. Berdasarkan hasil analisis, komponen *bracing* pada pemodelan CBF dapat

menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan pemodelan EBF serta menjadi penentu perilaku keruntuhan struktur. Sementara itu, komponen *link-beam* pada pemodelan EBF menunjukkan bahwa komponen mengalami keruntuhan terlebih dahulu dibandingkan dengan komponen lainnya. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa komponen *link-beam* telah mendisipasi energi dalam proporsi yang paling besar dibandingkan dengan komponen lain pada struktur, yang menandakan bahwa *link-beam* sudah bekerja sesuai dengan fungsinya.



Gambar 4.19 Grafik perbandingan tegangan-regangan elemen pada *link-beam* pemodelan portal EBF

4.6. Rekapitulasi Elemen Kritis Dalam Analisis Pemodelan Portal

Berdasarkan penjelasan yang telah dijabarkan sebelumnya mengenai hasil analisis pemodelan portal baik CBF dan EBF, berikut hasil yang dihasilkan oleh tiap-tiap elemen tinjauan pada penelitian ini:

Tabel 4.5 Rekapitulasi Tegangan-Regangan pada Seluruh Elemen Tinjauan Berdasarkan Meshing

Model	Meshing	No. Elemen	Elemen Tinjauan	Tegangan (MPa)	Regangan	
Portal dengan bracing konsentris	4	8	Balok	245	0,01589	
		9	Kolom	297	0,01749	
		20	Bracing	371	0,05257	
		25	50	Balok	159	0,01003
		51	Kolom	288	0,01625	
		125	Bracing	370	0,04559	
Portal dengan bracing eksentris 60 cm	4	4	Kolom	261	0,00428	
		9	Link-beam	370	0,0894	
		20	Bracing	260	0,00958	
		25	25	Kolom	261	0,00396
		51	Link-beam	370	0,26071	
		126	Bracing	215	0,01154	
Portal dengan bracing eksentris 120 cm	4	4	Kolom	350	0,02946	
		9	Link-beam	371	0,27444	
		21	Bracing	250	0,02934	
		25	25	Kolom	315	0,02533
		51	Link-beam	371	0,85926	
		126	Bracing	293	0,0176	

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang didapat yaitu sebagai berikut:

1. Atas dasar optimalisasi dan efisiensi, *meshing* 4 dirasa sudah dapat memberikan hasil yang cukup untuk digunakan dalam pemodelan.
2. Komponen *bracing* pada pemodelan CBF yang berfungsi sebagai elemen *fuse* dapat mendisipasi sebagian besar energi yang diterima oleh struktur dengan baik dan menjadi penentu perilaku keruntuhan dari pemodelan portal.
3. Komponen *link-beam* pada pemodelan EBF menunjukkan bahwa komponen mengalami kelelahan terlebih dahulu dibandingkan dengan komponen lainnya. Hal ini menandakan bahwa *link-beam* telah bekerja sebagai elemen *fuse* dengan semestinya.
4. Pemodelan EBF dengan *short link* mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan *long link*, namun komponen *short link* cenderung memiliki sifat yang lebih getas.
5. Hasil analisis pemodelan CBF memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dalam menahan beban dibandingkan dengan pemodelan EBF, namun pemodelan EBF memiliki daktilitas yang lebih besar.

Dari beberapa point yang telah disebutkan diatas, semakin panjang eksentrisitas *link-beam* dapat memberikan daktilitas yang lebih tinggi namun beban lateral *ultimate* yang dapat diterima oleh struktur semakin kecil. Sehingga untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam pengaplikasian pada bangunan sederhana, sebaiknya digunakan *intermediate link*.

5.2. Saran

1. Data *input* tegangan-regangan material baja sebaiknya diambil dari pengujian aktual untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat.
2. Dibutuhkan pendalaman pemahaman terkait *software Abaqus* sebelum digunakan untuk penelitian.

3. Penggunaan elemen *truss* pada komponen *bracing* memungkinkan hasil analisis yang lebih akurat terhadap perilaku struktur.



DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction (AISC). 2010. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois.
- American Institute of Steel Construction (AISC). 2016. *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: BSN.
- Bruneau, Michael., Uang, Chia-Ming., dan Sabelli, Rafael. 1998. *Ductile Design of Steel Structures, Second Edition*. New York: McGraw Hill.
- Dewobroto, Wiryanto. 2016. *Struktur Baja, Perilaku Analisis & Desain – AISC 2010, Edisi ke-2*. Jakarta: Universitas Pelita Harapan.
- Faridmehr, et al. 2014. *Correlation between Engineering Stress-Strain and True Stress-Strain*. American Journal of Civil Engineering and Architecture.
- Dr. Mayank Desai dan Jasani, Darshit. 2015. *Application of Nonlinear Static Pushover to the Displacement Based Approach of Seismic Analysis of G+10 Storey Building Structure for Indian Terrain*. Volume II, Issue VIII, August 2015.
- Duggal, Shashikant K. 2013. *Earthquake-Resistant Design of Structures, Second Edition*. Oxford: Oxford University Press.
- Gioncu, Victor dan Mazzolani, Federico M. 2011. *Earthquake Engineering for Structural Design*. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group.
- Gere, James M. dan Timoshenko, Stephen P. 2000. *Mekanika Bahan*, Jilid 1, Edisi IV. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Jakarta: Erlangga.
- Hamburger, Ronald O. & Malley, James O. 2016. *Seismic Design of Steel Special Moment Frames, Second Edition*. National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Khennane, Amar. 2013. *Introduction to Finite Element Analysis Using MATLAB and Abaqus*. Taylor and Francis Group.

Merczzel, Daniel B., Somja, Hugues., Aribert, Jean-Marie., Lógó, János. 2013. *On the Behaviour of Concentrically Braced Frames Subjected to Seismic Loading*.

Okazaki, Taichiro. 2004. *Seismic Performance of Link-to-Column Connections in Steel Eccentrically Braced Frames*. The University of Texas, Austin.

Setiawan, Agus. 2013. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

Themelis, Spyridon. 2008. *Pushover Analysis for Seismic Assesment and Design of Structures*. Heriot-Watt University.

UNISDR, CRED. 2015. *The Human Cost of Natural Disasters*. Centre for Reasearch on the Epidemiology of Disasters (CRED).

