

**ANALISIS PEMODELAN PERILAKU TEGANGAN DAN
REGANGAN PADA PORTAL 2 LANTAI DENGAN BRACING TIPE
DIAGONAL EKSENTRIS DUA ARAH**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



DICKY HAMDANI FEBRIAN

NIM. 175060100111046

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021





LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PEMODELAN PERILAKU TEGANGAN DAN REGANGAN PADA PORTAL 2 LANTAI DENGAN *BRACING* TIPE DIAGONAL EKSENTRIS DUA ARAH

SKRIPSI TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DICKY HAMDANI FEBRIAN

NIM. 175060100111046

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 18 Juni 2021

Dosen Pembimbing 1



Dr. Eng. Lilva Susanti, ST., MT.
NIP. 19850221 201903 2 003

Dosen Pembimbing 2



Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.
NIP. 2016 870303 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



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

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal 2 Lantai dengan Bracing

Tipe Diagonal Eksentris Dua Arah

Nama Mahasiswa : Dicky Hamdani Febrian

NIM : 175060100111046

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.

Tanggal Ujian : 7 Juni 2021

SK Penguji : 853/UN10.F07/KP/2021



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi 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 dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

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

Malang, 17 Juni 2021



Dicky Hamdani F

NIM. 175060100111046





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

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

Sertifikat ini diberikan kepada :

DICKY HAMDANI FEBRIAN

Dengan Judul Skripsi :

**ANALISIS PEMODELAN PERILAKU TEGANGAN DAN REGANGAN
PADA PORTAL 2 LANTAI DENGAN BRACING TIPE DIAGONAL EKSENTRIS DUA ARAH**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 01 Juli 2021

Jurusan Teknik Sipil



Alwafi Puji Rahario, ST, MT

NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M. Eng (Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002





**“When you want something, all the universe
conspires in helping you to achieve it”**



Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah penulis panjatkan puji serta syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal**

2 Lantai dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Dua Arah”. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko., ST., M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi SI Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Ibu **Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT.** selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak **Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.** selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak **Dr. Ir. Harimurti, MT** selaku Dosen Penasihat Akademik.
6. Bapak **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.**, selaku KKJF Struktur.
7. Bapak **Zulfiadi** dan Ibu **Aty Nurhayati** selaku orang tua yang membimbing penulis dari awal menempuh pendidikan hingga sampai saat ini.
8. Tim skripsi Portal Bracing yang terdiri dari **Nabila, Qisthi, dan Armand** yang telah menjadi teman seperjuangan dalam menempuh skripsi.
9. Kepada seluruh **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil** terutama **Teknik Sipil Angkatan 2017** atas segala support dan kenyamanan yang diberikan.
10. Terakhir, kepada saudari **Afina Nabila** yang selama ini ada di samping penulis dan selalu memberikan semangat sehingga penulis dapat berkembang dan mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Sehingga segala saran dan masukan akan sangat bermanfaat bagi penulis maupun bagi penelitian lanjutan dari hasil skripsi penulis kedepannya. Akhir kata, penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan semoga ilmu yang diberikan berguna dimasa depan.

Malang, 24 Februari 2021

Penulis,
Dicky Hamdani Febrian



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material Baja	5
2.1.1 Umum	5
2.1.2 Keunggulan Material Baja	5
2.1.3 Daktilitas	6
2.2 Struktur Baja Tahan Gempa	6
2.2.1 Eccentrically Braced Frame	7
2.2.2 Link Beam	7
2.3 Tegangan – Regangan	9
2.3.1 Tegangan Normal	9
2.3.2 Tegangan Geser	9
2.3.3 Regangan Normal	10
2.3.4 Regangan Geser	10
2.3.5 Engineering Stress-Strain	11
2.3.6 True Stress-Strain	12
2.3.7 Kriteria Keluluhan Von Mises	13
2.4 Analisis Struktur dan Pembebanan	14
2.4.1 Beban Statis	14
2.4.2 Pushover Analysis	14

2.4.3	Load Control	15
2.4.4	Displacement Control	16
2.5	Software ABAQUS	16
2.6	Penelitian Terdahulu	16
2.7	Hipotesis Penelitian	17
BAB III METODE PENELITIAN		19
3.1	Rancangan Penelitian	19
3.1.1	Variabel Penelitian	19
3.1.2	Rancangan Portal	19
3.1.3	Material Portal	20
3.1.4	Eksentrisitas	20
3.1.5	Pemodelan pada Software Abaqus	21
3.2	Metode Penelitian	21
3.3	Analisis struktur dengan Abaqus	23
3.4	Analisis Hasil Penelitian	29
BAB IV PEMBAHASAN		31
4.1	Pemodelan Struktur Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris Dua Arah	31
4.1.1	Model dan Material	31
4.1.2	Profil Baja	33
4.2	Simulasi Numerik Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris Dua Arah	34
4.3	Respon Struktur Akibat Beban Statis	35
4.4	Hasil Analisis pada Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris Dua Arah	36
4.4.1	Portal Eksentrisitas 0 cm	36
4.4.2	Portal Eksentrisitas 60 cm	42
4.4.3	Portal Eksentrisitas 120 cm	49
4.5	Analisis Pengaruh Eksentrisitas terhadap Tegangan dan Regangan	56
4.6	Perbandingan Respon Struktural Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris 2 Arah Meshing Besar dan Kecil	61
BAB V PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengelompokan material berdasar perilaku mekanik..... 5

Tabel 2.2 Beban Mati..... 14

Tabel 2.3 Beban Hidup..... 14

Tabel 2.4 Daftar Penelitian..... 16

Tabel 3.1 Penggunaan profil..... 20

Tabel 4.1 Spesifikasi material..... 31

Tabel 4.2 *True Stress-True Strain*..... 32

Tabel 4.3 Penggunaan profil..... 33

Tabel 4.4 Hasil nilai beban..... 36

Tabel 4.5 Nilai Tegangan-Regangan portal konsentris *meshing* 4..... 36

Tabel 4.6 Nilai Tegangan-Regangan portal konsentris *meshing* 25..... 40

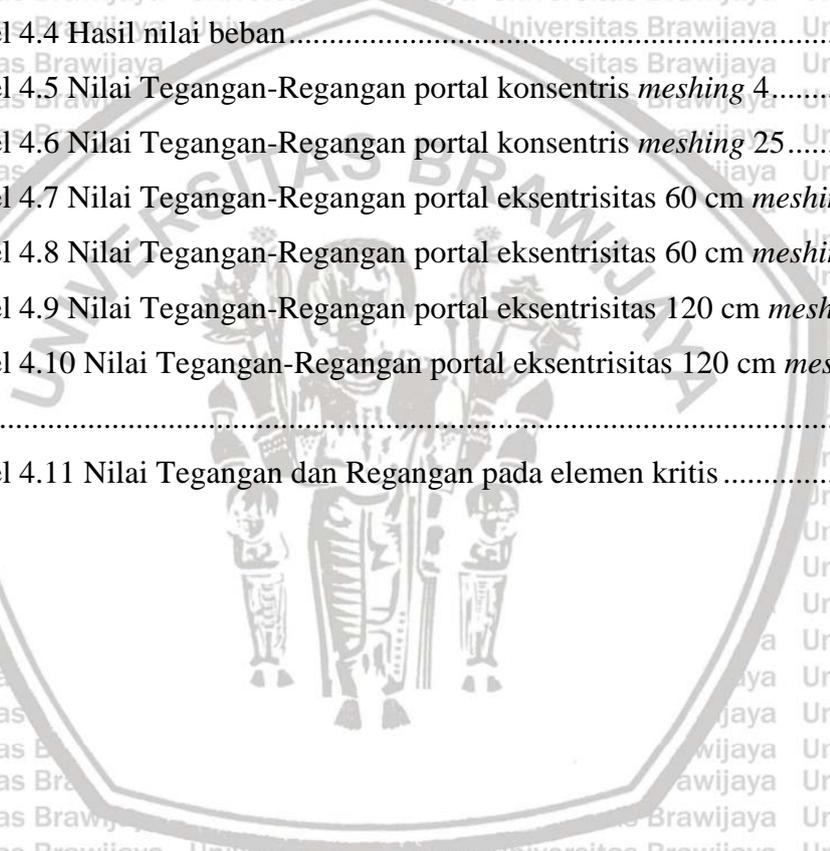
Tabel 4.7 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 60 cm *meshing* 4..... 43

Tabel 4.8 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 60 cm *meshing* 25..... 47

Tabel 4.9 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 120 cm *meshing* 4..... 50

Tabel 4.10 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 120 cm *meshing* 25..... 54

Tabel 4.11 Nilai Tegangan dan Regangan pada elemen kritis..... 61





Halaman ini sengaja dikosongkan

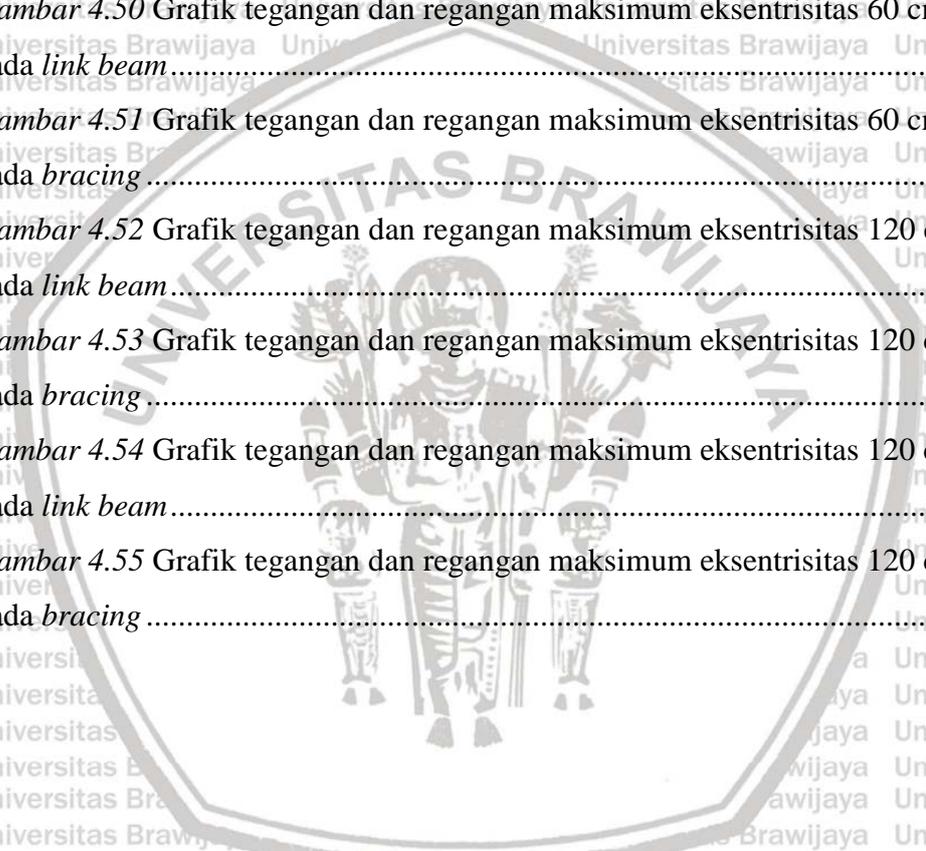
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Daktililitas material	6
Gambar 2.2 EBF dan CBF	7
Gambar 2.3 Variasi Bracing sistem EBF	8
Gambar 2.4 Tegangan Normal Pada Batang	9
Gambar 2.5 Rumus Tegangan	9
Gambar 2.6 Rumus Regangan Normal	10
Gambar 2.7 Penggambaran tegangan geser dan regangan geser pada kubus	11
Gambar 2.8 Kurva <i>engineering stress</i> dan <i>true stress</i>	13
Gambar 2.9 Grafik analisa <i>pushover</i>	15
Gambar 2.10 Beban lateral statis	15
Gambar 3.1 (a) Portal kosentris, (b) Portal <i>short-link</i> , (c) Portal <i>long-link</i>	20
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian	22
Gambar 3.3 Langkah awal untuk menyusun titik-titik koordinat	23
Gambar 3.4 Hasil input titik-titik koordinat	23
Gambar 3.5 Penggabungan koordinat dengan garis	24
Gambar 3.6 <i>Input data teknis baja</i>	24
Gambar 3.7 <i>Input data teknis portal</i>	25
Gambar 3.8 Langkah <i>assembly</i>	25
Gambar 3.9 <i>Input tumpuan jepit</i>	26
Gambar 3.10 Pemilihan titik tumpuan	26
Gambar 3.11 Tumpuan jepit dinamakan <i>encastre</i>	27
Gambar 3.12 Tampak akhir struktur setelah diberi tumpuan	27
Gambar 3.13 Penomoran node dan elemen struktur	28
Gambar 3.14 Langkah <i>mesh</i>	29
Gambar 4.1 (a) Portal konsentris, (b) Portal <i>short-link</i> , (c) Portal <i>long-link</i>	31
Gambar 4.2 Diagram Tegangan dan Regangan	32
Gambar 4.3 (a) Profil <i>bracing</i> , (b) Profil balok, (c) Profil kolom	33
Gambar 4.4 Portal Eksentris 0 cm setelah di analisis	34
Gambar 4.5 Portal Eksentris 60 cm setelah di analisis	35
Gambar 4.6 Portal Eksentris 120 cm setelah di analisis	35
Gambar 4.7 Elemen kritis portal eksentris 0 cm (<i>meshing</i> 4)	36
Gambar 4.8 Grafik tegangan dan regangan elemen 8	37

Gambar 4.9 Grafik tegangan dan regangan elemen 32.....	37
Gambar 4.10 Grafik tegangan dan regangan elemen 16.....	38
Gambar 4.11 Grafik tegangan dan regangan elemen 36.....	38
Gambar 4.12 Elemen kritis eksentrisitas 0 cm <i>meshing</i> 25.....	39
Gambar 4.13 Elemen kritis 50 dan 100.....	39
Gambar 4.14 Elemen kritis 200.....	40
Gambar 4.15 Elemen kritis 225.....	40
Gambar 4.16 Grafik tegangan dan regangan elemen 50.....	41
Gambar 4.17 Grafik tegangan dan regangan elemen 100.....	41
Gambar 4.18 Grafik tegangan dan regangan elemen 200.....	42
Gambar 4.19 Grafik tegangan dan regangan elemen 225.....	42
Gambar 4.20 Elemen kritis portal eksentris 60 cm (<i>meshing</i> 4).....	43
Gambar 4.21 Grafik tegangan dan regangan elemen 4.....	44
Gambar 4.22 Grafik tegangan dan regangan elemen 20.....	44
Gambar 4.23 Grafik tegangan dan regangan elemen 24.....	45
Gambar 4.24 Grafik tegangan dan regangan elemen 30.....	45
Gambar 4.25 Elemen kritis eksentrisitas 0 cm <i>meshing</i> 25.....	46
Gambar 4.26 Elemen kritis 25.....	46
Gambar 4.27 Elemen kritis 150.....	46
Gambar 4.28 Elemen kritis 125 dan 276.....	47
Gambar 4.29 Grafik tegangan dan regangan elemen 25.....	47
Gambar 4.30 Grafik tegangan dan regangan elemen 125.....	48
Gambar 4.31 Grafik tegangan dan regangan elemen 150.....	48
Gambar 4.32 Grafik tegangan dan regangan elemen 276.....	49
Gambar 4.33 Elemen kritis portal eksentris 120 cm (<i>meshing</i> 4).....	49
Gambar 4.34 Grafik tegangan dan regangan elemen 4.....	50
Gambar 4.35 Grafik tegangan dan regangan elemen 20.....	51
Gambar 4.36 Grafik tegangan dan regangan elemen 24.....	51
Gambar 4.37 Grafik tegangan dan regangan elemen 32.....	52
Gambar 4.38 Elemen kritis eksentrisitas 120 cm <i>meshing</i> 25.....	52
Gambar 4.39 Elemen kritis 25.....	53
Gambar 4.40 Elemen kritis 125.....	53
Gambar 4.41 Elemen kritis 150.....	53
Gambar 4.42 Elemen kritis 200.....	54



Gambar 4.43 Grafik tegangan dan regangan elemen 25	54
Gambar 4.44 Grafik tegangan dan regangan elemen 150	55
Gambar 4.45 Grafik tegangan dan regangan elemen 125	55
Gambar 4.46 Grafik tegangan dan regangan elemen 200	56
Gambar 4.47 Grafik tegangan dan regangan maksimum	57
Gambar 4.48 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm <i>meshing</i> 4 pada <i>link beam</i>	57
Gambar 4.49 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm <i>meshing</i> 4 pada <i>bracing</i>	58
Gambar 4.50 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm <i>meshing</i> 25 pada <i>link beam</i>	58
Gambar 4.51 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm <i>meshing</i> 25 pada <i>bracing</i>	59
Gambar 4.52 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm <i>meshing</i> 4 pada <i>link beam</i>	59
Gambar 4.53 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm <i>meshing</i> 4 pada <i>bracing</i>	60
Gambar 4.54 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm <i>meshing</i> 25 pada <i>link beam</i>	60
Gambar 4.55 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm <i>meshing</i> 25 pada <i>bracing</i>	61





Halaman ini sengaja dikosongkan

Ringkasan

Dicky Hamdani Febrian, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2021, *Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal 2 Lantai dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Dua Arah*, Dosen pembimbing: Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT. dan Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.

Di Indonesia, gempa bumi bukanlah hal yang asing mengingat *track record* terjadinya gempa di Indonesia. Salah satu gempa yang ada di Indonesia yaitu gempa Aceh dan Sumatera Utara. Kejadian yang terjadi 2004 ini bisa dibilang gempa terparah yang terjadi di Indonesia dan termasuk di dunia. Salah satu hal penting dalam menangani gempa yang ada terletak pada pemilihan material suatu struktur bangunan, salah satu material yang digunakan sebagai bahan konstruksi adalah material baja karena memiliki berbagai keunggulan seperti memiliki daktilitas yang tinggi. Pada penelitian ini, penulis melakukan riset lanjutan yang berfokus pada pengembangan struktur baja pada gedung sederhana 2 lantai dengan menggunakan *bracing* tipe diagonal eksentris 2 arah dan analisis ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perilaku tegangan dan regangan dari struktur tersebut.

Penelitian menggunakan *software* ABAQUS versi 6.14-1 dengan menganalisis portal baja 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal eksentris 2 arah berdimensi 4 x 4 m, pengujian menggunakan beban lateral statis dengan variasi *link* pada portal, menggunakan *link* pendek (60 cm), *link* panjang (120 cm), dan kosentris (0 cm). Terdapat 3 penggunaan tipe profil yang penentuannya sejalan dengan konsep *strong column weak beam*. Profil kolom digunakan WF 300.200.8.12 sedangkan profil balok digunakan WF 200.150.6.9. Dalam menganalisis digunakan 2 jenis *meshing* yaitu *meshing* renggang (4 per elemen) dan *meshing* renggang (25 per elemen) untuk setiap eksentrisitas, hasil analisis berupa grafik tegangan-regangan pada elemen kritis tiap model portal.

Berdasarkan hasil analisis nilai tegangan yang terjadi maka dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan untuk setiap *meshing* nilainya akan lebih tinggi atau sama seiring dengan besarnya nilai eksentrisitas dan nilai tegangan dari *link beam* pada portal dengan eksentrisitas akan selalu lebih besar dibanding elemen lainnya pada portal yang menunjukkan *link beam* sudah bekerja sebagaimana mestinya untuk berperilaku inelastis. Sedangkan untuk nilai regangan yang terjadi dapat disimpulkan bahwa nilai regangan untuk *meshing* rapat nilainya akan lebih tinggi dan untuk *meshing* renggang nilainya akan terjadi penurunan seiring dengan besarnya nilai eksentrisitas, nilai regangan dari *link beam* pada portal dengan eksentrisitas selalu lebih besar dibanding elemen lainnya pada portal yang menunjukkan *link beam* sudah bekerja sebagaimana mestinya untuk mampu lebih berdeformasi.

Kata Kunci: Portal Eksentris, *bracing* tipe diagonal eksentris 2 arah, tegangan dan regangan, beban lateral statis, ABAQUS *Student Edition*.



SUMMARY

Dicky Hamdani Febrian, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknk Universitas Brawijaya, Mei 2021, *Modelling Analysis of Stress- Strain Behavior on Two-Way Diagonal Type of Two Storey Eccentric Braced Frame*, Dosen pembimbing: Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT. dan Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.

In Indonesia, an earthquake is not a strange incident after all the track record of an earthquake in Indonesia. One of the worst earthquake that happen in Indonesia was Aceh and North Sumatra earthquake that happen in 2004 and it is one the worst earthquake ever happen in Indonesia and even in the world. The important thing in handling the earthquake lies on building structure material, steel material is common in use for construction material because its excellence in various behavior such as its high ductility. This study aims as an advanced research in development of simple 2 storey steel structure with two-way diagonal type of bracing by observing the stress-strain behavior which happen as a result from lateral static load to simplify earthquake load that work on the structure.

This study uses ABAQUS software by analyzing with 4x4 dimension steel portal structure, the test using lateral static load with different type of link beam using short link (60 cm eccentricity), long link (120 cm eccentricity), and concentric link beam (0 cm eccentricity). This analysis uses 3 type of profil section that fulfilled strong column weak beam concept. It uses 2 type of meshing with 4 and 25 part for each member of the frame to every eccentricity, result of the analysis are the stress and strain chart which happen in critical element for each portal models.

Based on analysis result it can be concluded that stress value for every mesh type will have a higher or equal value along with rise of the eccentricity and stress value from link beam section on eccentric portal will have the greater value than any other element of the portal that means the link beam is already working as it should be with inelastic behavior. While for strain value it can be concluded that strain value with meshing 4 will have greater value and for meshing 25 will have lower value along with rise of the eccentricity, strain value for link beam section on eccentric portal will always have greater value than any other element of the portal that showed the link beam is already working as it should be to be deformable part.

Keywords: *Eccentric Portal, two-way diagonal braced frame, stress and strain, lateral*

static load, ABAQUS Student Edition..



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada perencanaan sebuah struktur harus memenuhi syarat tertentu seperti syarat kekuatan, kekakuan dan daktilitas. Kekuatan terkait besarnya tegangan yang mampu dipikul tanpa rusak, baik berupa deformasi besar (*yielding*) atau *fracture* (terpisah). Parameter yang digunakan berupa tegangan leleh dan *ultimate*. Kekakuan meliputi besarnya gaya untuk tiap satu unit deformasi, parameternya berupa modulus elastisitas. Sedangkan daktilitas meliputi besarnya deformasi sebelum keruntuhan (*failure*), faktor penting perencanaan struktur untuk beban tak terduga dapat berupa beban gempa maupun angin. (Wiryanto, 2018)

Di Indonesia, gempa bumi bukanlah hal yang asing mengingat *track record* terjadinya gempa di Indonesia, gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat diprediksi dan terjadi karena pelepasan energi dari kerak bumi secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik, hal ini terjadi karena adanya pergerakan kerak bumi.

Benturan tersebut menjalar di permukaan bumi dalam bentuk gelombang sehingga menyebabkan bangunan-bangunan di atasnya bergetar. Ketika bergetar maka timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan bangunan untuk tetap mempertahankan massa bangunan dari gerakan sehingga gempa cenderung menimbulkan gaya-gaya lateral pada struktur.

Salah satu gempa yang ada di Indonesia yaitu gempa Aceh dan Sumatera Utara, kejadian yang terjadi 2004 ini bisa dibilang gempa terparah yang terjadi di Indonesia dan termasuk di dunia. Episentrumnya terletak di lepas pantai barat Sumatera. Guncangan gempa tersebut 9,1–9,3 SR. Menurut U.S. Geological Survey, sebanyak 227.898 orang meninggal dunia akibat bencana ini. Kemudian Pemerintah memperkirakan total kerusakan dan kerugian akibat bencana tsunami di Aceh dan Sumatera Utara mencapai Rp42,7 triliun.

Salah satu hal penting dalam menangani gempa yang ada terletak pada pemilihan material suatu struktur bangunan, belakangan korban yang ada akibat gempa diakibatkan bukan dari besarnya gempa melainkan dari kondisi bangunan sekitar yang tidak mampu menahan gaya gempa. Salah satu material yang sudah terbukti dan sudah lama digunakan sebagai bahan konstruksi adalah material baja karena memiliki berbagai keunggulan dibanding material lainnya seperti memiliki daktilitas yang tinggi karena batang baja yang

menerima tegangan tarik yang tinggi akan mengalami regangan tarik cukup besar sebelum keruntuhan. Material baja memiliki keunggulan dibanding beton atau kayu karena biasanya dibuat di pabrik yang memiliki kontrol mutu yang baik. Kualitas material baja yang diproduksi biasanya bersifat homogen dan konsisten dibanding material lain.

Struktur baja tahan gempa pada dasarnya terdapat 3 tipe yaitu struktur rangka pemikul momen (MRF), struktur rangka dengan *bracing* konsentris (CBF) dan struktur rangka dengan *bracing* eksentris (EBF). (Man Mohan Sing, 2017)

Untuk penelitian terkait CBF dan EBF sudah banyak dilakukan dan penelitian yang penulis lakukan merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya yang membandingkan sistem struktur CBF dan EBF seperti yang sudah dilakukan oleh Man Mohan Sing (2017) yang meneliti tentang komparasi dari analisis sistem CBF, EBF dan MRF. Pada penelitian ini, penulis berfokus pada pengembangan struktur baja pada gedung sederhana 2 lantai dengan menggunakan *bracing* tipe diagonal eksentris 2 arah dan analisis ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perilaku tegangan dan regangan dari struktur tersebut dan untuk memudahkan penulis dalam menganalisis maka digunakan *software* ABAQUS sebagai alat bantu. Oleh karena itu tugas akhir ini berjudul “Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal 2 Lantai dengan *Bracing* Tipe Diagonal Eksentris 2 Arah.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari penelitian ini untuk mengetahui perbandingan perilaku tegangan dan regangan struktur portal 2 lantai dengan *bracing* diagonal eksentris dua arah dengan struktur portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal konsentris. Variasi yang digunakan pada analisis ini adalah perbedaan jarak eksentrisitas pada portal 2 lantai dengan *bracing* diagonal eksentris 2 arah.

1.3 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh eksentrisitas dua arah pada portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal akibat beban statis pada struktur portal terhadap perilaku tegangan struktur?
2. Bagaimana pengaruh eksentrisitas dua arah pada portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal akibat beban statis pada struktur portal terhadap perilaku regangan struktur?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada analisis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Bracing* yang digunakan pada penelitian ini adalah *bracing* tipe diagonal dengan eksentrisitas 2 arah.
2. Dimensi profil yang digunakan 300.200.8.12, dimensi balok 200.150.6.9, dan dimensi *bracing* 100.100.6.8 dengan tabel profil baja Ir. Morisco sebagai referensi.
3. Mutu baja yaitu BJ 37.
4. Variasi eksentrisitas yang digunakan adalah sebesar 60 cm (*Link Pendek*) dan 120 cm (*Link Panjang*).
5. Pembebanan yang digunakan adalah pembebanan lateral statis.
6. *Meshing* yang digunakan yaitu *meshing* besar (4 *meshing* per elemen) dan *meshing* kecil (25 *meshing* per elemen).
7. Pemodelan struktur portal dengan *bracing* pada penelitian ini menggunakan *software* ABAQUS dengan elemen 1 dimensi yaitu *line/wire* dan tiap komponen portal dimodelkan sebagai *beam*.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Dapat mengetahui hasil analisis dari pengaruh *bracing* tipe diagonal eksentris dua arah pada struktur portal 2 lantai terhadap perilaku tegangan akibat beban statis.
2. Dapat mengetahui hasil analisis dari pengaruh *bracing* tipe diagonal eksentris dua arah pada struktur portal 2 lantai terhadap perilaku regangan akibat beban statis.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari analisis ini adalah:

1. Bagi penulis: Dapat mengetahui perilaku tegangan dan regangan pada struktur portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal eksentris dua arah dan kosentris.
2. Bagi pembaca: Dapat menjadi referensi pengetahuan bagi penelitian terkait di masa mendatang.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Baja

2.1.1 Umum

Perilaku struktur yang menggunakan material baja pada beberapa kasus gempa yang ada memang membuat baja menjadi material yang sempurna dalam menahan gempa, pada dunia modern saat ini pun dapat kita terima bahwa baja merupakan material yang tepat untuk banyak aplikasi struktural. Perkembangan material baja diiringi dengan perkembangan sistem strukturnya mulai dari variasi tipe *bracing* yang digunakan maupun variabel bebas lainnya yang bertujuan untuk memaksimalkan struktur baja agar semakin mampu menjadi struktur yang tahan gempa. Performa yang baik dari material baja yang terbukti dalam satu abad terakhir ketika prinsip desain seismik dikembangkan, hal ini juga menuntun pengembangan pada pertengahan awal abad 20.

2.1.2 Keunggulan Material Baja

Material baja memiliki beberapa keunggulan dari beberapa aspek berikut:

1. Perilaku Mekanik

Apabila material struktur diukur berdasar parameter kekuatan, kekakuan dan daktilitas maka baja adalah material terunggul dibanding bahan konstruksi lain seperti beton dan kayu seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Pengelompokan material berdasar perilaku mekanik

Sumber : Rittironk dan Elnieiri (2008)

Material	Berat Jenis (BJ) (kg/m ³)	Modulus Elastis (MPa)	Kuat (MPa)		Rasio Kuat + BJ (1E+6 * 1/mm)
			Leleh	Ultimate	
Serat karbon	1760	150,305	-	5,650	321
Baja A 36	7850	200,000	250	400 – 550	5.1 – 7.0
Baja A 992	7850	200,000	345	450	5.7
Aluminum	2723	68,947	180	200	7.3
Besi cor	7000	190,000	-	200	2.8
Bambu	400	18,575	-	60*	15
Kayu	640	11,000	-	40*	6.25
Beton	2200	21,000 – 33,000	-	20 – 50	0.9 – 2.3

* Rittironk and Elnieiri (2008)

Rasio kuat dibanding berat untuk volume sama dari baja melebihi nilai dari material beton. Jika dikaitkan dengan efisiensi dibanding kayu atau bambu maka baja hanya unggul dari segi kualitas mutu yang lebih homogen dan konsisten.

2. Material buatan pabrik

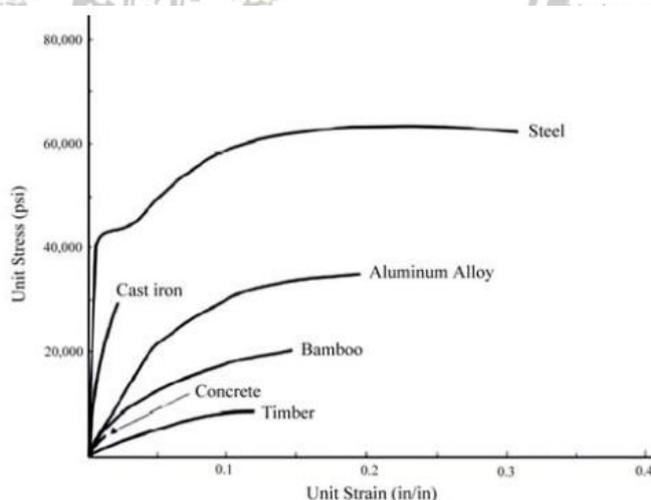
Produksi baja sudah menjadi hal yang lumrah dan kualitas produksinya pun terus ditingkatkan, hal ini mendorong kontrol mutu baja yang semakin meningkat karena kualitas material yang dihasilkan semakin homogen dan konsisten. Untuk penggunaan yang umum saat ini sudah ada beberapa standar profil yang sudah sering di produksi dan untuk profil yang tidak umum juga sudah bisa diproduksi melalui sistem *custom*.

3. Struktur yang juga menjadi bagian dari metode pelaksanaan

Meskipun memiliki kekuatan yang tinggi tapi berat baja relatif ringan dan saat ini sudah banyak produksi baja yang sudah dalam kondisi siap pakai sehingga hal ini mempermudah dalam metode pelaksanaan karena tidak perlu mengeluarkan biaya lagi untuk dibuat perancah.

2.1.3 Daktilitas

Daktilitas dapat diukur dengan regangan yang dialami oleh material sebelum patah, Pada uji tarik maka daktilitas diukur dengan persentase perpindahan panjang baik memanjang maupun memendek terutama pada uji tekan. Baja merupakan material konstruksi dengan daktilitas yang baik diukur dari tegangan leleh yang tinggi, regangan maksimum yang besar juga dengan modulus elastisitasnya yang tinggi. Perilaku mekanik baja untuk nilai daktilitasnya dapat dilihat melalui grafik berikut :



Gambar 2.1 Kurva Daktilitas material

Sumber : Wiryanto Dewobroto (2018)

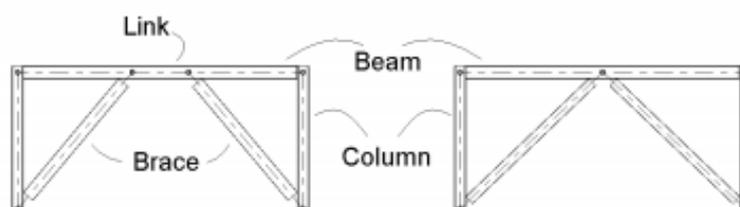
2.2. Struktur Baja Tahan Gempa

Terdapat 3 tipe struktur baja untuk mengatasi gempa yaitu :struktur rangka pemikul momen (MRF), struktur rangka dengan *bracing* kosentris (CBF) dan struktur rangka

dengan *bracing* eksentris (EBF). (Man Mohan Sing, 2017)

2.2.1 Eccentrically Braced Frame

EBF merupakan sistem alternatif yang saat ini digunakan pada struktur bangunan tahan gempa karena sifatnya yang menggabungkan keunggulan rangka batang yang kaku serta efisiensi dengan memanfaatkan perilaku aksial dan sistem portal lentur yang kurang kaku tapi berperilaku daktail. EBF merupakan perpaduan dari 2 sistem portal konvensional yaitu *Momen Resisting Frame* (MRF) dan *Concentrically Braced Frames* (CBF), EBF menggabungkan kelebihan dari tiap frame dengan meminimalisir kekurangan dari tiap tipe tersebut, dengan nilai kekakuan elastis yang tinggi, daktilitas yang baik serta respon yang stabil pada beban lateral, juga disipasi energi yang besar menjadi alasan digunakannya sistem EBF. (Reivaldy F. Manope) Berikut perbandingan gambaran portal EBF dan CBF :



Gambar 2.2 EBF dan CBF

Sumber: Civil Engineering Journal Vol 4, No.6. (2018)

Eccentrically Braced Frames (EBF) memiliki 2 spesifikasi penting yaitu daktilitas dan kekakuan. Sudah banyak bukti sejarah yang membuktikan bahwa daktilitas sistem EBF cukup untuk menahan gaya gempa, sistem EBF diharapkan mampu bertahan dengan deformasi inelastis yang signifikan pada sambungan *link-beam* nya ketika diberikan gaya gempa. Bracing diagonal, kolom, dan segmen balok diluar link harus didesain untuk tetap dibawah kondisi elastis pada gaya maksimum. (Mohsen Tehranizade, 2008)

2.2.2 Link Beam

Link beam pada struktur merupakan bagian yang penting karena bagian ini merupakan bagian yang diharapkan berperilaku inelastis dan mampu berdeformasi plastis yang besar ketika diberikan beban lateral karena fungsinya untuk menyerap energi pada saat terjadi beban lateral (gempa). Panjang dan pendek dari *link beam* sangat berpengaruh karena apabila *link* pendek maka akan membuat struktur kaku mendekati kekakuan CBF dan apabila lebih panjang akan membuat kekakuan mendekati MRF. Posisi *link* juga sangat

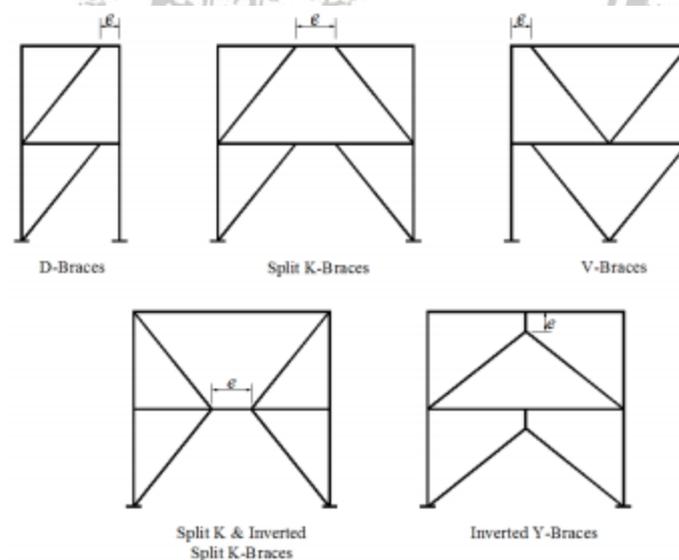
menentukan, apabila *link* diletakkan terhindar dari kolom maka masalah *full moment connection* pada kolom dapat diatasi.

Pada Struktur EBF, elemen-elemen struktur diluar link didesain berdasar kapasitas link. Elemen link diharapkan terjadi kehancuran daktail agar elemen diluar *link* mengalami kehancuran non daktail seperti *buckling* pada elemen *bracing*. *Link* berperilaku sebagai balok pendek dengan gaya geser yang bekerja berlawanan arah pada kedua ujungnya sehingga momen yang dihasilkan pada kedua ujung balok mempunyai besar dan arah yang sama.

Terdapat 3 kriteria balok link yang biasanya digunakan pada sistem EBF bergantung pada rasio antara momen plastis (M_p) dan kapasitas geser plastis (V_p) dengan kriterianya yaitu :

1. *Link* Pendek : *Link* dengan rasio panjang kurang dari $1,6 \times M_p/V_p$ dimana dominan terjadi pelelehan geser.
2. *Link* Menengah : *Link* dengan rasio panjang antara $1,6 \times M_p/V_p - 2,6 \times M_p/V_p$ dengan pelelehan yang terjadi yaitu kombinasi dari geser dan lentur
3. *Link* Panjang : *Link* dengan rasio panjang lebih dari $2,6 \times M_p/V_p$ dimana dominan terjadi pelelehan lentur.

Beberapa variasi *bracing* terutama pada sistem EBF dengan *link beam* dapat dilihat pada gambar berikut :



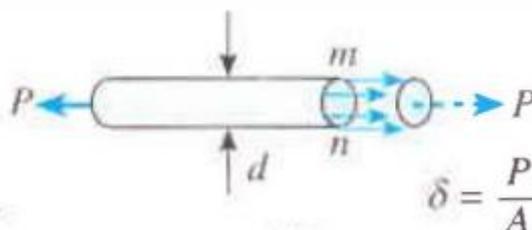
Gambar 2.3 Variasi *Bracing* sistem EBF

Sumber : Jusuf Wilson (2017)

2.3 Tegangan - Regangan

2.3.1 Tegangan Normal

Secara umum tegangan dapat diartikan sebagai gaya yang terdistribusi secara kontinu pada sebuah penampang dengan seluruh luasan penampangnya. Besarnya intensitas gaya yang masuk disebut tegangan dengan simbol σ seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Tegangan Normal Pada Batang.

Sumber : Mekanika Bahan Jilid 1.

Menggunakan asumsi bahwa tegangan terbagi rata pada setiap permukaan suatu benda berupa tabung, resultan gaya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang (A). Maka tegangan dapat dinyatakan dengan rumus berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Gambar 2.5 Rumus Tegangan.

Sumber : Mekanika Bahan Jilid 1.

Dengan melihat persamaan diatas maka dapat dipahami bahwa apabila suatu penampang diberikan gaya tarik P maka tegangannya disebut tegangan tarik (*tensile stress*), apabila gaya P yang diberikan menyebabkan batang tertekan maka tegangannya disebut tegangan tekan (*compressive stress*). Jika tegangan yang diberikan memiliki arah yang tegak lurus dengan permukaan sebuah potongan maka tegangannya disebut tegangan normal (*normal stress*).

2.3.2 Tegangan Geser

Tegangan normal dapat berupa tarik ataupun tekan. Selain tegangan yang bekerja tegak lurus dengan permukaan benda terdapat pula tegangan yang memiliki arah tangensial pada suatu permukaan bahan yang disebut konsep tegangan geser. Penerapan konsep tegangan geser biasanya terjadi pada sebuah sambungan baut yang menggabungkan 2 elemen berupa pelat sambung dan pengapit. Tegangan geser sendiri memiliki nilai yang sama pada permukaan yang sejajar dari suatu elemen sama besar dan berlawanan arah, untuk

muka yang bersebelahan dan tegak lurus dari suatu elemen sama besar maka akan memiliki arah sedemikian hingga tegangan-tegangan tersebut saling menuju atau saling menjauhi garis perpotongan kedua muka tersebut.

2.3.3 Regangan Normal

Suatu batang apabila dibebani secara aksial maka akan terdapat perubahan panjang tergantung dari gaya yang diberikan, apabila diberikan gaya tarik maka panjangnya akan bertambah sedangkan jika diberikan gaya tekan maka panjangnya akan memendek. Apabila suatu bahan ditinjau pada proses pemberian gayanya pada setengah panjangnya ($L/2$) maka perpanjangannya akan sama dengan perpanjangan (δ) dibagi 2 karena setengah panjang, jika ditinjau pada $L/4$ maka bagiannya juga akan mengalami perpanjangan (δ)/4. Dengan proses ini maka perpanjangan per satuan panjang akan disebut sebagai regangan dengan notasi huruf (ϵ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$

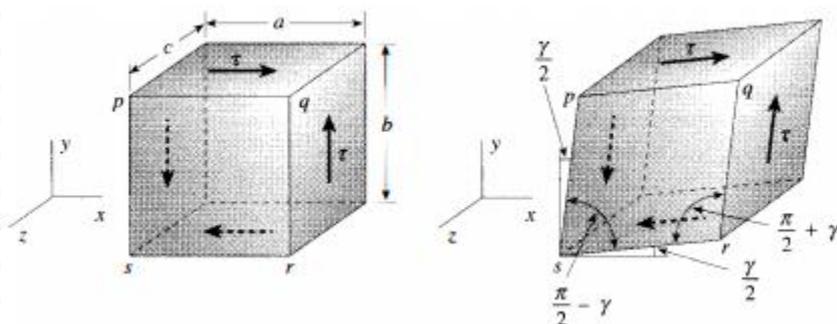
Gambar 2.6 Rumus Regangan Normal.

Sumber : Mekanika Bahan Jilid 1.

Jika batang yang diberikan gaya mengalami tarik maka regangan yang terjadi disebut regangan tarik dengan indikator berupa perpanjangan batang, apabila diberikan gaya tekan maka regangannya disebut regangan tekan dengan indikator berupa perpendekan batang. Regangan tarik dan tekan biasanya dibedakan dengan tanda positif untuk tegangan tarik dan tanda negatif untuk regangan tekan.

2.3.4 Regangan Geser

Keterkaitan tegangan dan regangan geser dapat di simplifikasi dengan menggunakan gambar berikut :



Gambar 2.7 Penggambaran tegangan geser dan regangan geser pada kubus.

Sumber : Mekanika Bahan Jilid 1.

Tegangan geser yang terjadi pada kubus tidak memberikan perubahan panjang elemen dalam bentuk perpanjangan ataupun diperpendek dalam arah x, y, dan z. Tegangan yang terjadi hanya membuat kubus berdeformasi dari kubus normal menjadi kubus miring, hal ini menyebabkan sudut antara titik q dan s juga mengalami deformasi dimana besar sebelumnya sebesar $\pi/2$ akan berubah menjadi $\pi/2 - \gamma$. Pada saat yang sama sudut antara titik p dan r juga berubah sebesar $\pi/2 + \gamma$. Sudut γ merupakan distorsi atau perubahan bentuk dari elemen yang disebut regangan geser.

2.3.5 Engineering Stress-Strain

Konsep *engineering stress-strain* dapat dijelaskan dengan mudah terutama dengan menggunakan contoh spesimen yang mengalami uji tarik, biasanya pada pengujian ketika gaya tarik bekerja pada spesimen akan terjadi deformasi plastis dan elastis. Parameter ini yang digunakan dalam perhitungan *engineering stress* dan *engineering strain* dengan mengamati persamaan berikut :

$$\sigma_E = \frac{P}{A_0}$$

$$\epsilon_E = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dimana

σ_E : *Engineering stress*

ϵ_E : *Engineering strain*

P : gaya aksial tarik yang diberikan

A_0 : Area potongan asli spesimen yang mengalami gaya tarik

L_0 : Panjang asli spesimen

L_f : Panjang final dari spesimen setelah diberikan gaya tarik

2.3.6 True Stress-Strain

Pada konsep nya untuk aplikasi *engineering stress-strain* sebenarnya masih terdapat hal yang perlu dipertanyakan seperti luas area mana yang akan digunakan ketika melakukan *engineering stress-strain*, luas yang awal atau luas setelah dibebani maupun panjang awal ataupun panjang setelah dibebani. Alternatif perhitungannya menimbulkan konsep baru berupa *True Stress* dan *True Strain* untuk mengatasi permasalahan ini, *true stress* dapat diartikan sebagai rasio dari beban yang diberikan sesuai dengan luas area saat beban diberikan yang dapat di simplifikasi dengan persamaan berikut :

$$\sigma_T = \frac{P}{A}$$

$$\left(\sigma_E = \frac{P}{A_0} \right) \quad (1) \quad \epsilon_E = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

$$A.L = A_0.L_0 \Rightarrow \sigma_T = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{L}{L_0} = \sigma_E (1 + \epsilon_E)$$

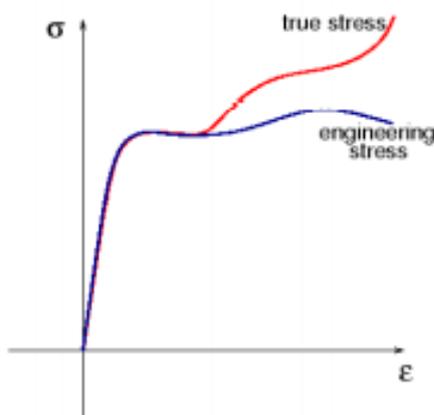
Dimana A merupakan luas daerah yang tereduksi akibat beban yang diberikan. Sedangkan *true strain* dapat diartikan sebagai peningkatan panjang ketika beban diberikan secara simultan yang dapat di simplifikasi dengan persamaan berikut :

$$\epsilon_T = \int \frac{dL}{L} = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

$$\epsilon_T = \ln \left(\frac{L_0 + \Delta L}{L_0} \right) \Rightarrow \ln \left[\frac{L_0}{L_0} + \frac{\Delta L}{L_0} \right]$$

$$\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon_E)$$

Pada prakteknya penting untuk diingat bahwa *true stress* dan *true strain* pada dasarnya sulit untuk dibedakan dengan *engineering stress* dan *engineering strain* pada deformasi yang kecil, untuk mengukur *true stress* dan *true strain* ketika beban dan deformasi yang terjadi terus meningkat pada spesimen. Keterkaitan antara *true stress* dan *true strain* dapat dijelaskan dengan kurva dibawah ini:



Gambar 2.8 Kurva *engineering stress* dan *true stress*.

Sumber : Iman Faridmehr (2014).

2.3.7 Kriteria Keluluhan Von Mises

Von mises dalam teori distorsi maksimumnya menjelaskan bahwa material akan terdeformasi plastis bila energi distorsi maksimum akibat pembebanan mencapai harga kritisnya. (Von Mises, 1913). Dengan rumus energy distorsi sebagai berikut :

$$(U_0)_{\text{distorsi}} = \frac{1}{6G} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)$$

$$= \frac{1}{12G} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

Dimana :

G : Modulus Geser

E : Modulus Elastisitas

Kriteria luluh disusun menggunakan asumsi bahwa material bersifat isotropis (seragam/homogen disetiap arah) dan tidak berlaku untuk material anisotropis karena proses deformasi tidak sama untuk setiap arah pengerjaan. Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh Von Mises dapat diformulasikan dalam Von Mises Stress atau *Equivalent Tensile Stress*. Tegangan Von Mises digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial.

Pada analisis metode elemen hingga suatu permasalahan, penentuan desain cross section sangat menentukan distribusi tegangan dari desain dan meminimalisir kerusakan atau kegagalan dari *femoral stem*, variasi ini sedikit banyak akan mempengaruhi nilai tegangan Von Mises.

2.4 Analisis Struktur dan Pembebanan

2.4.1 Beban Statis

Pembebanan statis merupakan pembebanan dimana beban akan bekerja secara terus menerus pada suatu struktur dan cenderung bersifat tetap. Beban statis meliputi beban mati dan beban hidup struktur. Beban mati (*Dead Load*) dapat berupa berat semua struktur itu sendiri. Contoh beban mati pada struktur dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Beban mati.

Beban Mati	Besar Beban
Batu alam	2600 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Dinding Pasangan ½ Bata	250 kg/m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg/m ²
Lantai ubin dari semen Portland	24 kg/m ²
Spesi per cm tebal	21 kg/m ²
Kolam renang	1000 kg/m ²

Sedangkan beban hidup (*Life Load*) berupa beban yang terjadi akibat fungsi penggunaan struktur termasuk beban pada lantai yang dapat berupa beban dari barang-barang yang dapat berpindah atau beban air hujan. Contoh beban hidup yaitu :

Tabel 2.3 Beban hidup.

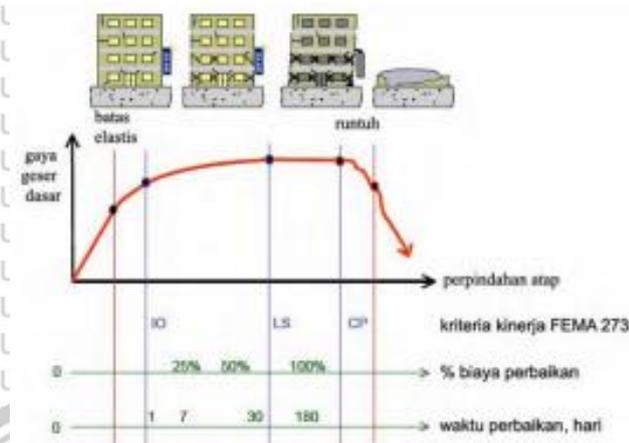
Beban Hidup Pada Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Apartemen	250 kg/m ²
Tangga dan Bordes	300 kg/m ²
Plat Atap	100 kg/m ²
Lantai Ruang rapat	400 kg/m ²
Beban Pekerja	100 kg

Pembebanan statis yang diberikan pada penelitian berupa beban statis lateral dimana beban diberikan pada arah horizontal struktur untuk mensimplifikasi dari beban gempa yang sebenarnya.

2.4.2 Pushover Analysis

Analisis Pushover/ analisis statik non linier merupakan analisis yang bertujuan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu struktur. Prosedurnya dengan memberikan pola beban lateral static pada struktur yang secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai

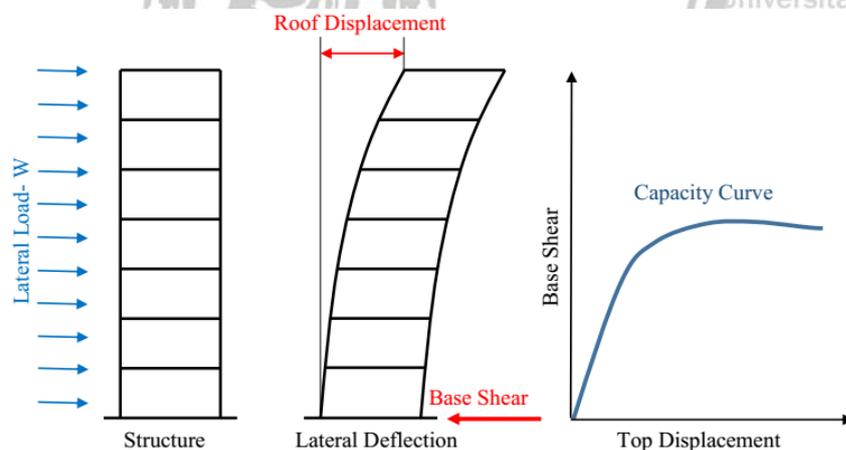
target perpindahan lateral dari suatu titik tercapai. Analisis ini menghasilkan kurva yang disebut kurva pushover yang menggambarkan hubungan gaya geser dasar (V) dan perpindahan titik acuan (D) seperti dibawah ini :



Gambar 2.9 Grafik analisa pushover.

Sumber : Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.9

Pada analisis pushover, struktur akan didorong sampai pada titik leleh disatu atau lebih lokasi struktur, hal ini untuk memperkirakan gaya maksimum dan besarnya deformasi untuk memperoleh informasi bagian yang kritis. Penggambaran pembebanan lateral statis dan kaitannya dengan kurva pushover analysis dapat dijelaskan melalui gambar berikut :



Gambar 2.10 Beban lateral statis.

2.4.3 Load Control

Prosedur ini bertujuan untuk melihat seberapa besar simpangan yang terjadi pada struktur ketika dibebani sesuai dengan beban rencana yang ditentukan, proses input mulai dari 0 sampai pada besaran yang direncanakan.

2.4.4 Displacement Control

Pembebanan secara bertahap dilakukan sampai mencapai nilai simpangan yang diperkirakan dimana yang menjadi variabel kontrolnya berupa deformasi struktur, prosedur ini bertujuan untuk mengetahui besar beban yang dapat ditahan oleh struktur.

2.5 Software ABAQUS

Abaqus merupakan software berbasis *computer-aided engineering* (CAE) yang saat ini berfokus untuk *finite element analysis*. Produk abaqus terdiri dari 5 produk yaitu *Abaqus Environment* yang biasanya digunakan untuk analisis komponen mekanik, *Abaqus standard* yang digunakan untuk analisis elemen hingga yang memakai skema integrasi, *Abaqus Explicit* yang memiliki fungsi khusus dengan skema integrasi yang jelas untuk menghasilkan sistem non linear dengan grid yang kompleks, *Abaqus CFD* untuk menganalisis *fluid dynamics*, *Abaqus Electromagnetic* yang digunakan untuk penyelesaian masalah-masalah elektromagnetik, dan *Abaqus* yang digunakan untuk pada bidang penerbangan, otomotif, maupun produk industri lainnya.

Tahapan analisis Abaqus meliputi :

1. *Preprocessing* : Penentuan model analisis, penggambaran model dapat dilakukan dengan abaqus langsung ataupun dengan menggunakan *software* lainnya.
2. *Simulation* : Proses analisis tergantung variabel yang ingin diuji, misalnya dalam analisis beban maka output analisis berupa nilai perpindahan. Model sangat menentukan pada proses ini, semakin rumit model maka akan butuh waktu dalam analisisnya.
3. *Postprocessing* : Evaluasi setelah analisis dilakukan, hasilnya berupa variabel-variabel seperti perpindahan, beban, ataupun variabel lain.

2.6 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.4 Daftar penelitian.

No	Peneliti	Judul Penelitian	Kesimpulan
1	Mohsen Tehranizade, Touraj Taghikhani, Mahdi Kioumars, Leila Hajnajafi.	Comparative Study On Seismic Behavior Of Special Concentric Braced Frames With Eccentric Braced Frames.	Dengan melihat energi pada struktur, energi historis untuk meng input rasio energi lebih besar pada sistem EBF daripada sistem SCBF.

2	Man Mohan Singh	Comparative Analysis Of Concentrically Braced Frame, Eccentrically Braced Frame and Momen Resisting Frame of Steel.	Berdasar hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dalam struktur tahan gempa, bracing eksentris lebih ekonomis dibanding tipe yang lain pada lantai berapapun.
---	-----------------	---	--

2.7 Hipotesis Penelitian

Berdasar hasil pembahasan maka penulis mengambil hipotesis untuk penelitian sebagai berikut:

1. Portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal eksentris dua arah dengan jarak eksentrisitas yang lebih kecil akan memiliki beban statis maksimum yang lebih besar dan menghasilkan nilai tegangan maksimum yang lebih besar.
2. Portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal eksentris dua arah dengan jarak eksentris yang lebih kecil akan memiliki defleksi maksimum yang lebih besar dan menghasilkan nilai regangan maksimum yang lebih besar.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan *software* ABAQUS versi 6.14-1 dengan menganalisis portal baja dengan *bracing* tipe diagonal berdimensi 4 x 4 m profil WF 300.200.8.12 untuk kolom dan profil 200.150.6.9 untuk elemen balok dengan menggunakan prinsip *strong column weak beam*. Pengujian menggunakan beban lateral statis dengan variasi link pada portal, menggunakan *link* pendek (60 cm), *link* panjang (120 cm), dan kosentris (0 cm). Dengan variasi yang ada maka perilaku tegangan dan regangannya dapat diketahui dengan membandingkan masing-masing portal sehingga efek eksentrisitas dapat diketahui melalui data yang didapatkan.

3.1.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian berupa variabel bebas dan variabel terikat yaitu :

1. Variabel Bebas : Variabel pada penelitian yang penentuannya ditentukan oleh penulis yang mempengaruhi variabel terikat. Pada penelitian yang menjadi variabel bebas berupa material, jenis dan dimensi profil serta nilai eksentrisitas *bracing* pada portal.
2. Variabel Terikat : Variabel yang terpengaruh dari variabel bebas yang perubahannya terjadi akibat variabel bebas. Variabel terikat berupa nilai tegangan dan regangan yang ada akibat perubahan nilai eksentrisitas pada portal.

3.1.2 Rancangan Portal

Model yang diteliti berupa portal 2 lantai 4 x 4 m dengan *bracing* tipe diagonal eksentris 2 arah. Pemodelan ini selaras dengan tujuan penelitian kedepannya untuk mensimplifikasi penggunaan *bracing* eksentris pada rumah tinggal 2 lantai. Terdapat 2 penggunaan tipe profil yang penentuannya sejalan dengan konsep *strong column weak beam* dimana profil pada kolom lebih besar daripada elemen balok dengan harapan profil kolom lebih kuat dalam menahan beban dari profil balok. Profil kolom digunakan WF 300.200.8.12 sedangkan profil balok digunakan WF 200.150.6.9.

3.1.3 Material Portal

Profil WF yang digunakan baik pada kolom maupun balok menggunakan baja dengan mutu BJ 37 dengan spesifikasi sebagai berikut berdasar SNI-03-1729-2002 :

Modulus Young : $E = 200.000 \text{ Mpa}$

Modulus Geser : $G = 80.000 \text{ Mpa}$

Poisson Ratio : $\mu = 0,3$

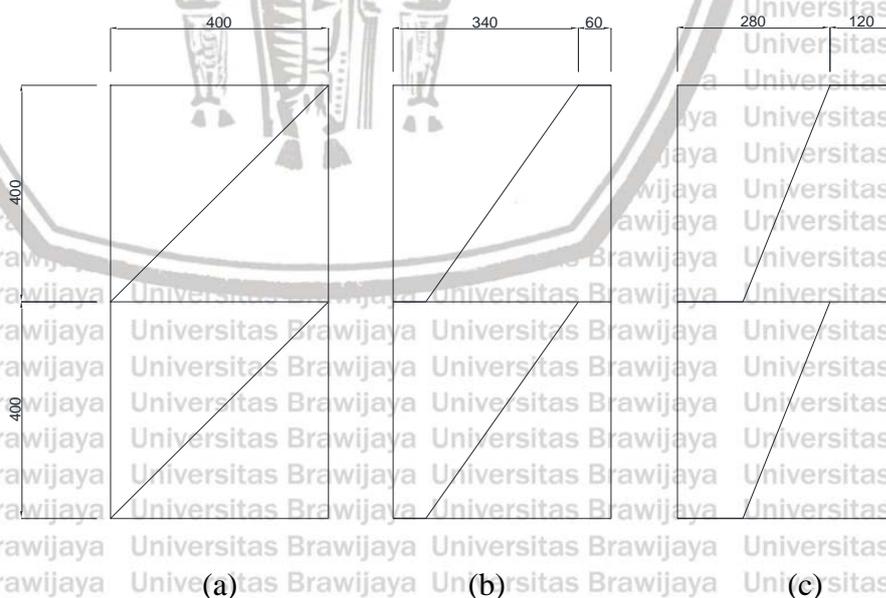
Koefisien Muai Panjang : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Tabel 3.1 Penggunaan profil.

No	Elemen Struktur	Profil
1.	Kolom	WF 300.200.8.12
2.	Balok	WF 200.150.6.9
3.	Bracing	WF 100.100.6.8

3.1.4 Eksentrisitas

Penentuan eksentrisitas pada penelitian mengacu pada penggunaan *link* pada sistem EBF, eksentrisitas yang digunakan menggunakan tipe *short link* dan *long link*. Kriteria panjang ini berdasar parameter momen plastis (M_p) dan kapasitas geser plastis (V_p) dimana pada *short link* eksentrisitas yang digunakan $< 1,6 M_p/V_p$ dan untuk *long link* eksentrisitas yang digunakan $\geq 2,6 M_p/V_p$.



Gambar 3.1 (a) Portal kosentris, (b) Portal *short-link*, (c) Portal *long-link*

3.1.5 Pemodelan pada *Software Abaqus*

Elemen yang digunakan pada saat pemodelan menggunakan tipe elemen *line/wire* dengan geometris 2 dimensi. Penggunaan meshing juga dibagi menjadi 2 tipe yaitu :

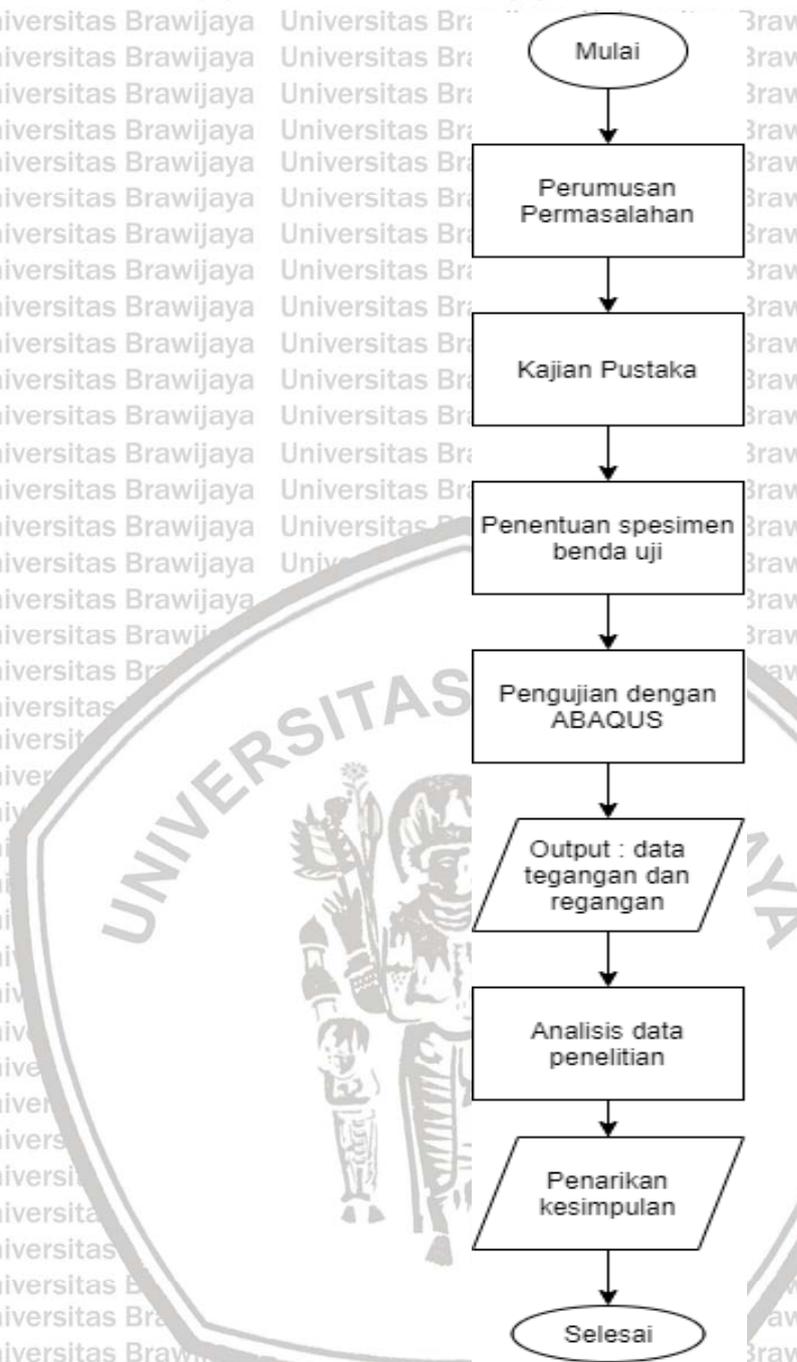
1. *Meshing* Renggang : tiap komponen pada portal dibagi lagi menjadi 4 *node*.
2. *Meshing* Rapat : tiap komponen pada portal dibagi lagi menjadi 25 *node*.

Pemodelan struktur menggunakan tipe *beam* untuk tipe *meshing* yang sudah dijelaskan di atas.

3.2 Metode penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari beberapa langkah berikut :

1. Perumusan permasalahan.
2. Kajian terkait studi yang telah dilakukan untuk mempelajari dan penentuan hipotesis penelitian.
3. Penentuan spesimen benda uji meliputi material yang digunakan, dimensi benda uji, variabel bebas, serta analisis struktur.
4. Pengujian menggunakan alat bantu *software* ABAQUS.
5. Pencatatan output berupa data tegangan dan regangan dari masing-masing spesimen portal dari awal pemberian beban sampai terjadinya keruntuhan.
6. Menganalisis data hasil penelitian.
7. Kesimpulan penelitian yang dikaitkan dengan hipotesis penelitian.



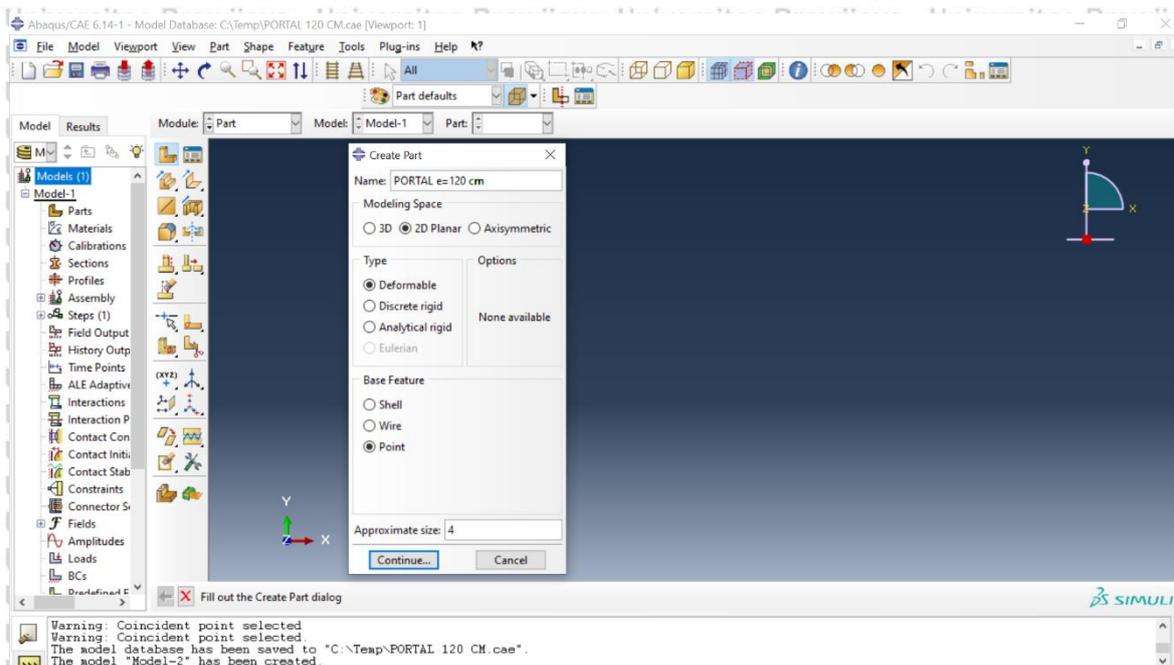
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.

3.3 Analisis struktur dengan Abaqus

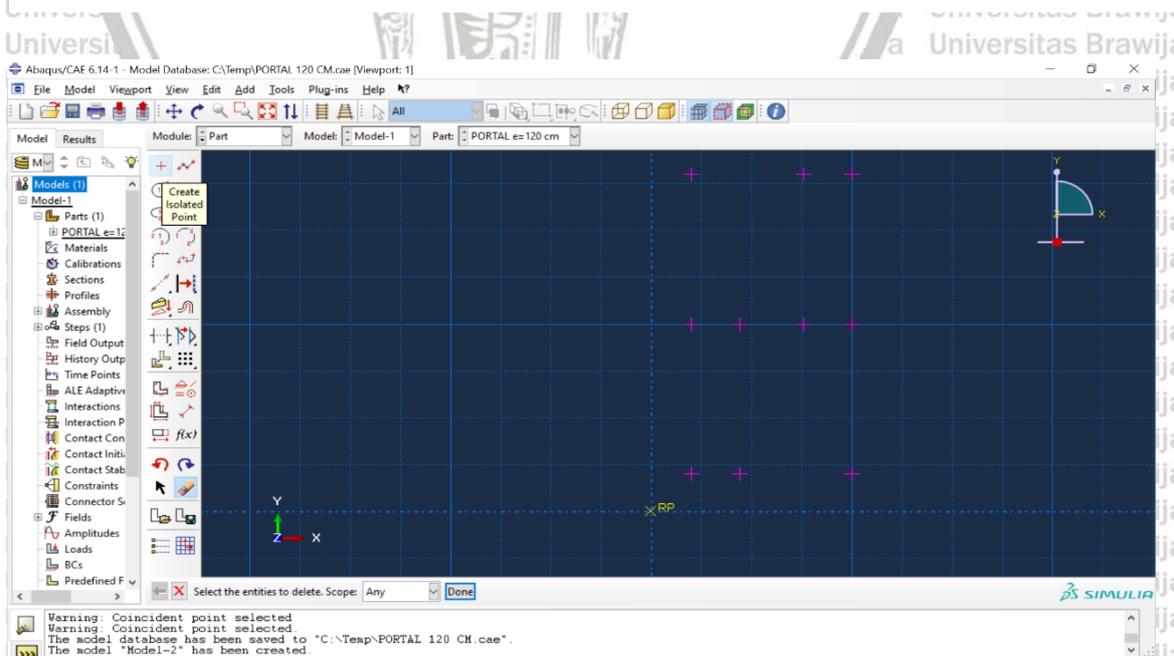
Penggunaan *software* ABAQUS akan dijelaskan dalam *step by step* sebagai berikut :

1. Pemodelan Struktur

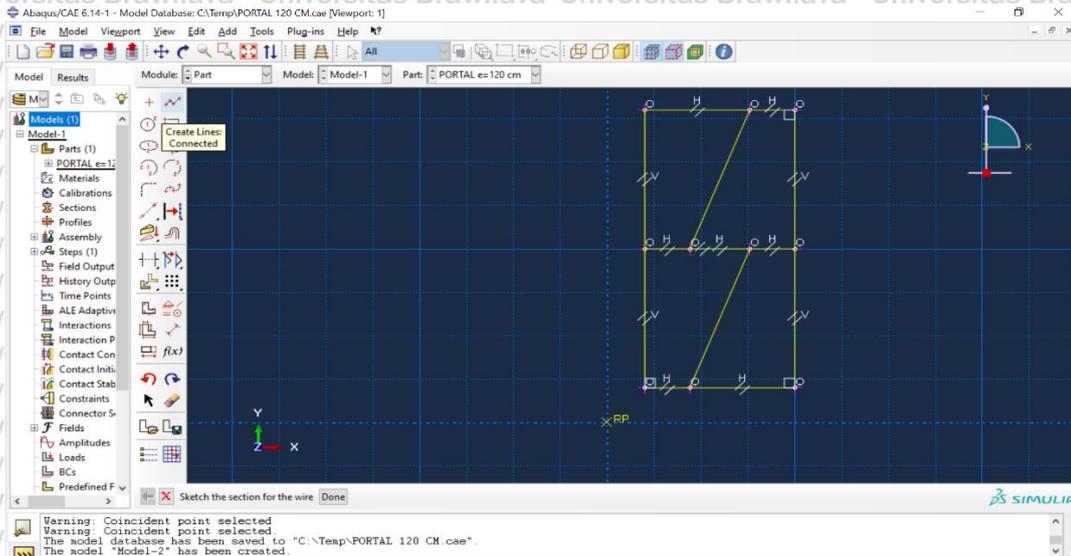
Sebelum pemodelan harus diperhatikan penggunaan satuan karena semua satuan akan dituliskan secara manual pada ABAQUS, setelah itu create part dengan pemodelan 2 dimensi tipe *deformable* menggunakan metode pembuatan koordinat letak *joint*.



Gambar 3.3 Langkah awal untuk menyusun titik-titik koordinat



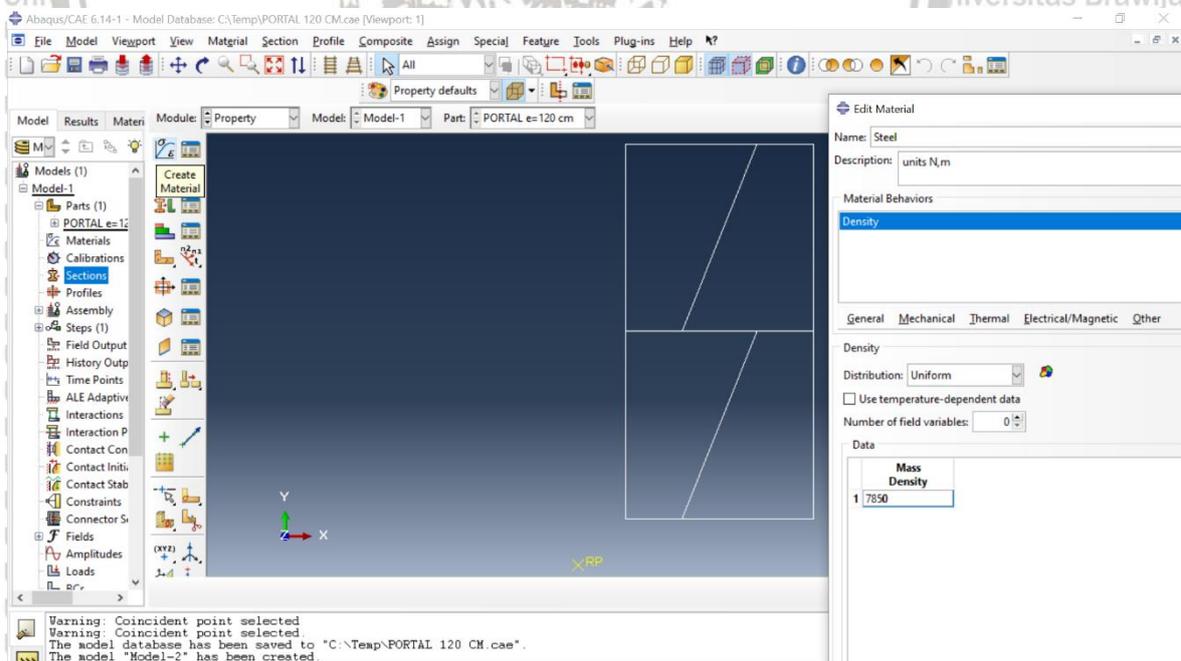
Gambar 3.4 Hasil input titik-titik koordinat



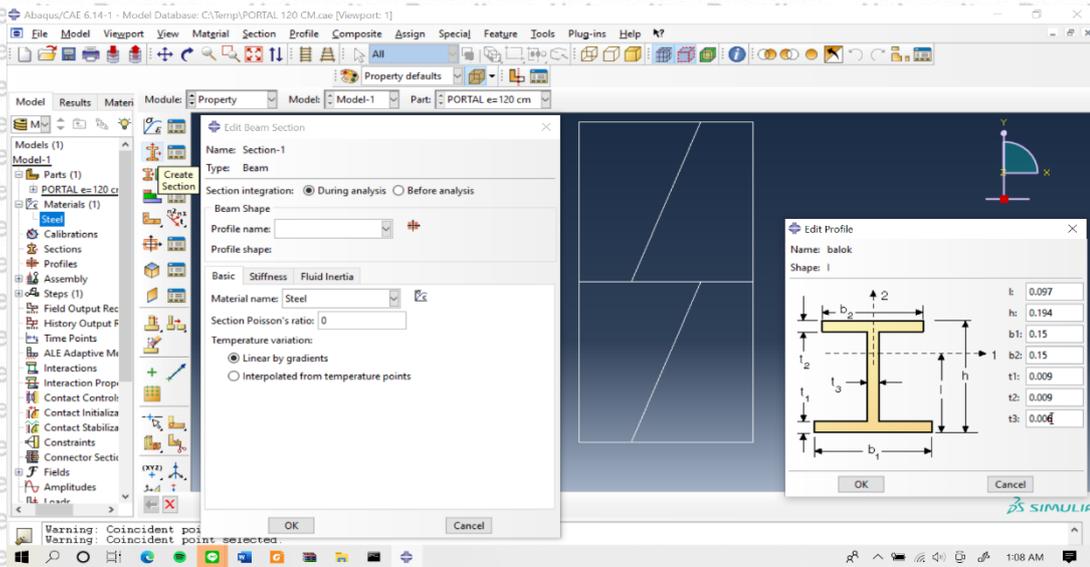
Gambar 3.5 Penggabungan koordinat dengan garis

2. Input data material

Proses input data dapat menggunakan modul property kemudian input sifat mekanis pada menu material meliputi *density*, modulus elastisitas, nilai *poisson ratio* dan nilai *true stress-strain*.



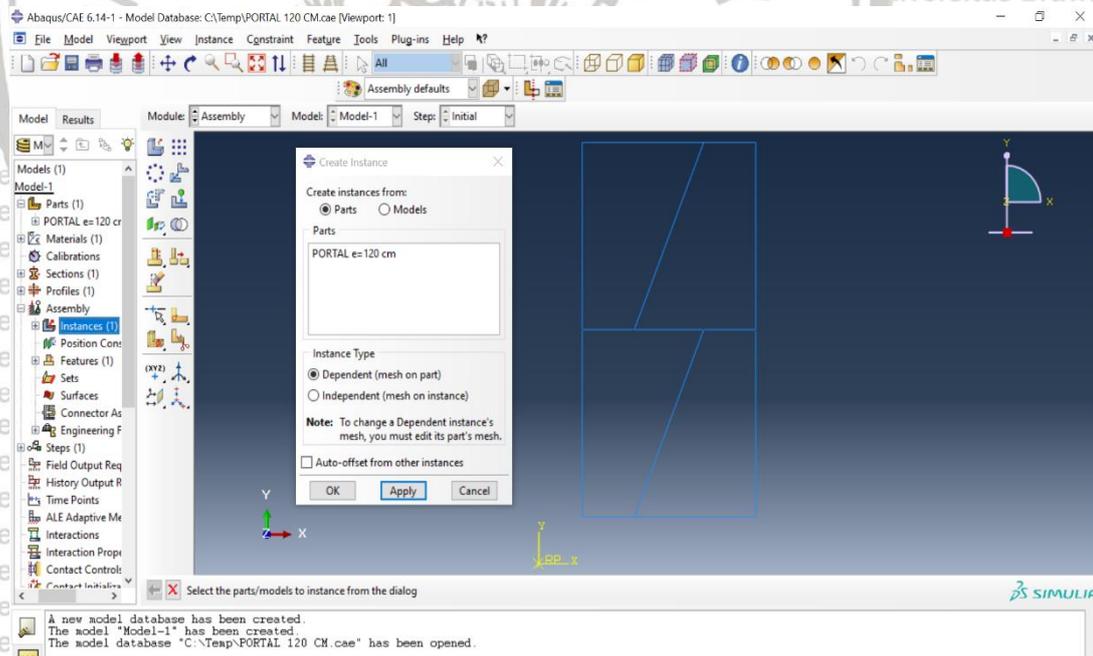
Gambar 3.6 Input data teknis baja



Gambar 3.7 Input data teknis portal

3. Penggabungan bagian-bagian

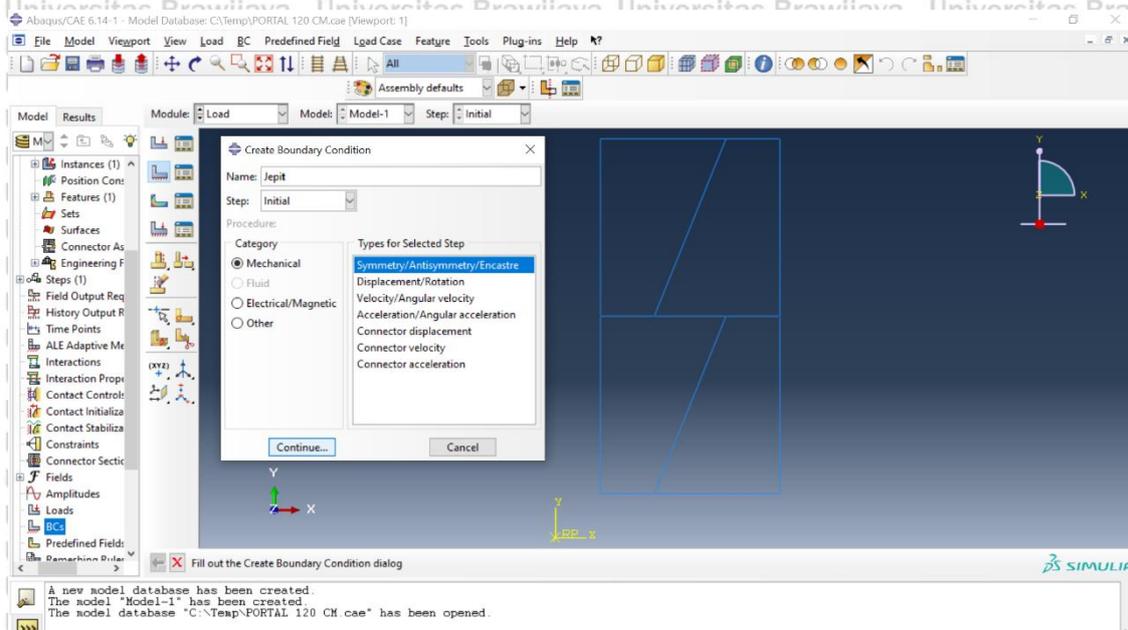
Setelah tiap *part* sudah selesai dibuat maka seluruh *part* akan digabungkan menjadi 1 model utuh dengan menggunakan modul *assembly* pada menu *instance*.



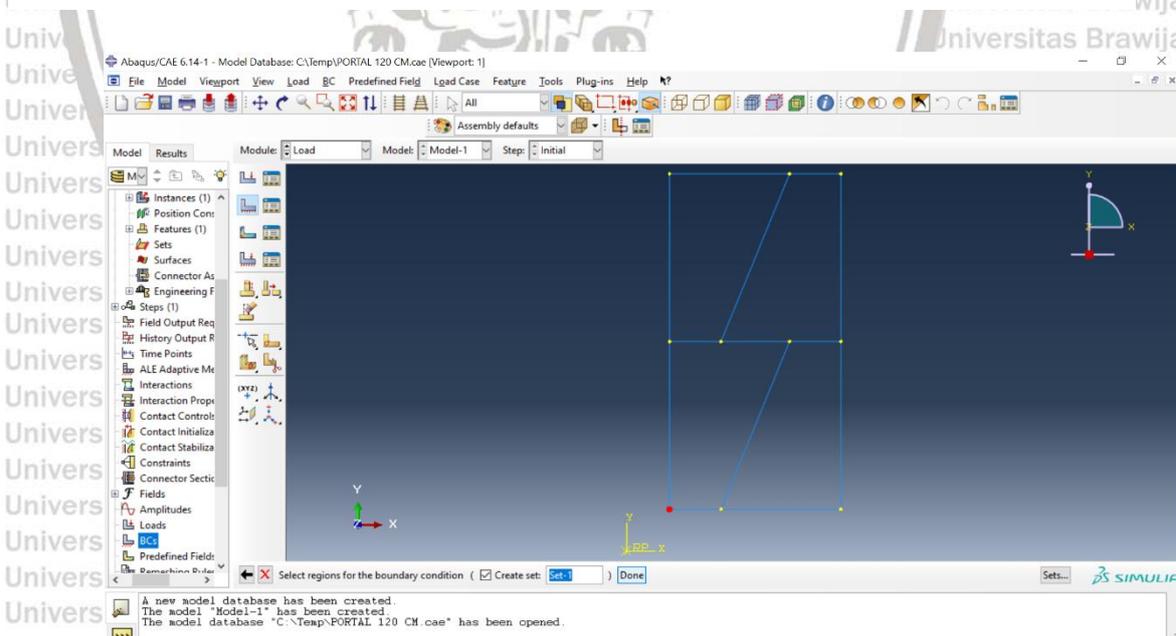
Gambar 3.8 Langkah *assembly*

4. Input tumpuan

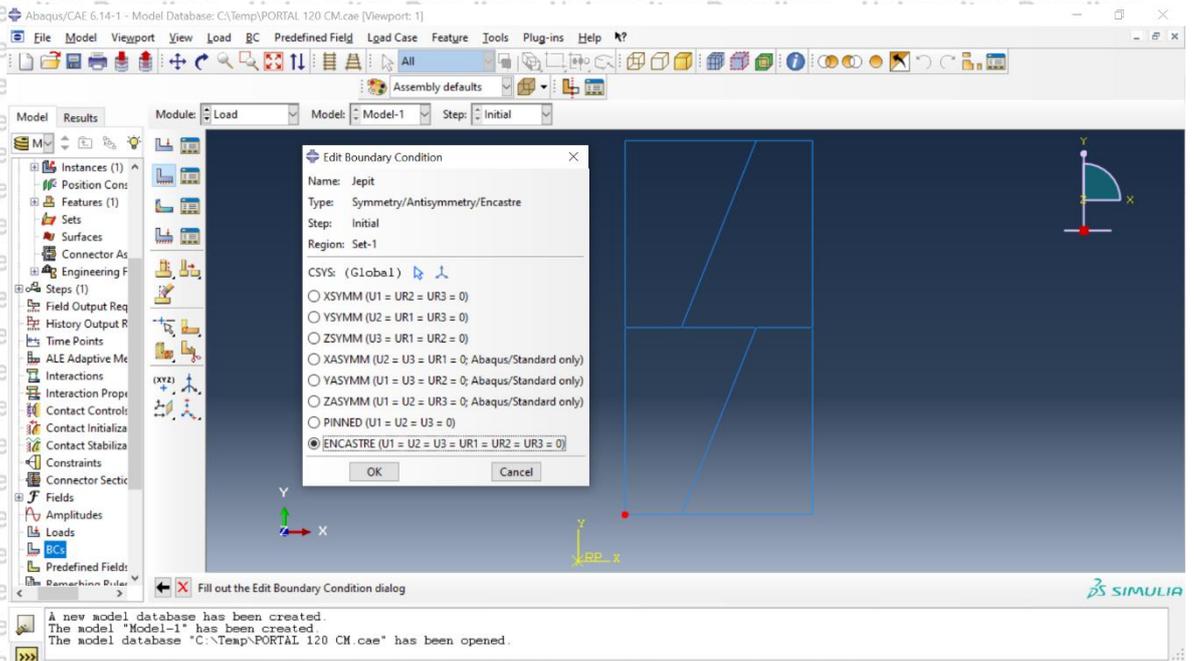
Kemudian setelah model jadi maka tumpuan dapat diinput, pada penelitian tumpuan yang digunakan pada model adalah tumpuan jepit-jepit dengan menggunakan bagian *Boundary Condition* dengan nama *Encastre*.



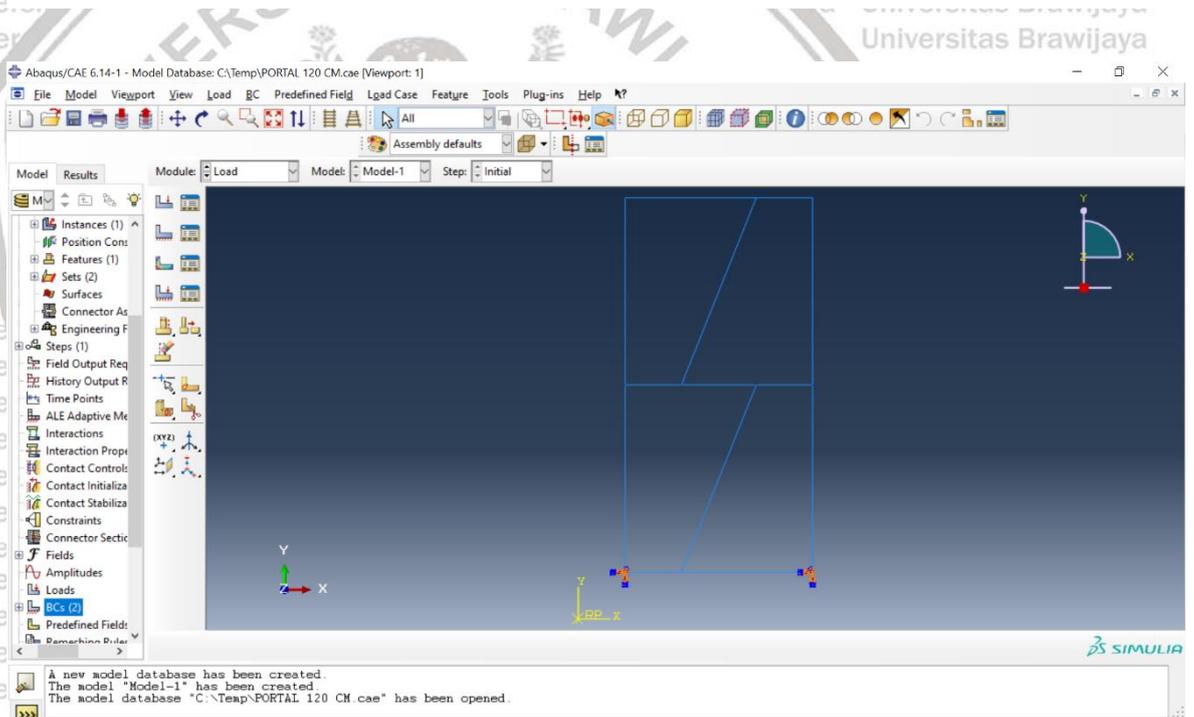
Gambar 3.9 Input tumpuan jepit



Gambar 3.10 Pemilihan titik tumpuan



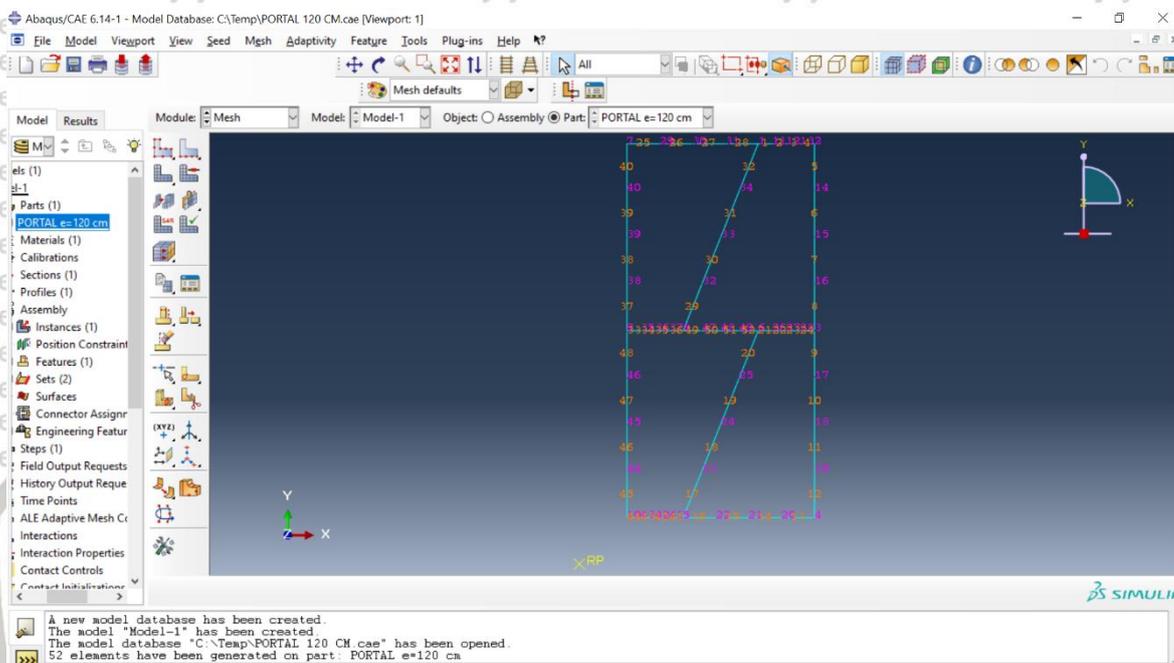
Gambar 3.11 Tumpuan jepit dinamakan encastre



Gambar 3.12 Tampak akhir struktur setelah diberi tumpuan

5. Meshing

Fungsi dari tahap meshing adalah untuk membagi struktur menjadi beberapa bagian sesuai dengan kebutuhan. Pembagian tersebut akan digunakan sebagai sampling analisis, semakin banyak bagian maka hasil dari analisis akan lebih akurat mendekati kondisi nyata akan tetapi waktu dalam pemrosesan akan lebih lama.



Gambar 3.13 Penomoran node dan elemen struktur

6. Pembebanan

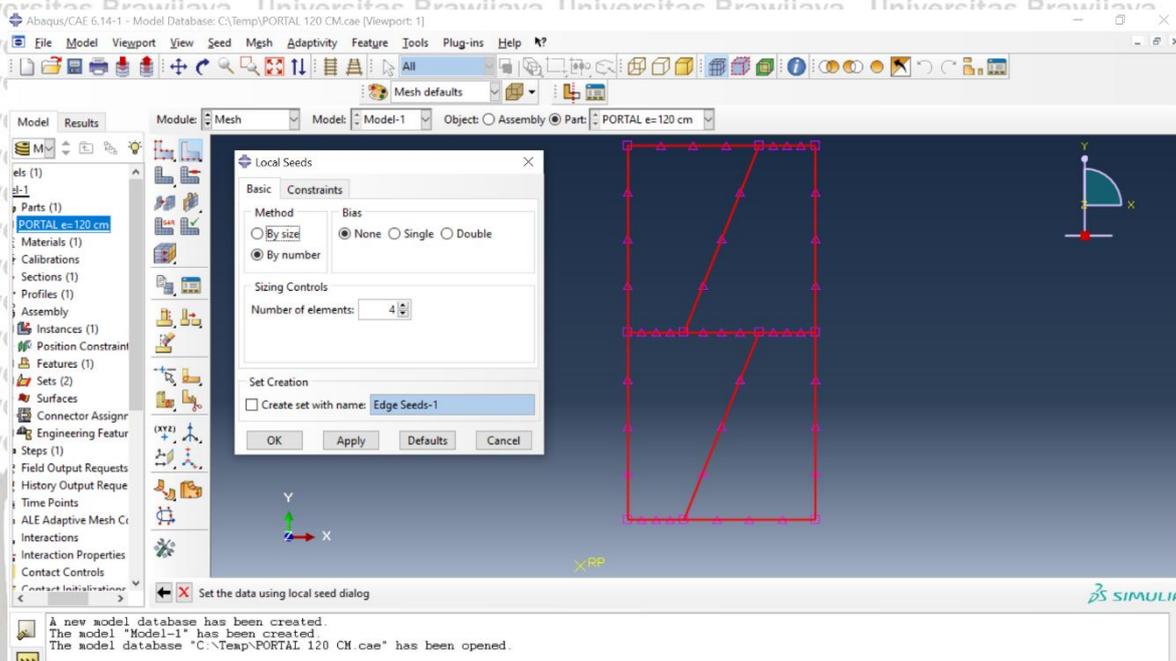
Setelah model struktur sudah selesai, maka pembebanan dilakukan sesuai dengan prosedur yaitu dilakukan pembebanan lateral statis kemudian dilakukan proses *running* analisis struktur. Pembebanan statis berupa *concentrated load*, yaitu beban diberikan pada *node* antar kolom-balok portal.

7. Penetapan Output

Data tegangan-regangan akan diperoleh dari element output software ABAQUS setelah proses pembebanan dengan beban lateral statis dilakukan dengan menggunakan *history output* dan *field output*.

3.4 Analisis Hasil Penelitian

Setelah data didapatkan maka proses selanjutnya adalah pengolahan data hasil analisis untuk membantu dalam penarikan kesimpulan penelitian. Data ini akan langsung didapat melalui aplikasi ABAQUS sehingga perilaku tegangan dan regangan dari masing-masing jenis portal dengan variasi eksentrisitas akan terlihat dan pengaruhnya dengan bracing tipe diagonal eksentris dua arah.



Gambar 3.14 Langkah mesh

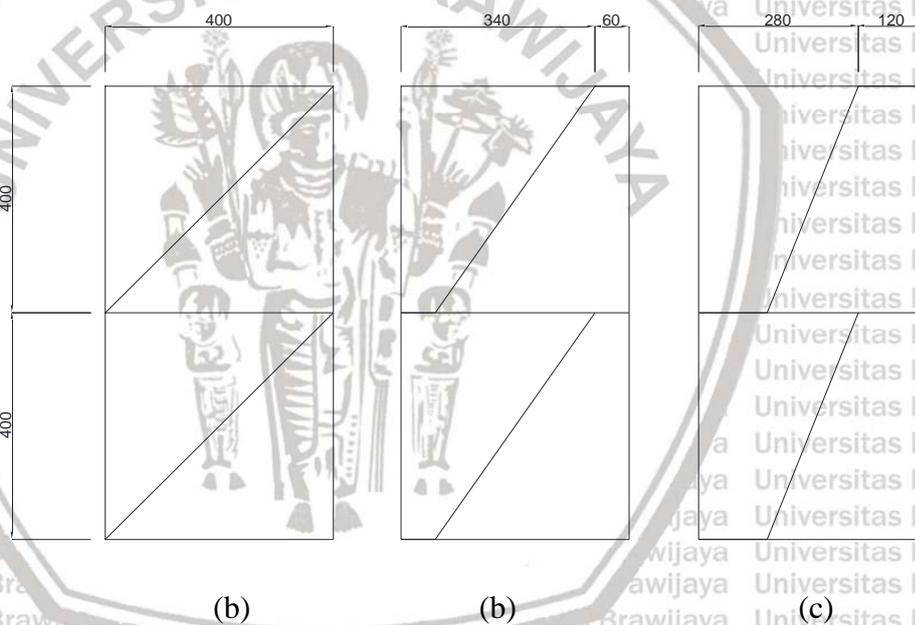
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Portal 2 Lantai *Bracing* Diagonal Eksentris Dua Arah

Analisis dilakukan pada Struktur Portal 2 Lantai dengan variasi panjang *link beam* pada portal dengan penggunaan *bracing* diagonal eksentris dua arah. Struktur portal didesain dengan dimensi 4 x 4 m untuk satu lantai. Pemodelan dilakukan pada *software* ABAQUS CAE Student Edition.

4.1.1 Model dan Material

Pemodelan dibagi menjadi 3 model dengan variasi panjang *link beam*, pemilihan *short link* dan *long link* dipergunakan untuk melihat perbedaan penggunaan panjang *link* yang signifikan terhadap perilaku tegangan-regangan pada portal. Berikut model portal untuk setiap variasi panjang *link*:



Gambar 4.1 (a) Portal konsentris, (b) Portal *short-link*, (c) Portal *long-link*

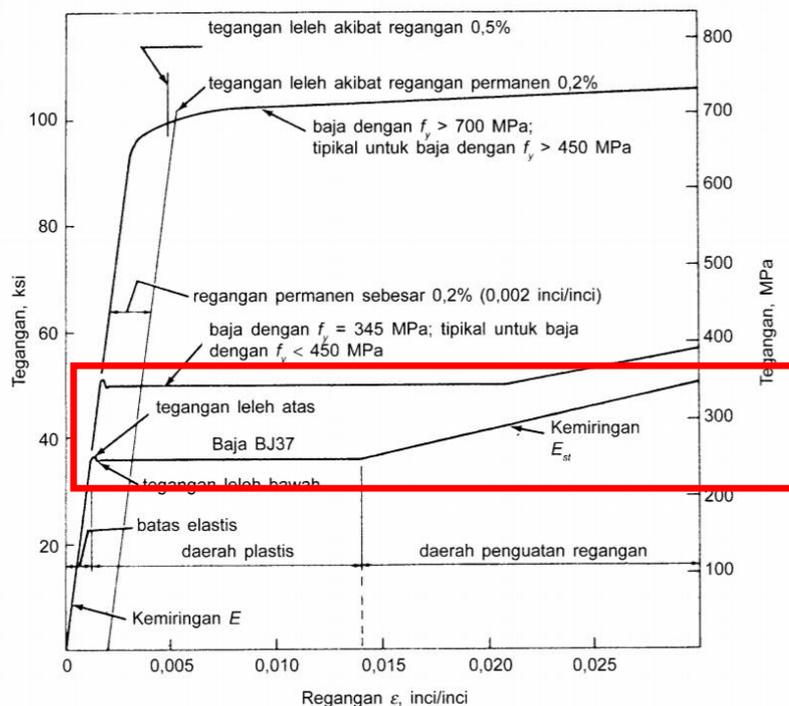
Mutu baja yang digunakan seragam untuk semua bagian yaitu baja mutu BJ-37, spesifikasi yang di *input* dalam *software* ABAQUS CAE adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Material.

No	Spesifikasi Material BJ 37	Nilai
1	Density	7850 kg/m ³
2	Modulus Elastisitas	2 x 10 ¹¹ Pa

3	Poisson Ratio	0,3
4	True Stress	Tabel 4.2
5	True Strain	Tabel 4.2

Untuk nilai *true stress* dan *true strain* yang di input pada *software* harus dilakukan konversi nilai terlebih dahulu dari nilai *engineering stress* dan *engineering strain*. Konversi tersebut didapatkan dari grafik tegangan dan regangan berikut ini:



Gambar 4.2 Diagram Tegangan dan Regangan.

Hasil perhitungan *true stress* dan *true strain*:

Tabel 4.2 True Stress-True Strain.

No	Regangan	Tegangan (Mpa)	True strain	True stress
1	0.0025	260	0.0000	26000000.00
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
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

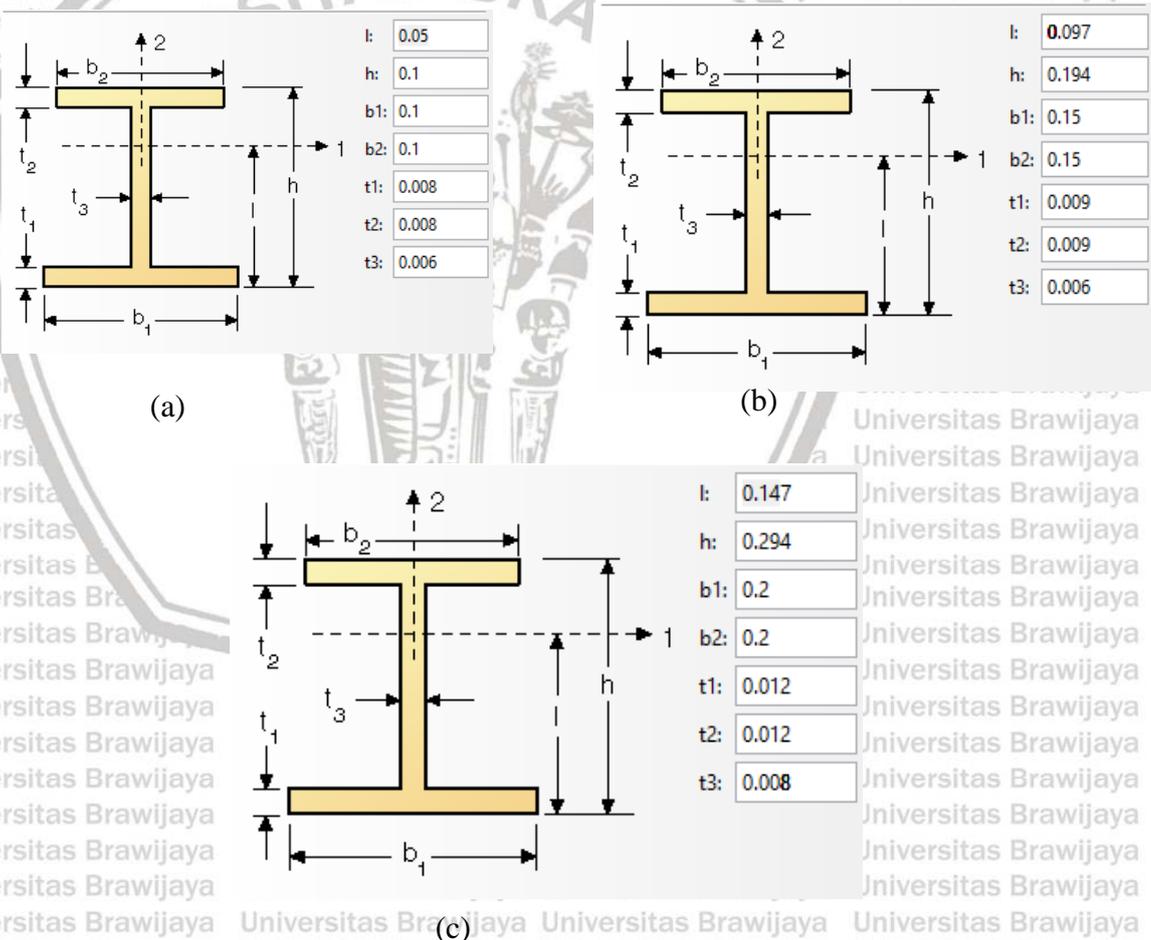
4.1.2 Profil Baja

Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris Dua Arah menggunakan profil baja dengan spesifikasi berdasarkan Tabel Profil Konstruksi Baja Ir. Morisco, prinsip yang digunakan dalam pemilihan profil adalah prinsip *strong column weak beam* dengan penggunaan profil sebagai berikut :

Tabel 4.3 Penggunaan Profil.

No	Elemen Struktur	Profil
1	Balok	WF 200.150.6.9
2	Kolom	WF 300.200.8.12
3	Bracing	WF 100.100.6.8

Spesifikasi profil berdasarkan tabel morisco setelah di input kedalam ABAQUS CAE ditampilkan dalam gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 (a) Profil bracing, (b) Profil balok, (c) Profil kolom.

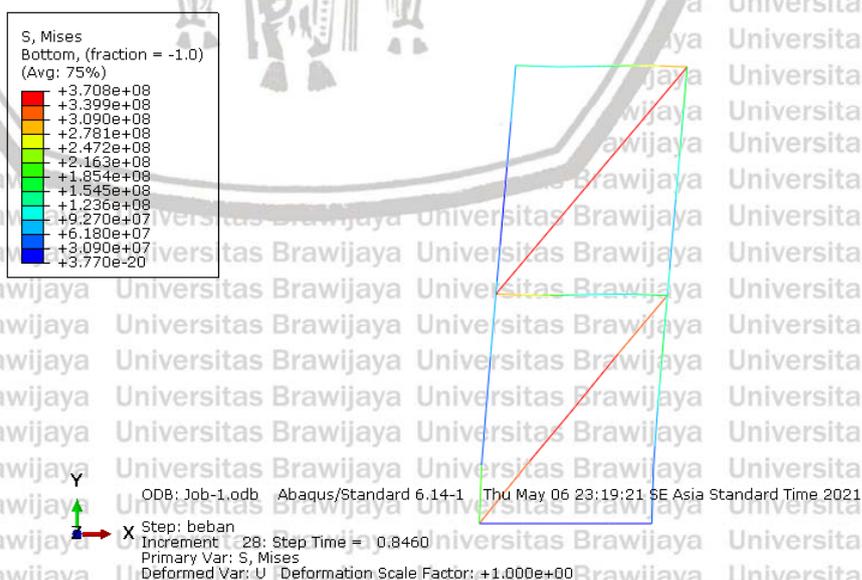
Sumber : ABAQUS CAE.

4.2 Simulasi Numerik Portal 2 Lantai *Bracing* Diagonal Eksentris Dua Arah

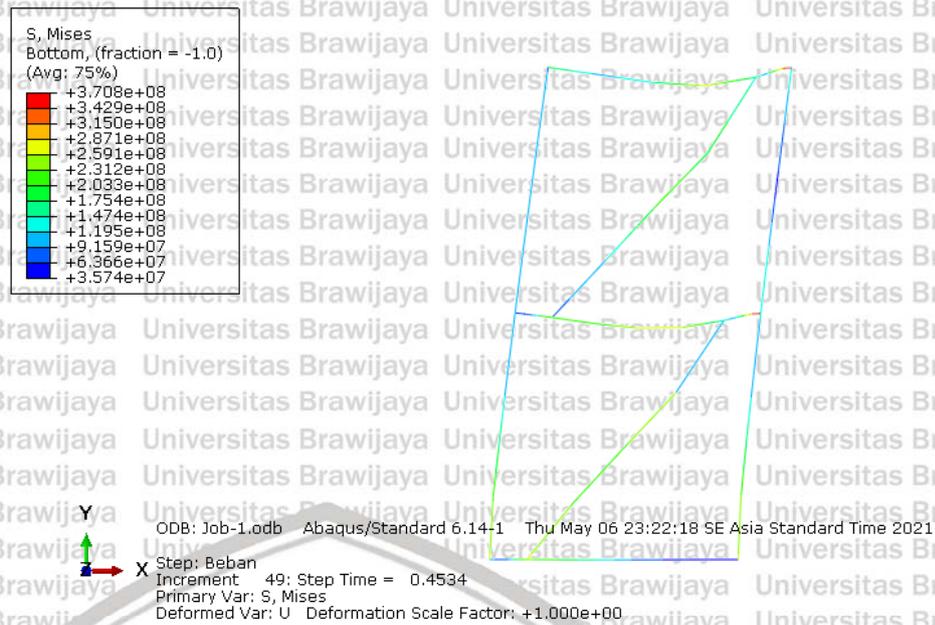
Simulasi numerik untuk pemodelan Portal 2 Lantai *Bracing* Diagonal Eksentris Dua Arah dilakukan dengan menggunakan *software* ABAQUS CAE student edition karena performanya yang lebih baik dalam menganalisis *finite element method*. Tiap model dibagi menjadi 2 tipe *meshing* yaitu *meshing* rapat (25 *meshing* per elemen) dan *meshing* renggang (4 *meshing* per elemen). Hasil analisis dibaca melalui opsi *history output* dan *field output*, untuk mengetahui perilaku tiap elemen pada model misalnya untuk melihat tegangan dan regangan yang terjadi dapat digunakan *field output*, sedangkan untuk mengetahui perilaku model secara spesifik pada elemen tertentu dapat digunakan pilihan *history output* yang akan menampilkan perilaku elemen tersebut secara *real-time* sampai model mengalami keruntuhan.

Simulasi dilakukan dengan memberikan nilai beban statis lateral dengan metode *trial and error* dimana dari nilai beban yang dimasukkan, ABAQUS CAE akan menjalankan program sampai *aborted* dan menunjukkan *step time* dari beban yang di input. Untuk seluruh model digunakan beban lateral statis sebesar 61 ton.

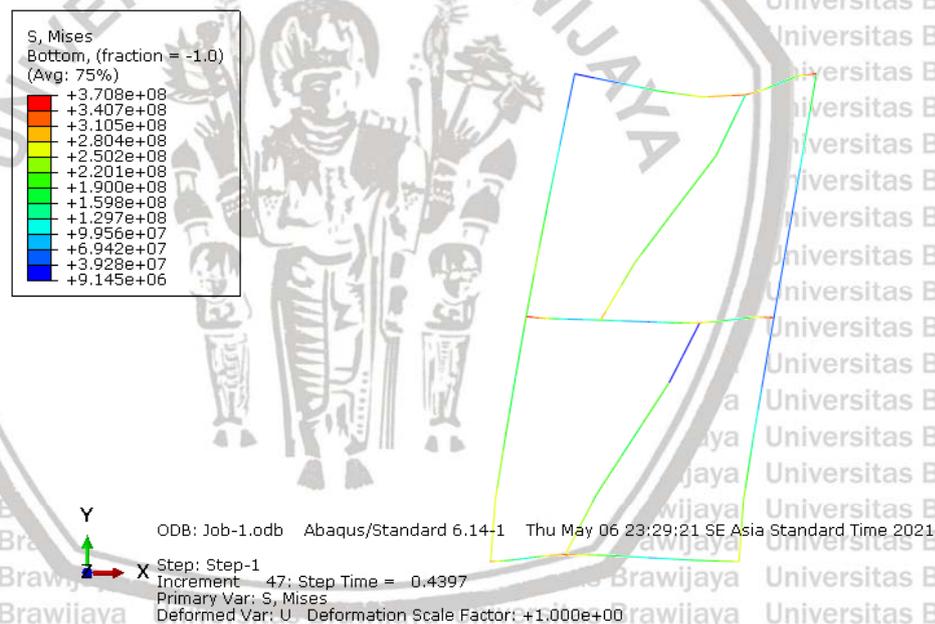
Kemudian dilakukan *input field output* dan *history output*, untuk *field output* maka nilai yang diinput adalah nilai S (*Stress components and invariants*), Mises (*Mises equivalent stress*), E (*Total strain components*), U (*Translations and rotations*), dan RF (*Reaction forces and moments*). *History output* yang di input berupa nilai E11 (Regangan arah x dan y) dan nilai tegangan berupa tegangan Von Mises (MISES). Berikut pemodelan dari portal setelah dijalankan simulasi :



Gambar 4.4 Portal Eksentris 0 cm setelah di analisis.



Gambar 4.5 Portal Eksentris 60 cm setelah di analisis.



Gambar 4.6 Portal Eksentris 120 cm setelah di analisis.

4.3 Respon Struktur Akibat Beban Statis

Tiap model diberikan beban yang sama yaitu sebesar 610.000 N, portal mengalami *aborted* yang menandakan portal sudah mengalami keruntuhan dan dari hasil input beban maka berikut hasil analisis untuk nilai beban pada setiap model portal :

Tabel 4.4 Hasil nilai beban.

No	Model	Input Beban (N)	Step Time	Nilai beban sampai runtuh (N)
1	Konsentris	610000	0.846	516060
2	Eksentris 60 cm	610000	0.4534	276574
3	Eksentris 120 cm	610000	0.4397	268217

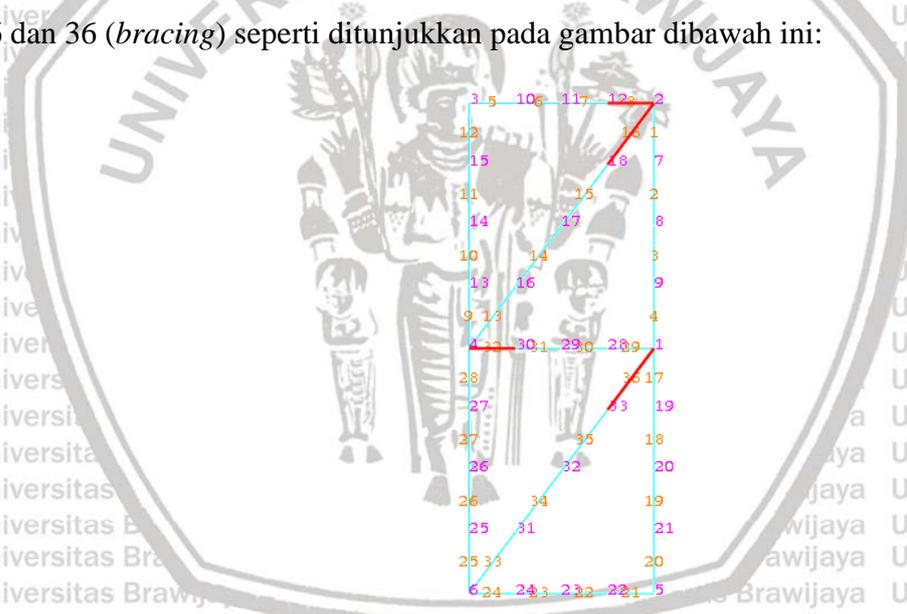
4.4 Hasil Analisis pada Portal 2 Lantai *Bracing* Diagonal Eksentris Dua Arah

Analisis dilakukan dengan mempertimbangan variasi *meshing* pada portal yaitu *meshing* rapat (25 per elemen) dan *meshing* renggang (4 per elemen). Elemen yang ditinjau untuk portal 2 lantai yaitu 2 elemen di lantai 1 dan 2 elemen di lantai 2 dengan pemilihan elemen pada tiap lantai di bagian *link beam* dan *bracing* portal.

4.4.1 Portal Eksentrisitas 0 cm

A. Meshing 4

Elemen yang digunakan pada portal konsentris yaitu elemen 8 dan 32 (balok), elemen 16 dan 36 (*bracing*) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

Gambar 4.7 Elemen kritis portal eksentris 0 cm (*meshing* 4).

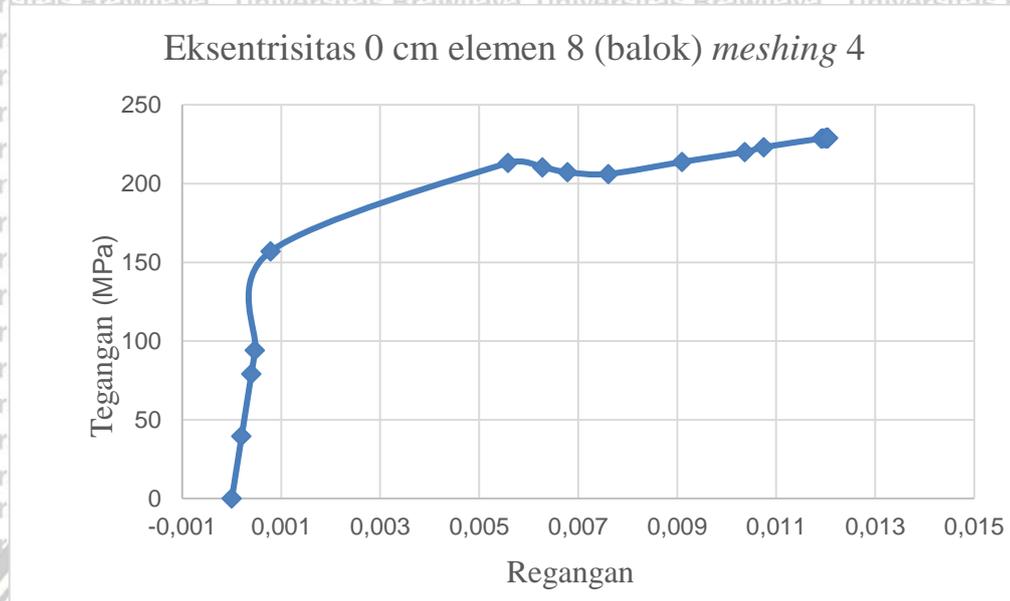
Hasil analisis menunjukkan pada portal konsentris nilai dari *step time* sebesar 0,8460 dan nilai tegangan-regangan yang terjadi seperti pada **Tabel 4.5** :

Tabel 4.5 Nilai Tegangan-Regangan portal konsentris *meshing* 4.

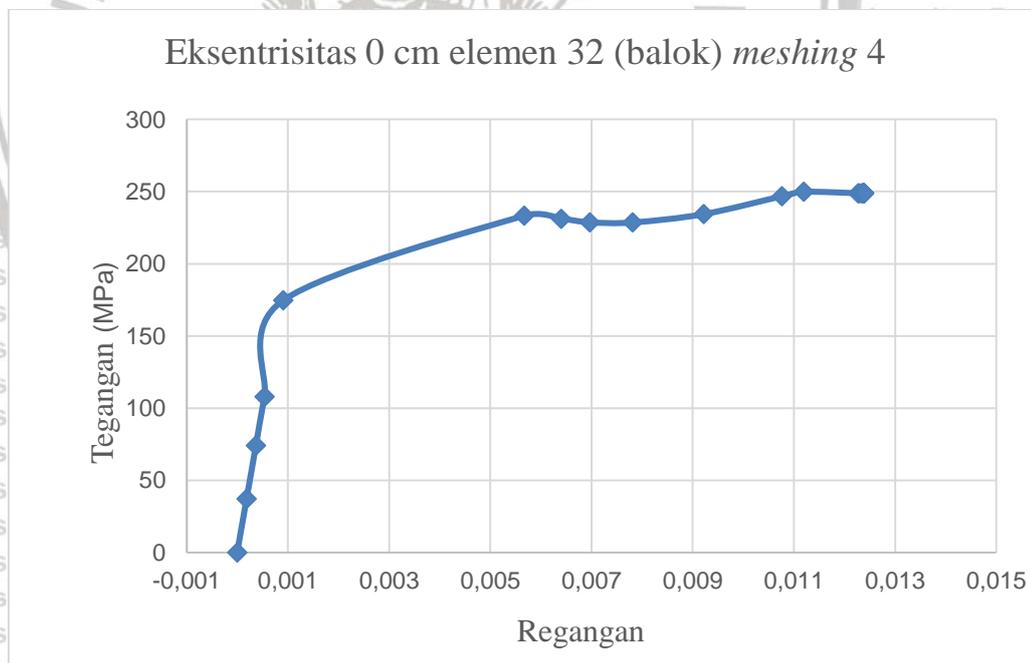
No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	8	Balok	229,0576	0,01204
2	32	Balok	248,782	0,01238
3	16	<i>Bracing</i>	370,8	0,03348

4 36 *Bracing* 346,836 0,02912

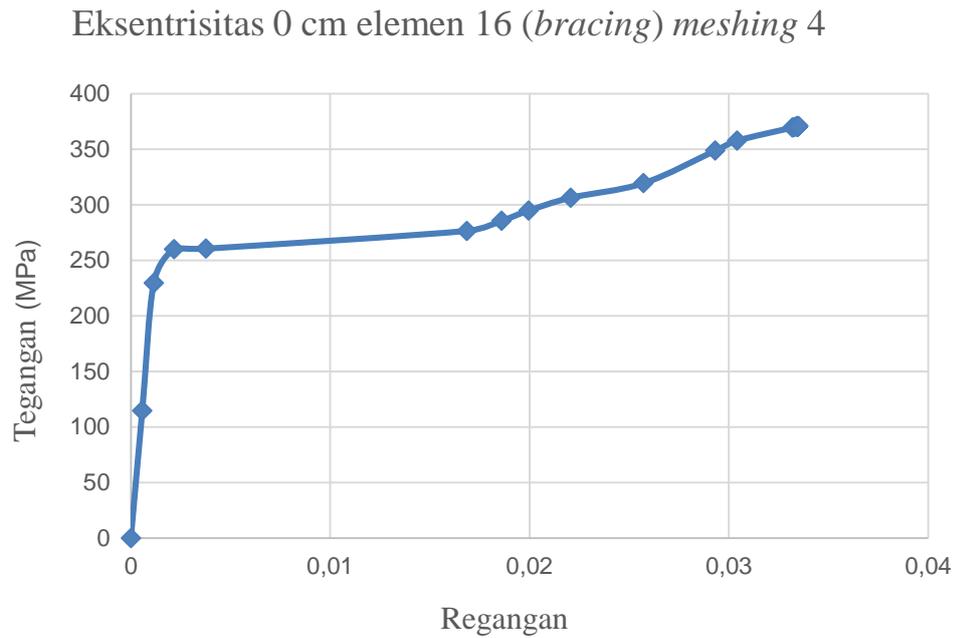
Perilaku tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dilihat melalui grafik dibawah ini :



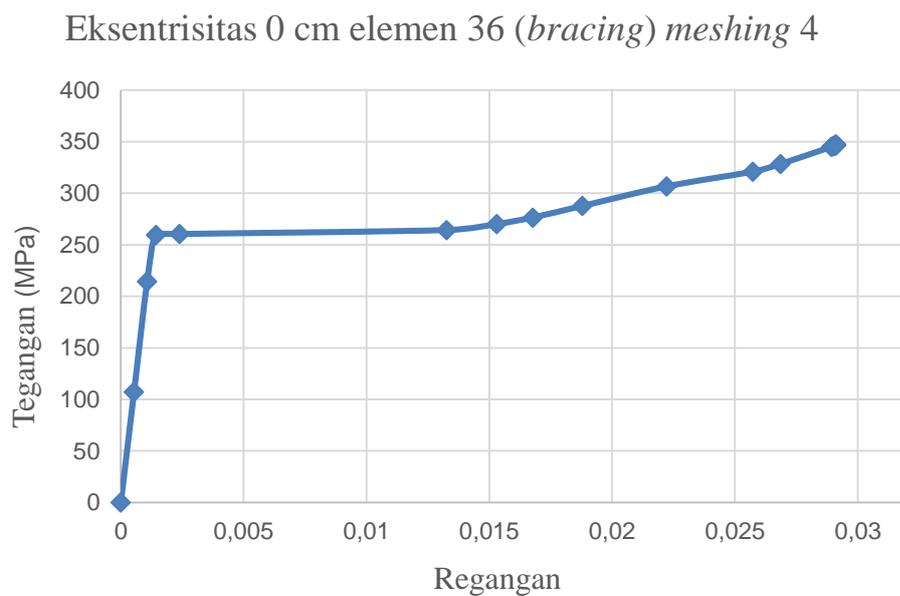
Gambar 4.8 Grafik tegangan dan regangan elemen 8.



Gambar 4.9 Grafik tegangan dan regangan elemen 32.



Gambar 4.10 Grafik tegangan dan regangan elemen 16.

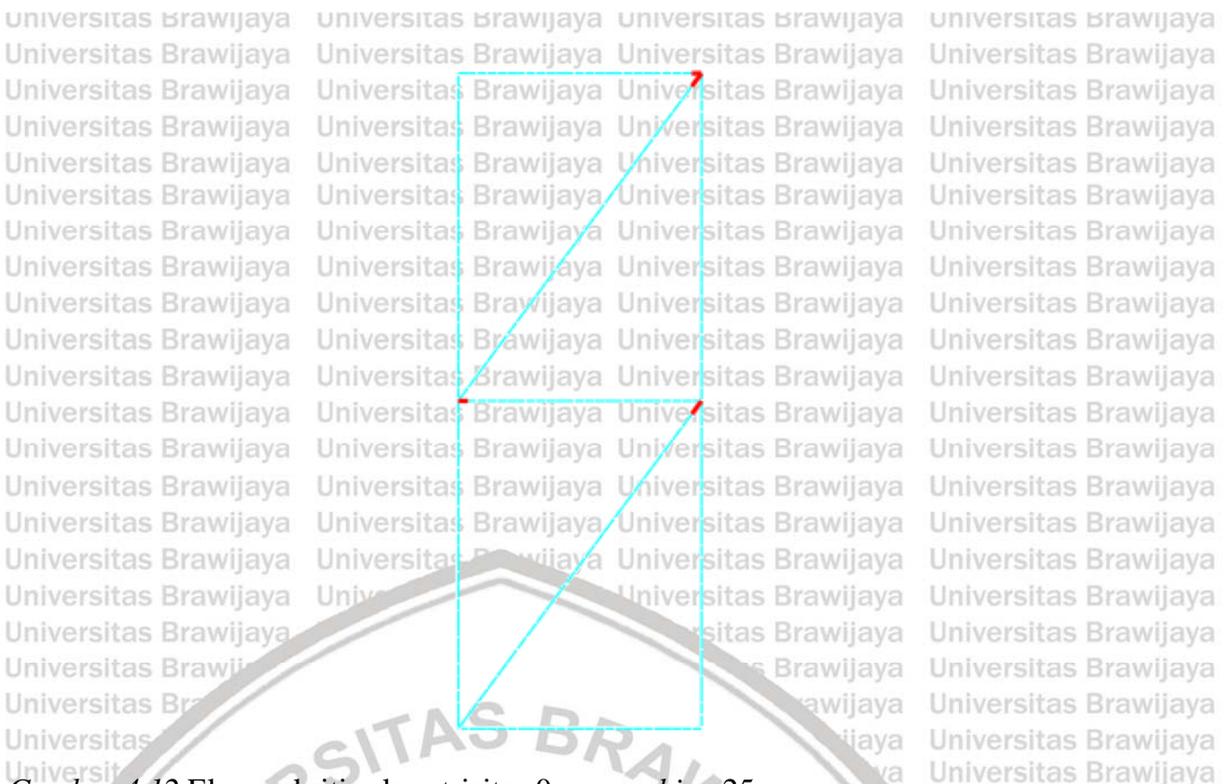


Gambar 4.11 Grafik tegangan dan regangan elemen 36.

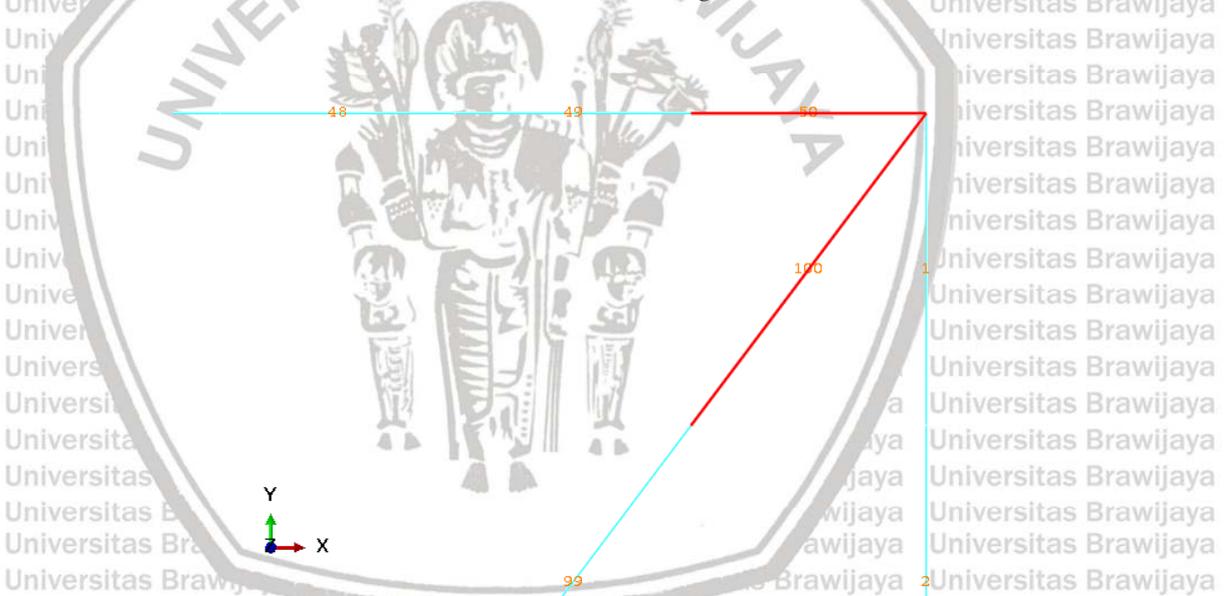
Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan dan regangan maksimum terletak pada elemen 16 sebesar 370,8 MPa serta regangan sebesar 0,03348.

B. Meshing 25

Elemen yang digunakan pada portal konsentris yaitu elemen 50 dan 200 (balok), elemen 100 dan 225 (*bracing*) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



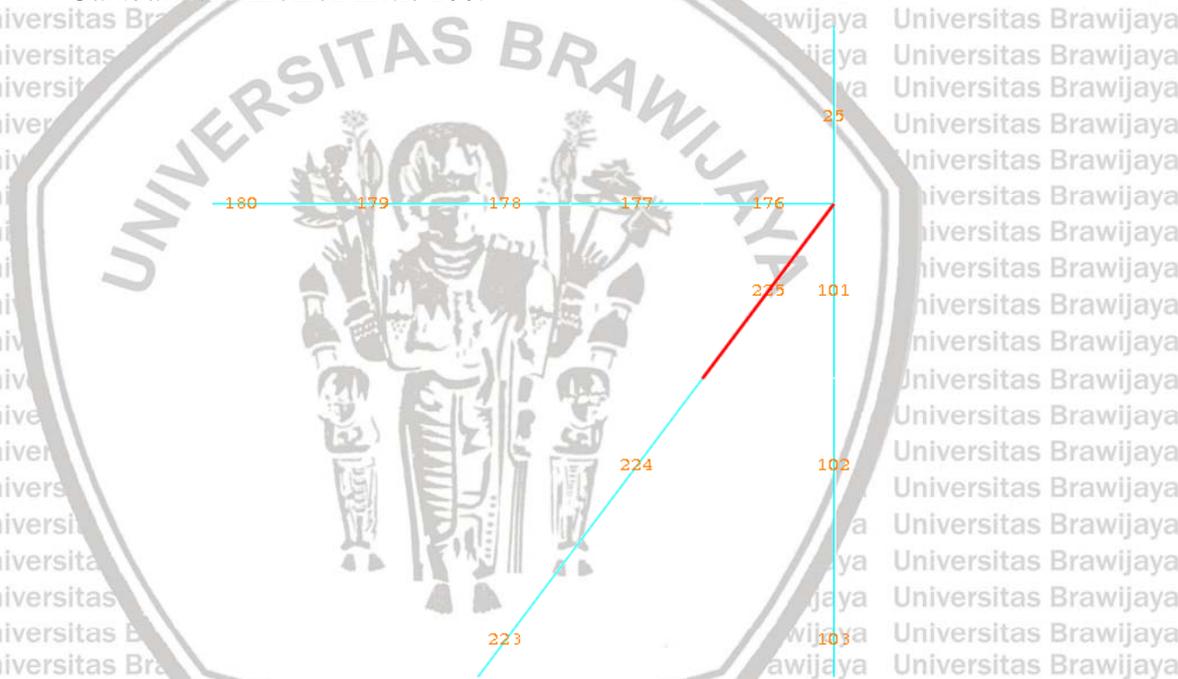
Gambar 4.12 Elemen kritis eksentrisitas 0 cm meshing 25.



Gambar 4.13 Elemen kritis 50 dan 100.



Gambar 4.14 Elemen kritis 200.



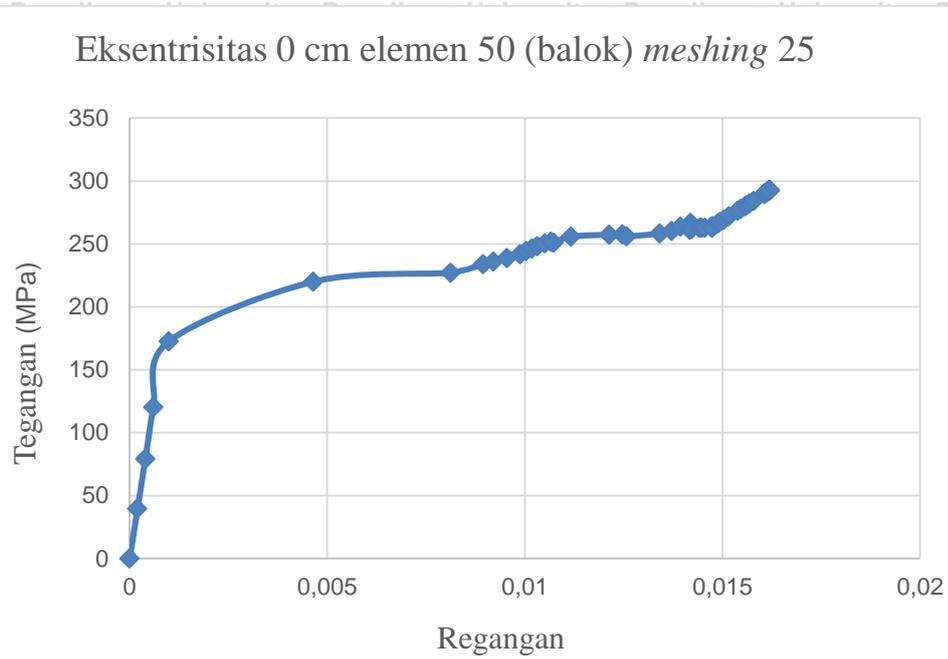
Gambar 4.15 Elemen kritis 225.

Hasil analisis menunjukkan pada portal konsentris nilai dari *step time* sebesar 0,8591 dan nilai tegangan-regangan yang terjadi seperti pada **Tabel 4.6** :

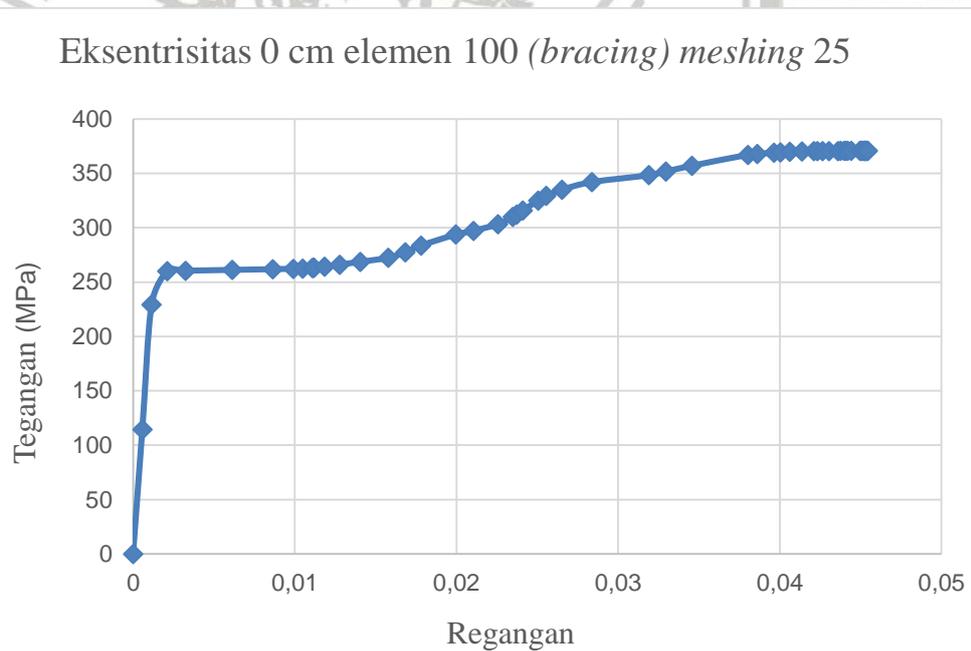
Tabel 4.6 Nilai Tegangan-Regangan portal konsentris *meshing* 25.

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	50	Balok	292,4177	0,0161
2	200	Balok	307,63	0,01858
3	100	<i>Bracing</i>	370,8	0,04543
4	225	<i>Bracing</i>	367,02	0,04535

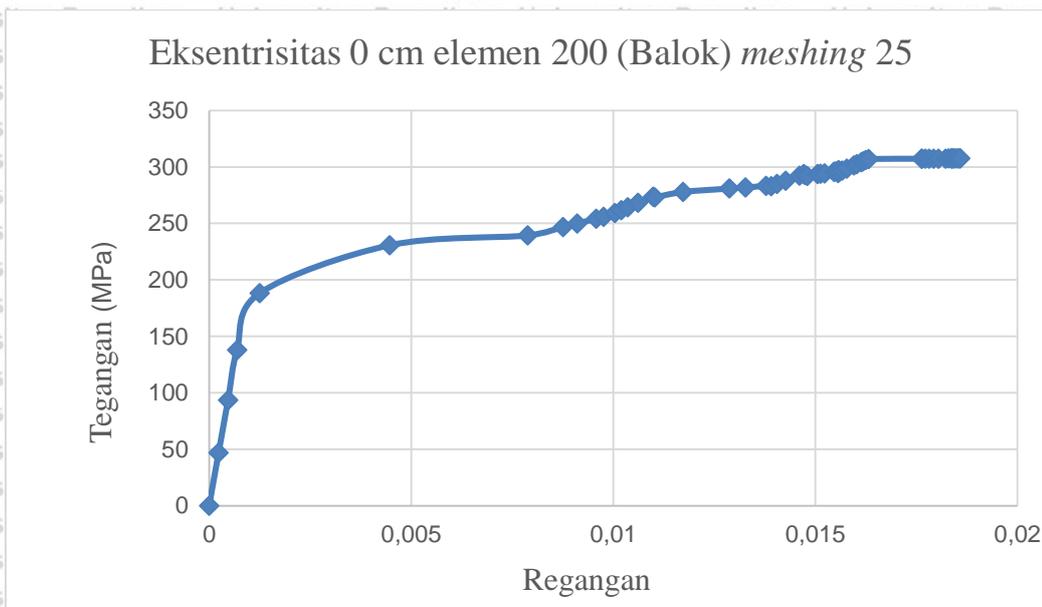
Perilaku tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dilihat melalui grafik dibawah ini :



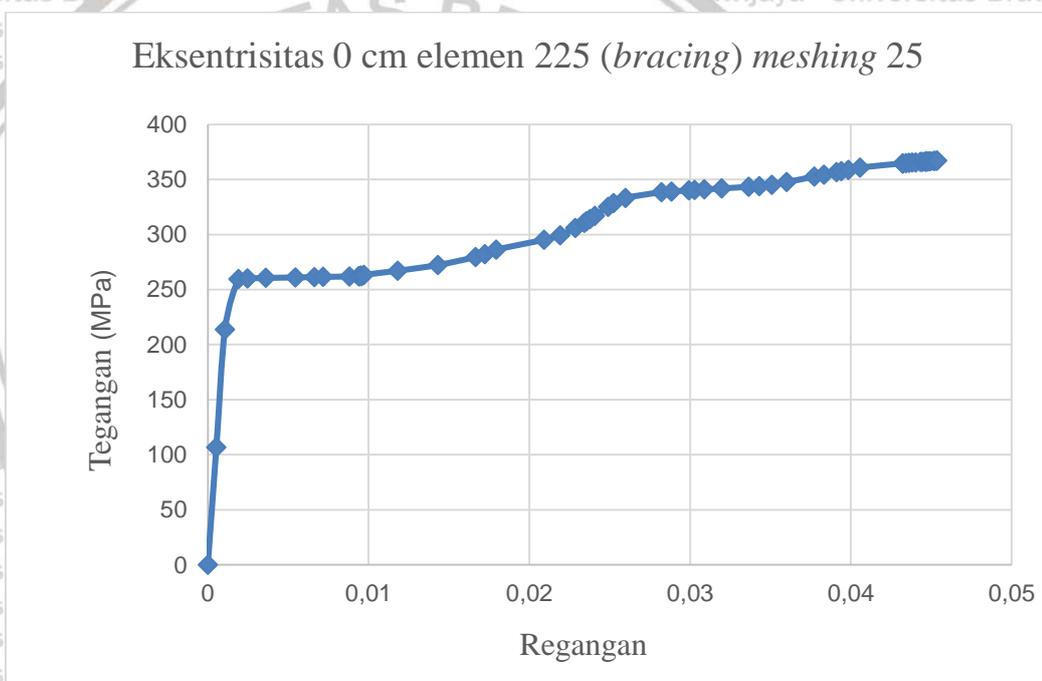
Gambar 4.16 Grafik tegangan dan regangan elemen 50.



Gambar 4.17 Grafik tegangan dan regangan elemen 100.



Gambar 4.18 Grafik tegangan dan regangan elemen 200.



Gambar 4.19 Grafik tegangan dan regangan elemen 225.

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan dan regangan maksimum terletak pada elemen 100 sebesar 370,8 MPa dan 0,04543.

4.4.2 Portal Eksentrisitas 60 cm

A. Meshing 4

Elemen yang digunakan pada portal eksentris yaitu elemen 4 dan 24 (balok), elemen 20 dan 30 (bracing) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



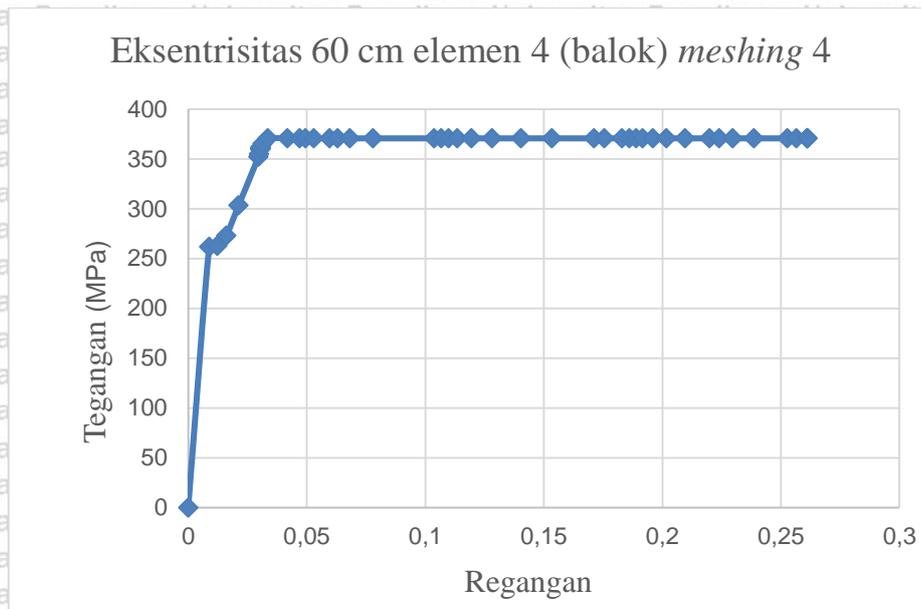
Gambar 4.20 Elemen kritis portal eksentris 60 cm (*meshing* 4).

Hasil analisis menunjukkan pada portal eksentrisitas 60 cm nilai dari step time sebesar 0,4534 dan nilai tegangan-regangan yang terjadi seperti pada **Tabel 4.7** :

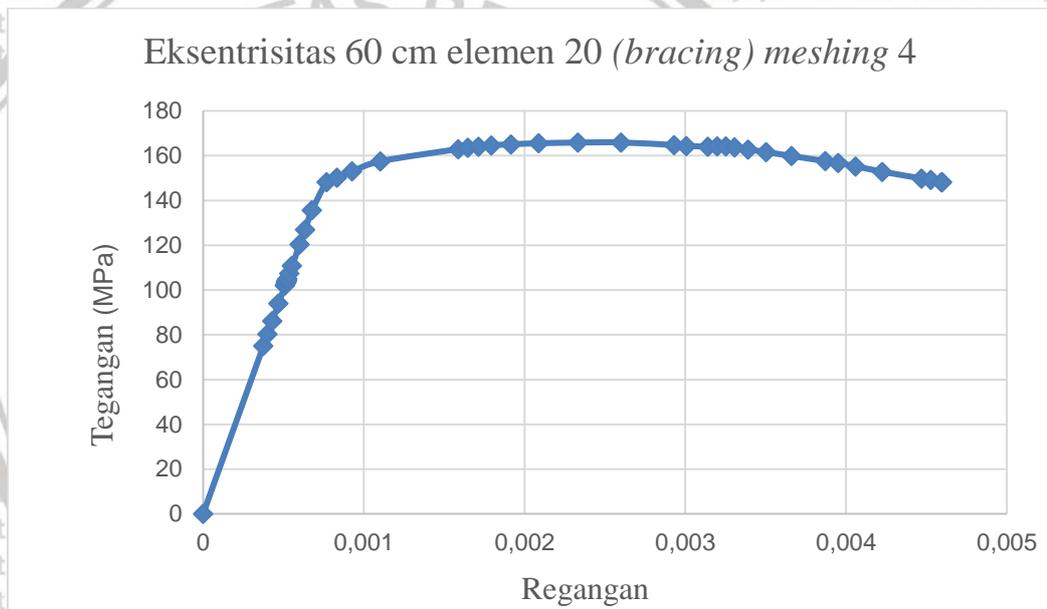
Tabel 4.7 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 60 cm *meshing* 4.

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	4	Balok	370,8	0,2611
2	24	Balok	370,8	0,1948
3	20	Bracing	148,24	0,0044
4	30	Bracing	130,6	0,0021

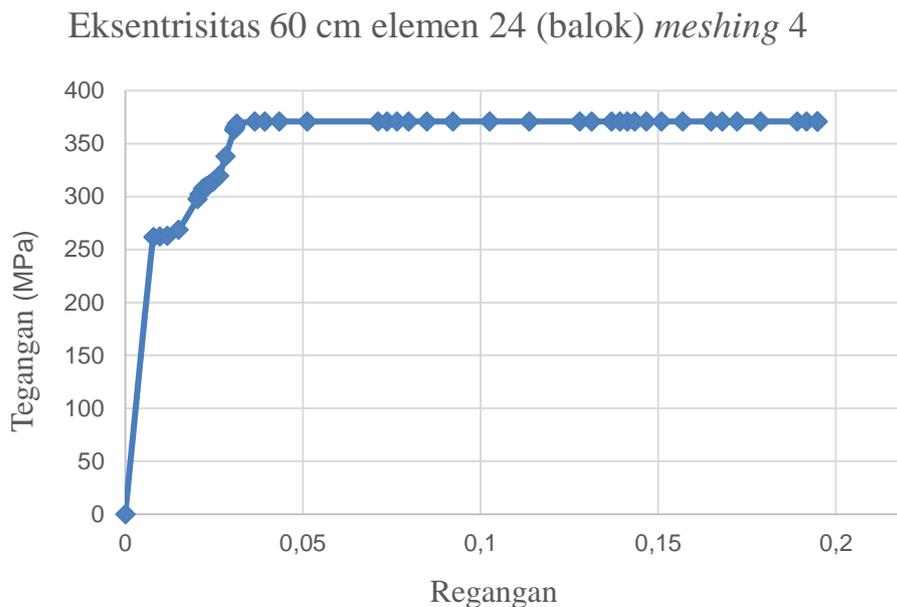
Perilaku tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dilihat melalui grafik dibawah ini :



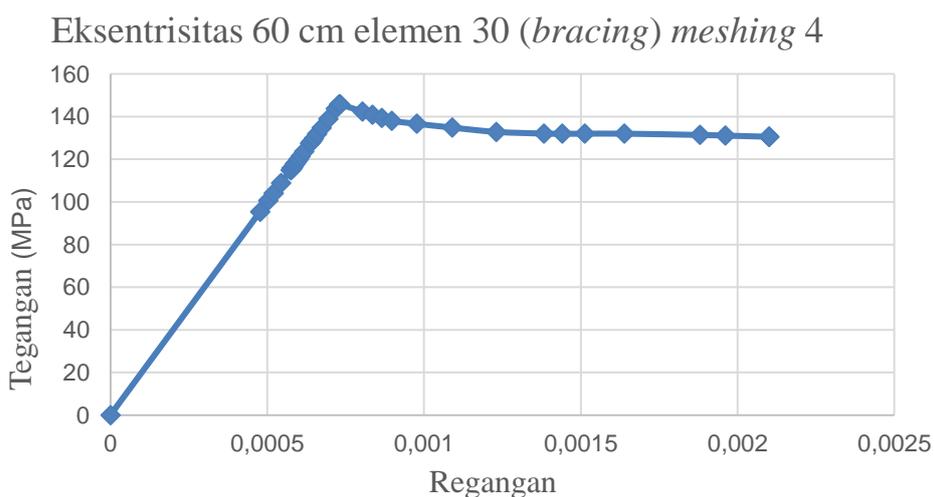
Gambar 4.21 Grafik tegangan dan regangan elemen 4.



Gambar 4.22 Grafik tegangan dan regangan elemen 20.



Gambar 4.23 Grafik tegangan dan regangan elemen 24.

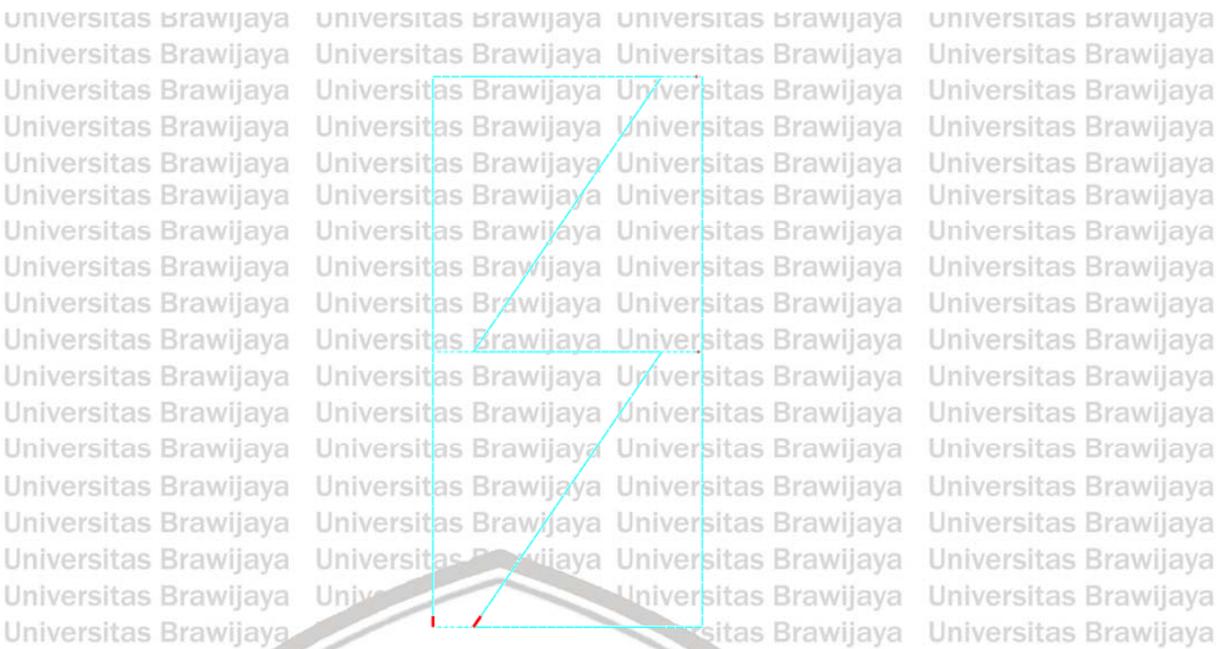


Gambar 4.24 Grafik tegangan dan regangan elemen 30.

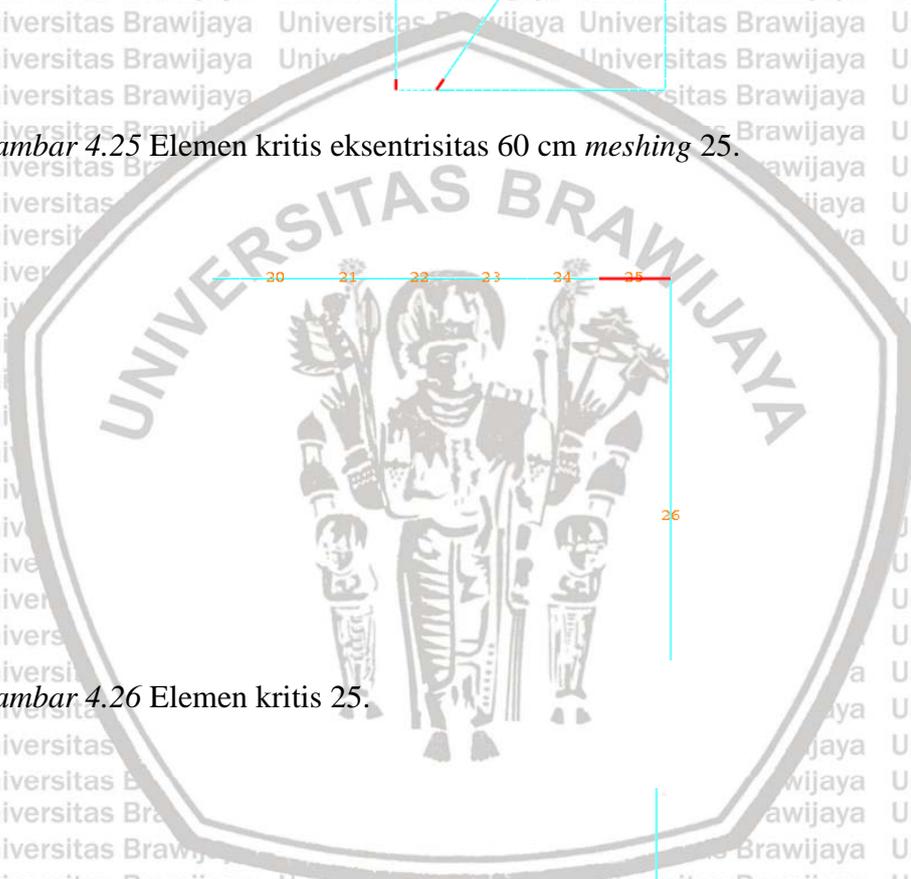
Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan dan regangan maksimum terletak pada elemen 4 dan 24 sebesar 370,8 MPa serta regangan sebesar 0,261 dan 0,194.

B. Meshing 25

Elemen yang digunakan pada portal eksentris yaitu elemen 25 dan 150 (balok), elemen 125 (*bracing*), dan elemen 276 (kolom) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.25 Elemen kritis eksentrisitas 60 cm meshing 25.



Gambar 4.26 Elemen kritis 25.



Gambar 4.27 Elemen kritis 150.





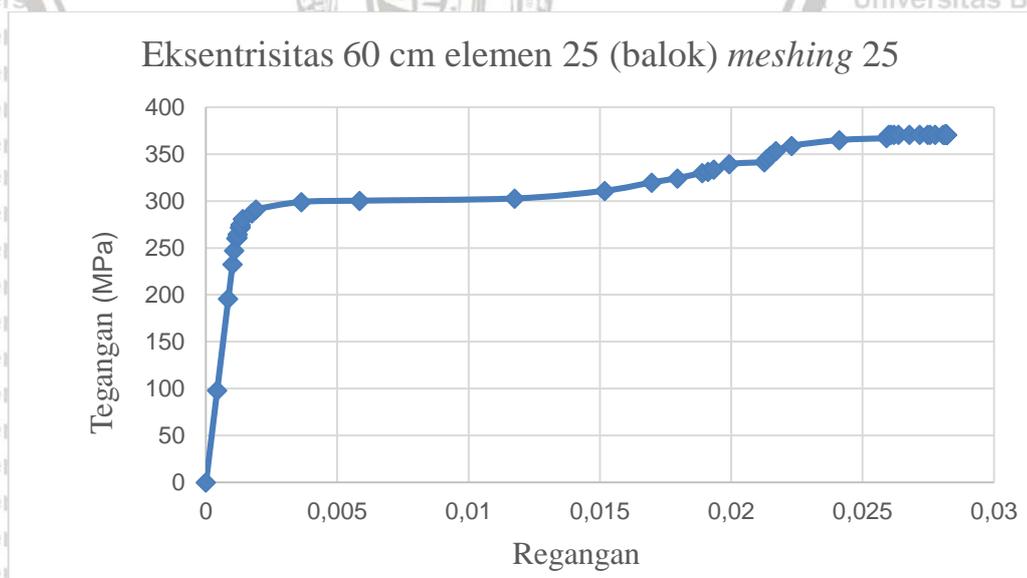
Gambar 4.28 Elemen kritis 125 dan 276.

Hasil analisis menunjukkan pada portal eksentris nilai dari *step time* sebesar 0,3699 dan nilai tegangan-regangan yang terjadi seperti pada **Tabel 4.8** :

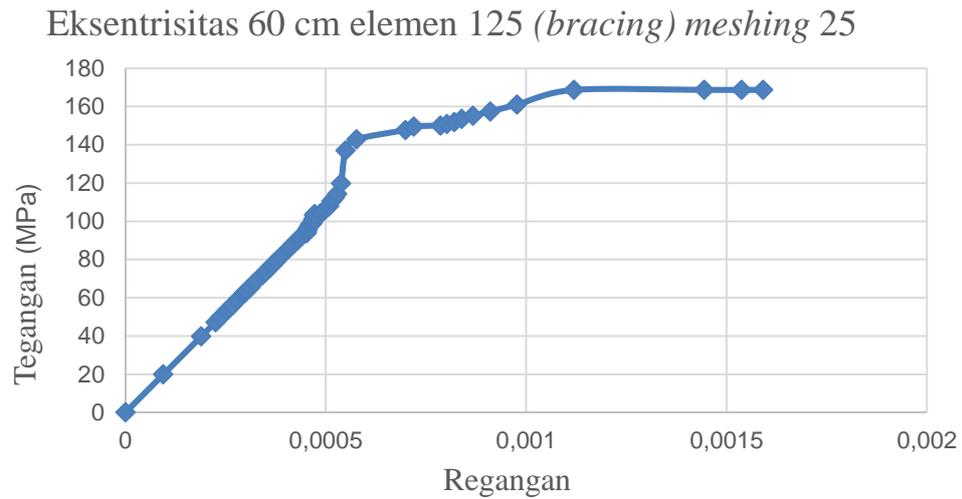
Tabel 4.8 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 60 cm *meshing* 25.

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	25	Balok	370,8	0,0282
2	150	Balok	370,8	0,0296
3	125	<i>Bracing</i>	168,6759	0,0159
4	276	Kolom	262,18	0,0104

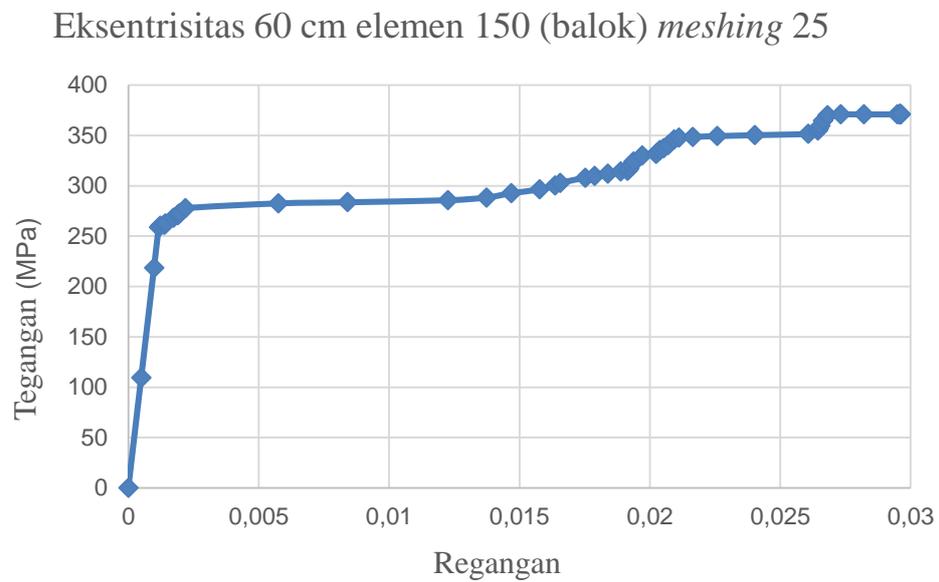
Perilaku tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dilihat melalui grafik dibawah ini :



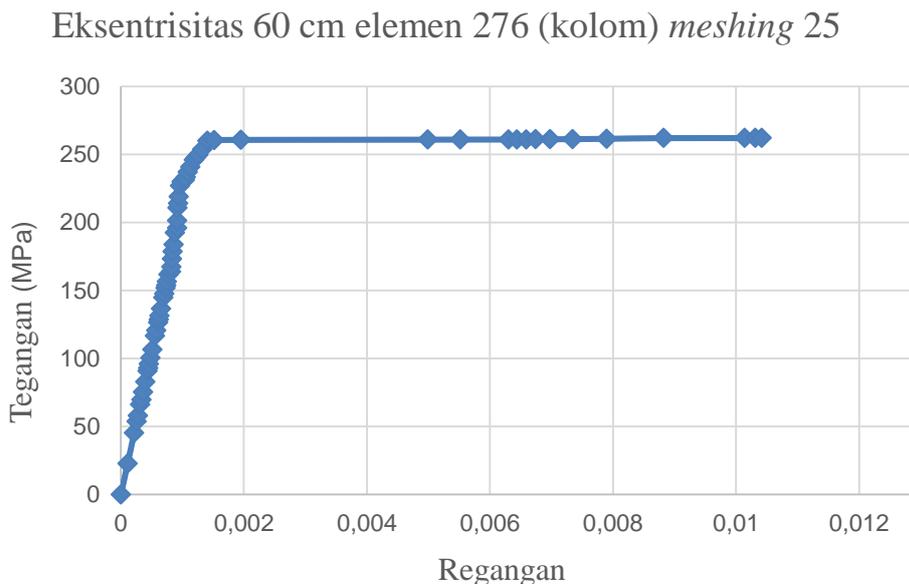
Gambar 4.29 Grafik tegangan dan regangan elemen 25.



Gambar 4.30 Grafik tegangan dan regangan elemen 125.



Gambar 4.31 Grafik tegangan dan regangan elemen 150.



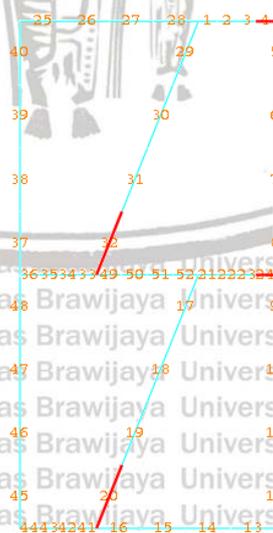
Gambar 4.32 Grafik tegangan dan regangan elemen 276.

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan dan regangan maksimum terletak pada elemen 25 dan 125 sebesar 370,8 MPa dan nilai regangan sebesar 0,0282 dan 0,0296.

4.4.3 Portal Eksentrisitas 120 cm

A. Meshing 4

Elemen yang digunakan pada portal eksentris yaitu elemen 4 dan 24 (balok), elemen 20 dan 32 (*bracing*) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



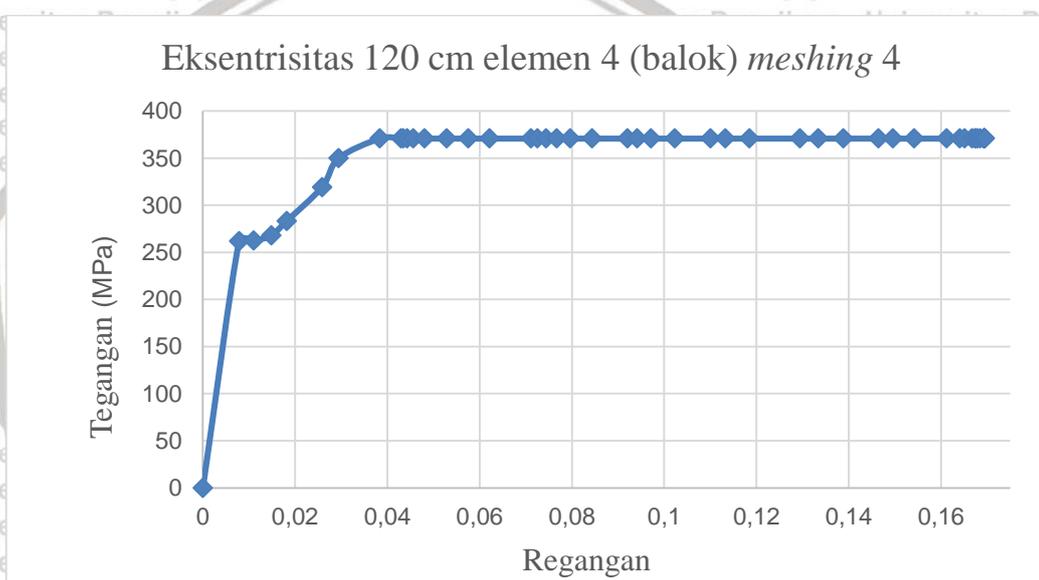
Gambar 4.33 Elemen kritis portal eksentris 120 cm (*meshing* 4).

Hasil analisis menunjukkan pada portal eksentrisitas 120 cm nilai dari step time sebesar 0,4397 dan nilai tegangan-regangan yang terjadi seperti pada **Tabel 4.9** :

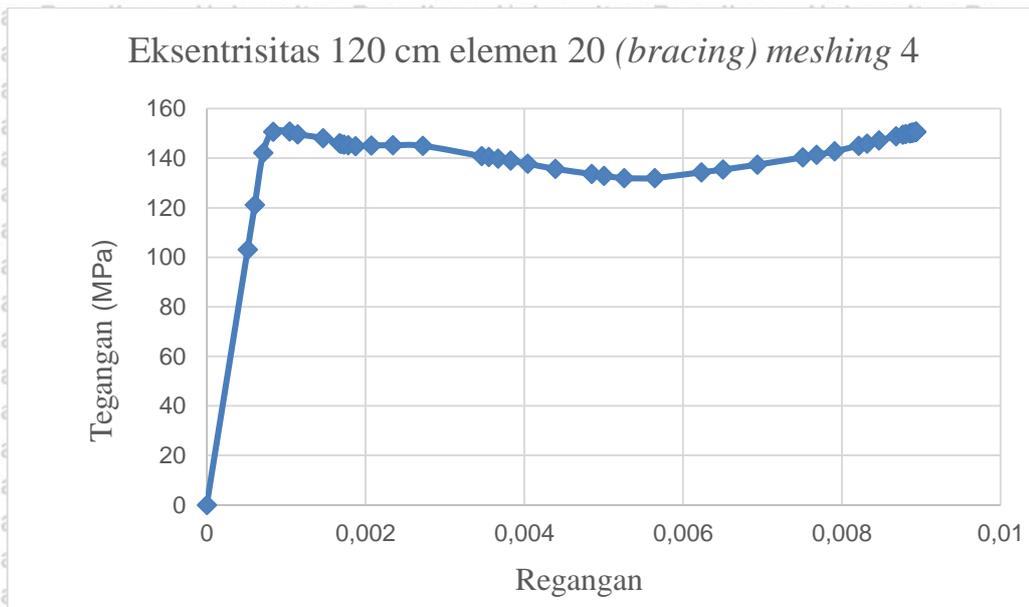
Tabel 4.9 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 120 cm *meshing* 4.

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	4	Balok	370,8	0,1694
2	24	Balok	370,8	0,08759
3	20	Bracing	150,598	0,0089
4	32	Bracing	167,765	0,0098

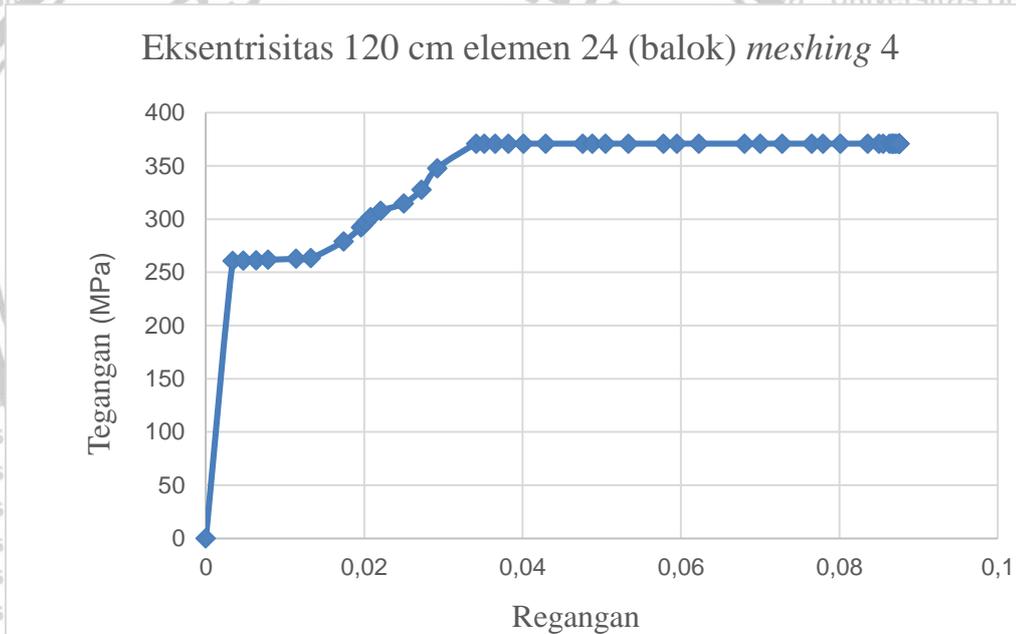
Perilaku tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dilihat melalui grafik dibawah ini :



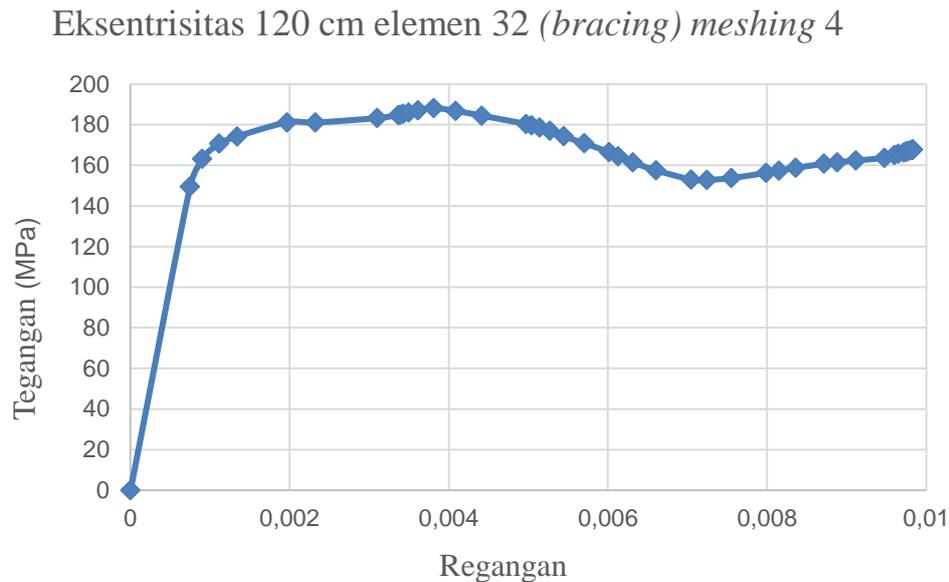
Gambar 4.34 Grafik tegangan dan regangan elemen 4.



Gambar 4.35 Grafik tegangan dan regangan elemen 20.



Gambar 4.36 Grafik tegangan dan regangan elemen 24.

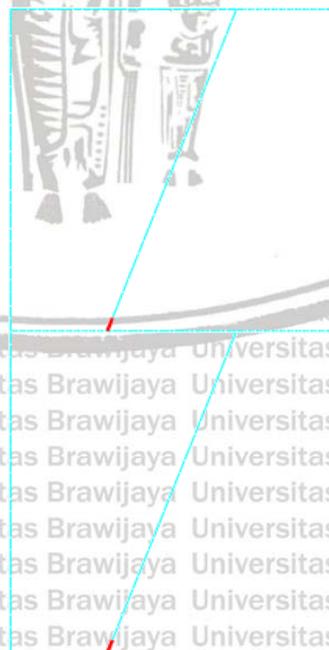


Gambar 4.37 Grafik tegangan dan regangan elemen 32.

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan dan regangan maksimum terletak pada elemen 4 dan 24 sebesar 370,8 MPa serta regangan sebesar 0,1694 dan 0,0876.

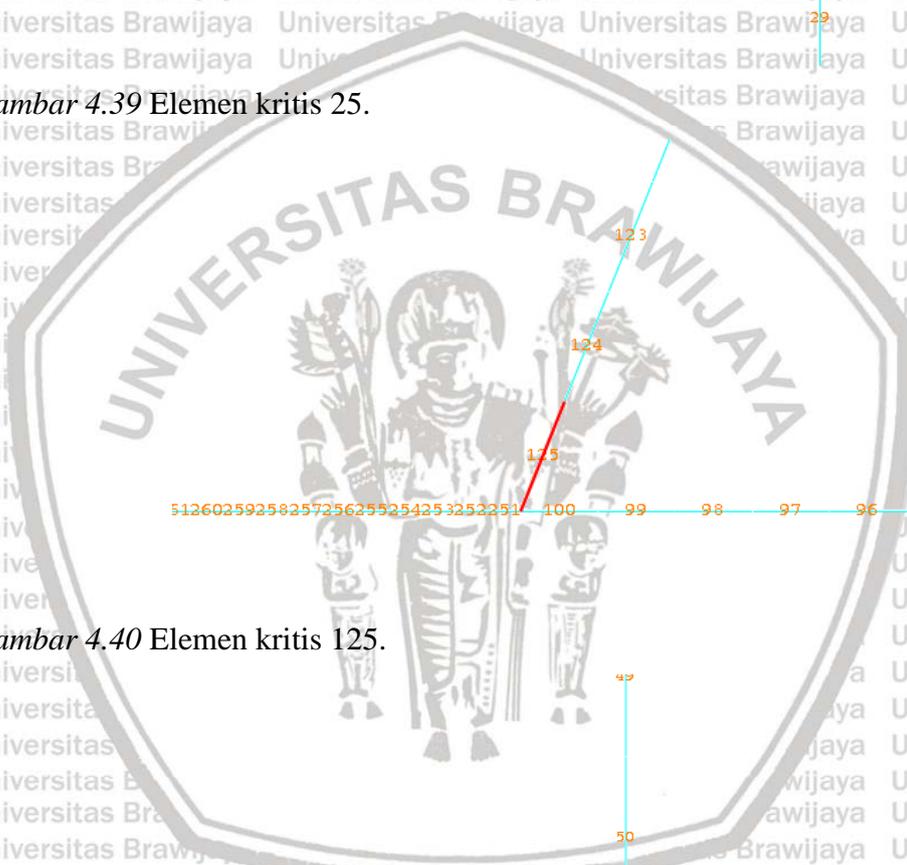
C. Meshing 25

Elemen yang digunakan pada portal eksentris yaitu elemen 25 dan 150 (balok), elemen 125 dan 200 (*bracing*) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.38 Elemen kritis eksentrisitas 120 cm meshing 25.

Gambar 4.39 Elemen kritis 25.



Gambar 4.40 Elemen kritis 125.

Gambar 4.41 Elemen kritis 150.





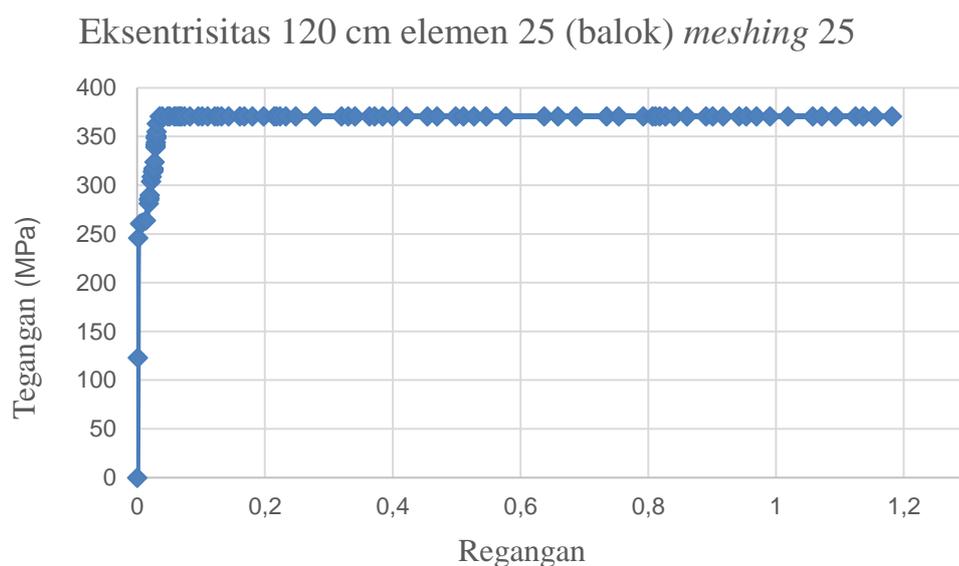
Gambar 4.42 Elemen kritis 200.

Hasil analisis menunjukkan pada portal konsentris nilai dari *step time* sebesar 0,3922 dan nilai tegangan-regangan yang terjadi seperti pada **Tabel 4.10** :

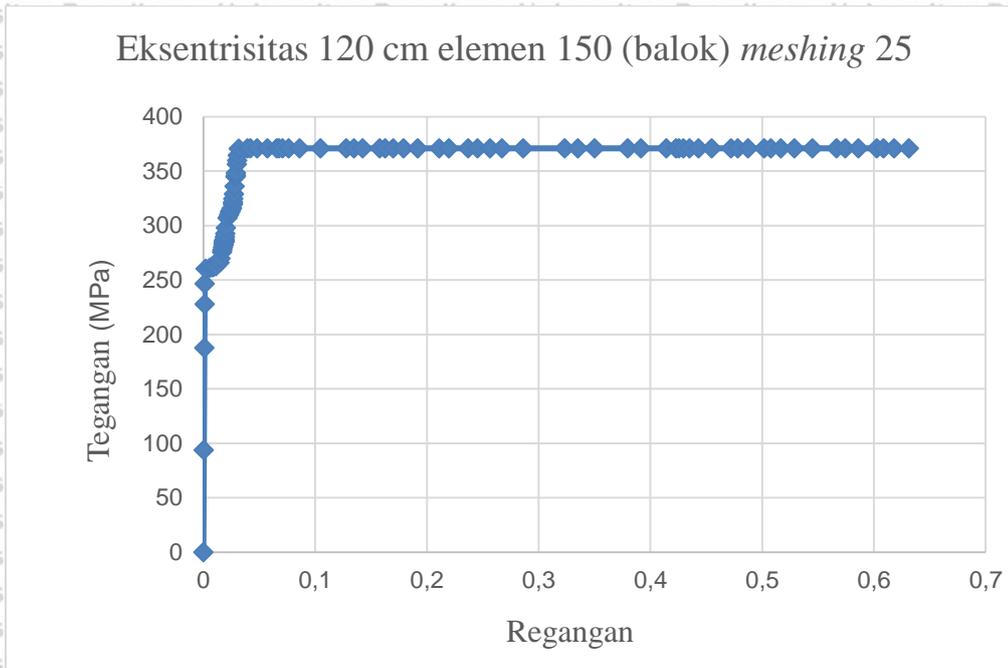
Tabel 4.10 Nilai Tegangan-Regangan portal eksentrisitas 120 cm *meshing* 25.

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	25	Balok	370,8	1,18
2	150	Balok	370,8	0,6313
3	125	Bracing	277,35	0,0308
4	200	Bracing	309,89	0,0284

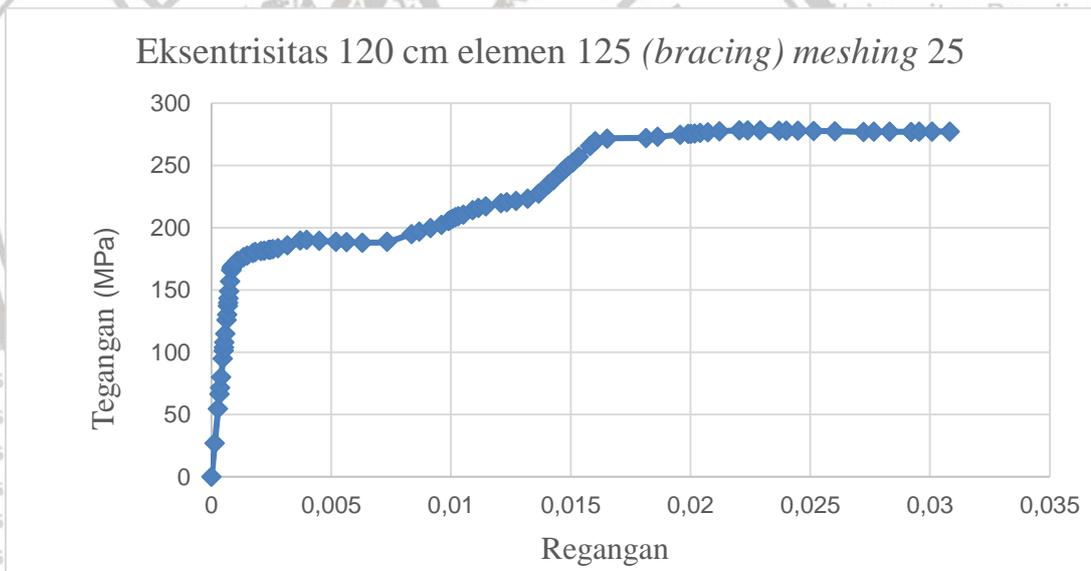
Perilaku tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dilihat melalui grafik dibawah ini :



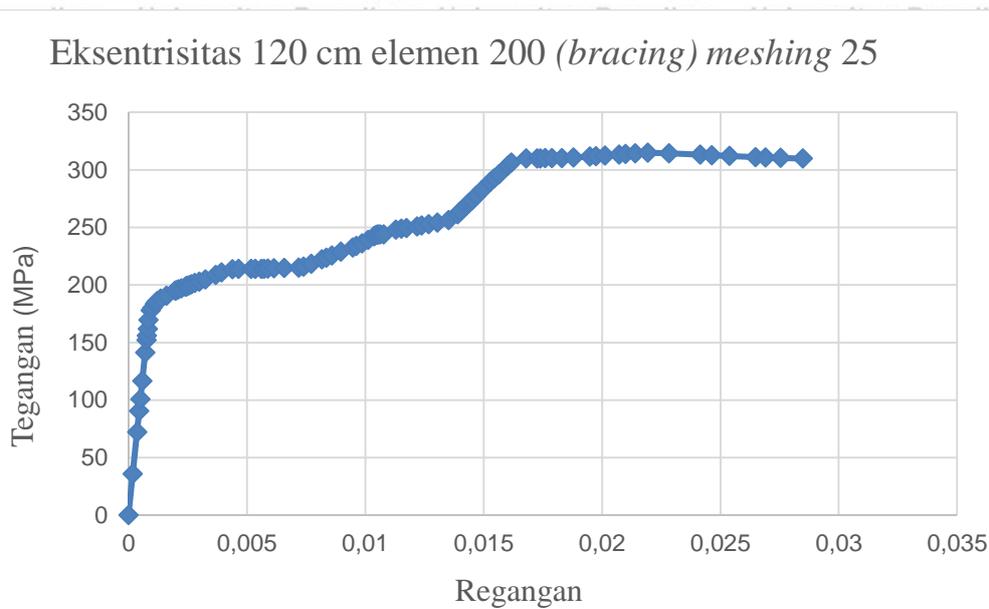
Gambar 4.43 Grafik tegangan dan regangan elemen 25.



Gambar 4.44 Grafik tegangan dan regangan elemen 150.



Gambar 4.45 Grafik tegangan dan regangan elemen 125.

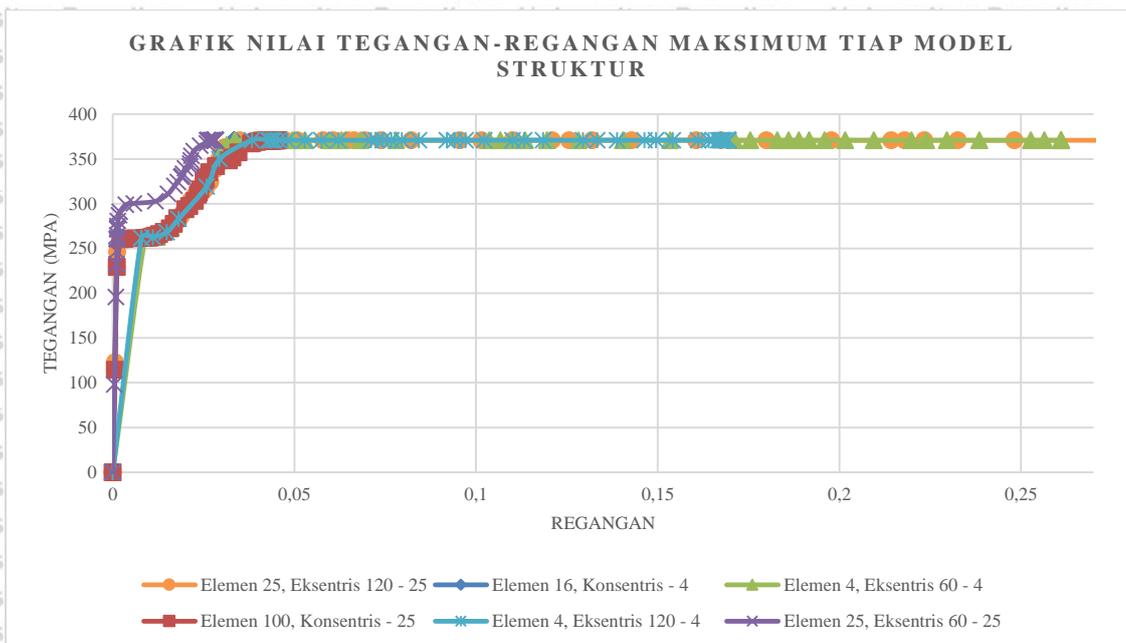


Gambar 4.46 Grafik tegangan dan regangan elemen 200.

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan dan regangan maksimum terletak pada elemen 25 dan 150 sebesar 370,8 MPa dan regangan sebesar 1,18 dan 0,6313.

4.5 Analisis Pengaruh Eksentrisitas terhadap Tegangan dan Regangan

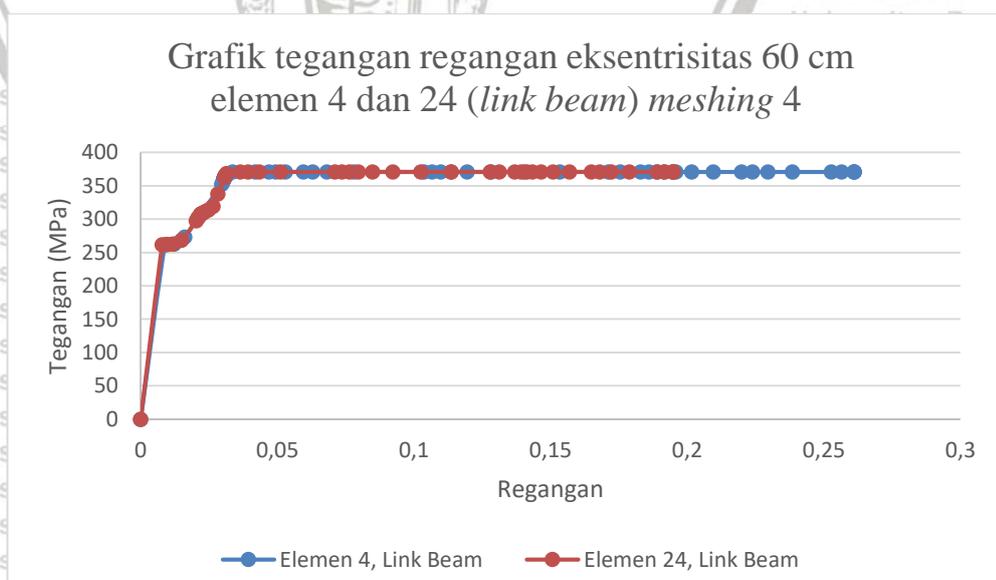
Penggunaan *short link* dan *long link* di harapkan mampu memberikan perbedaan yang signifikan untuk melihat perilaku portal dengan eksentrisitas yang diberikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan adanya eksentrisitas mempengaruhi nilai tegangan dan regangan yang terjadi, berikut di gambarkan perilaku tegangan dan regangan pada tiap eksentrisitas untuk setiap *meshing* pada elemen yang mengalami tegangan dan regangan maksimum yaitu pada *link beam* lantai 2 untuk portal eksentris dan pada *bracing* untuk portal konsentris :



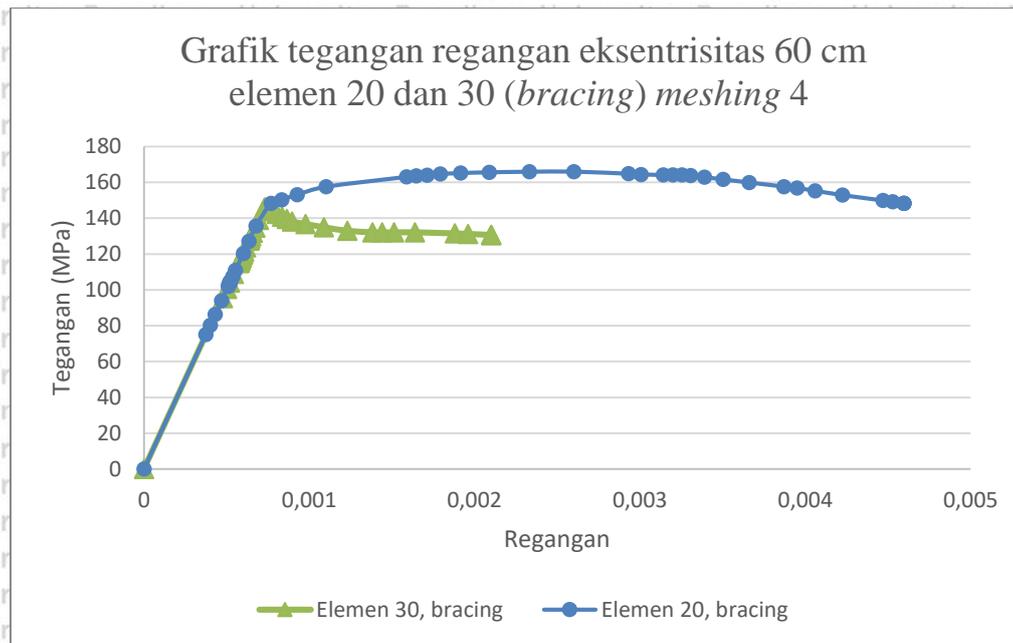
Gambar 4.47 Grafik tegangan dan regangan maksimum.

Dari Gambar 4.47 menunjukkan bahwa dengan eksentrisitas yang panjang (*long link*) terjadi tegangan dan regangan yang lebih besar yaitu terjadi tegangan senilai 370,8 MPa dan regangan sebesar 1,181.

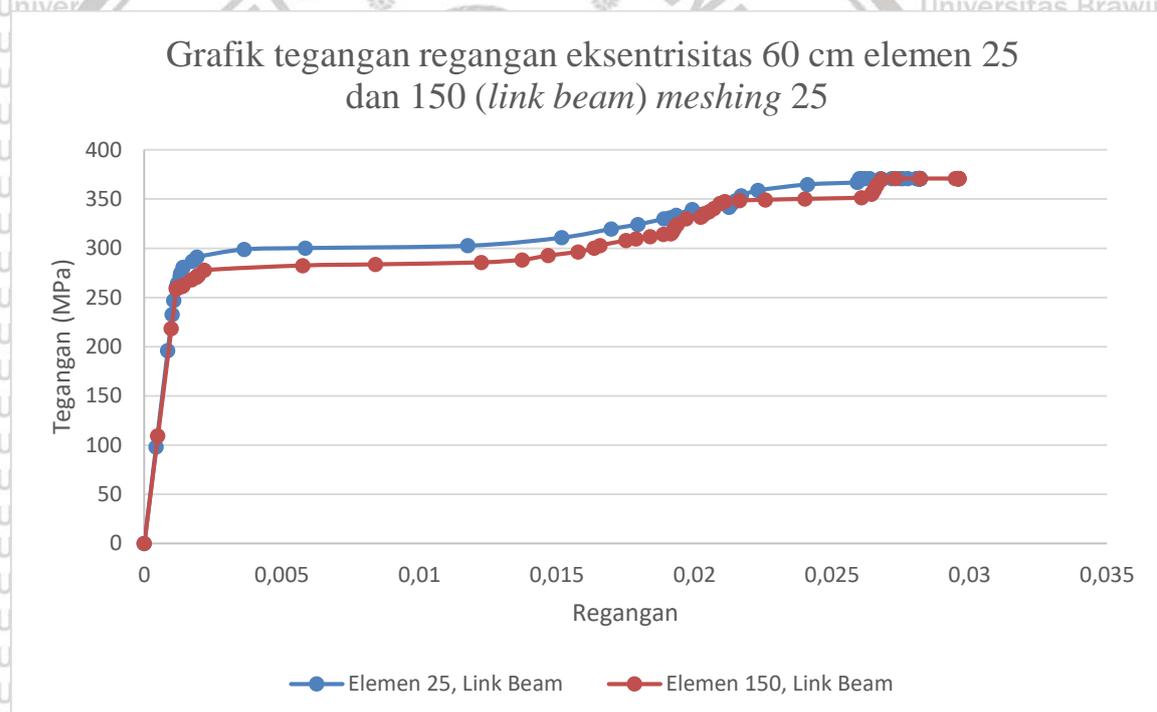
Pada elemen *link beam* pun model menunjukkan perilaku yang baik karena terjadi penurunan tegangan yang harus ditahan oleh *bracing* pada portal eksentrisitas 60 cm dan 120 cm sehingga *link beam* dapat bekerja secara maksimal dengan mengalami nilai tegangan dan regangan yang lebih besar dibanding elemen *bracing* seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



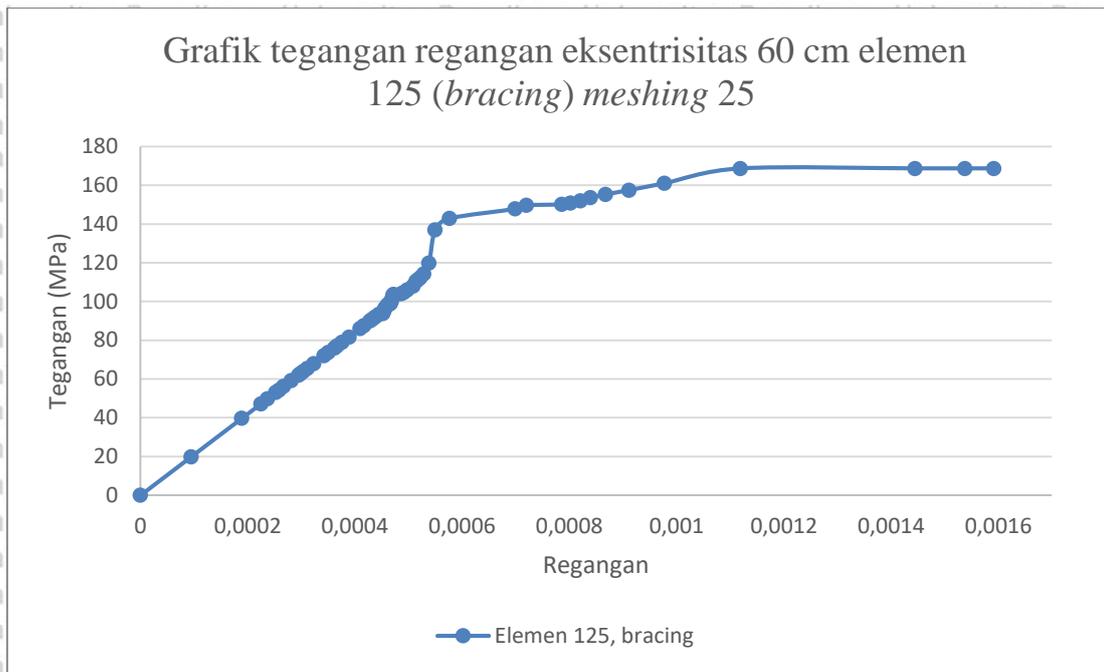
Gambar 4.48 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm *meshing* 4 pada *link beam*.



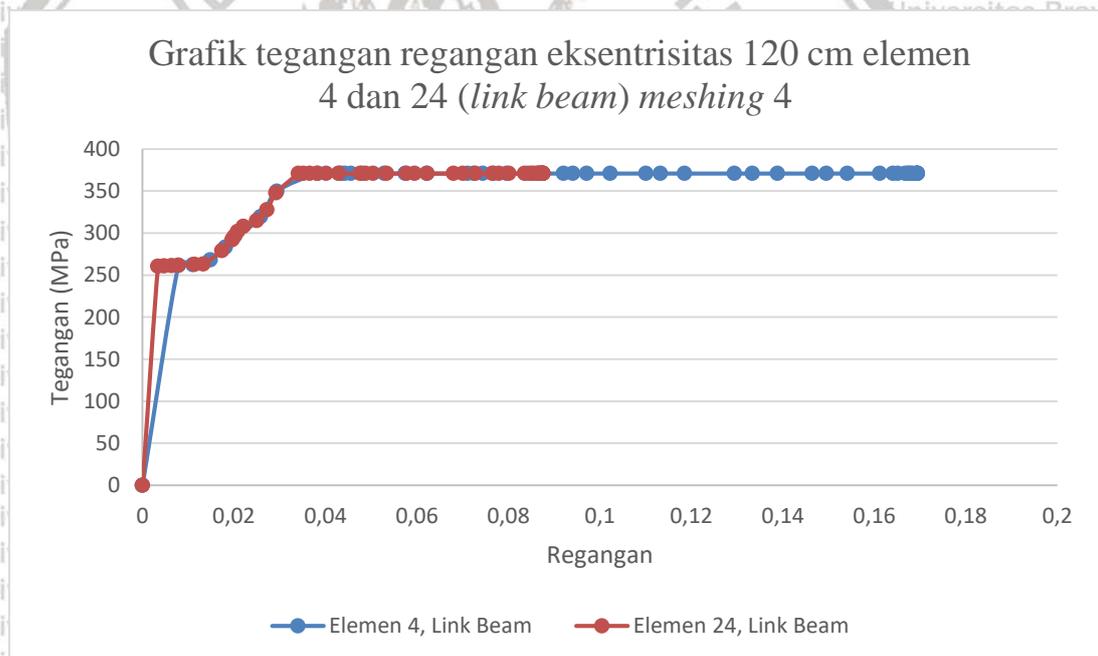
Gambar 4.49 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm *meshing* 4 pada *bracing*.



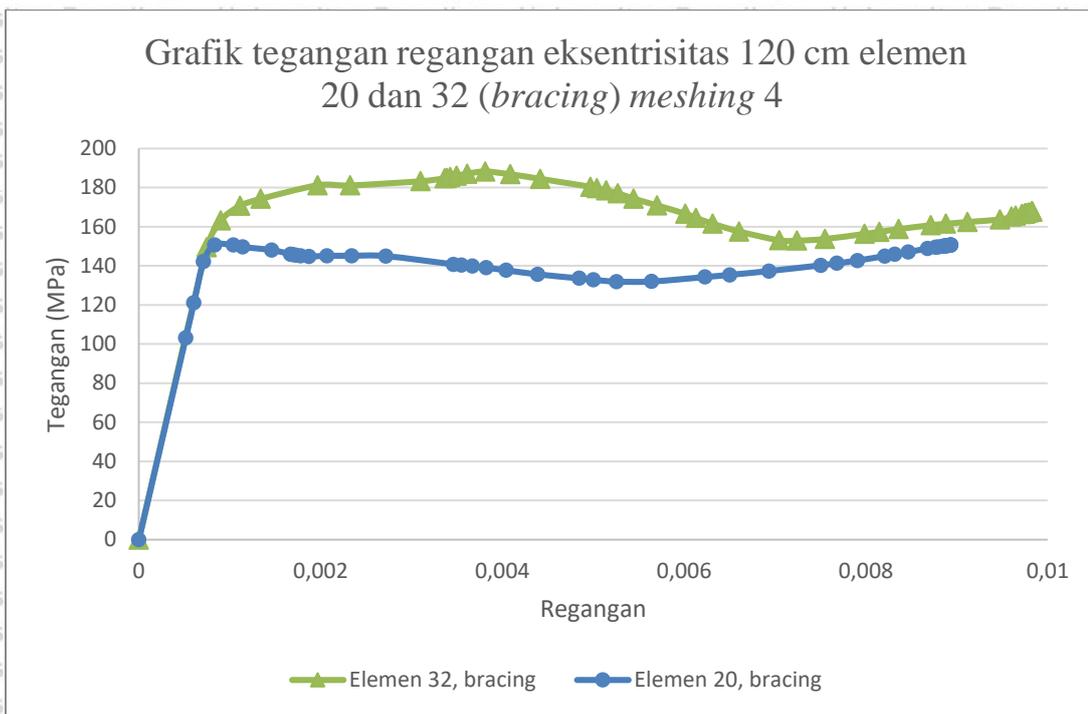
Gambar 4.50 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm *meshing* 25 pada *link beam*.



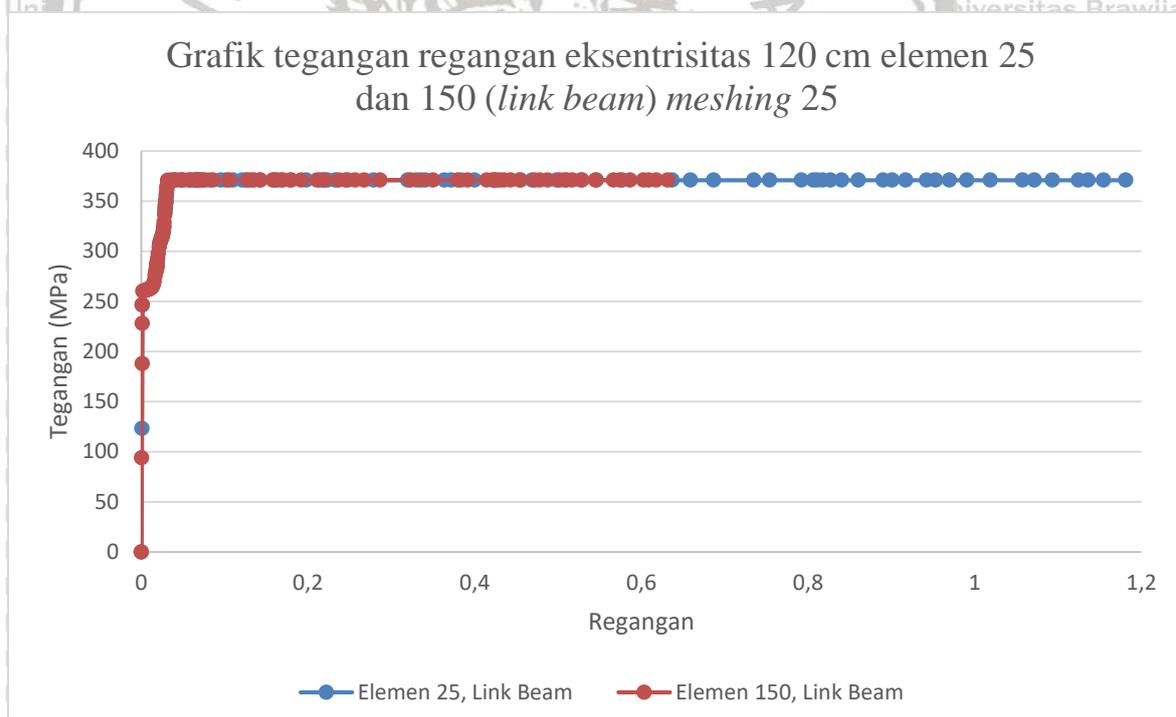
Gambar 4.51 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 60 cm *meshing* 25 pada *bracing*.



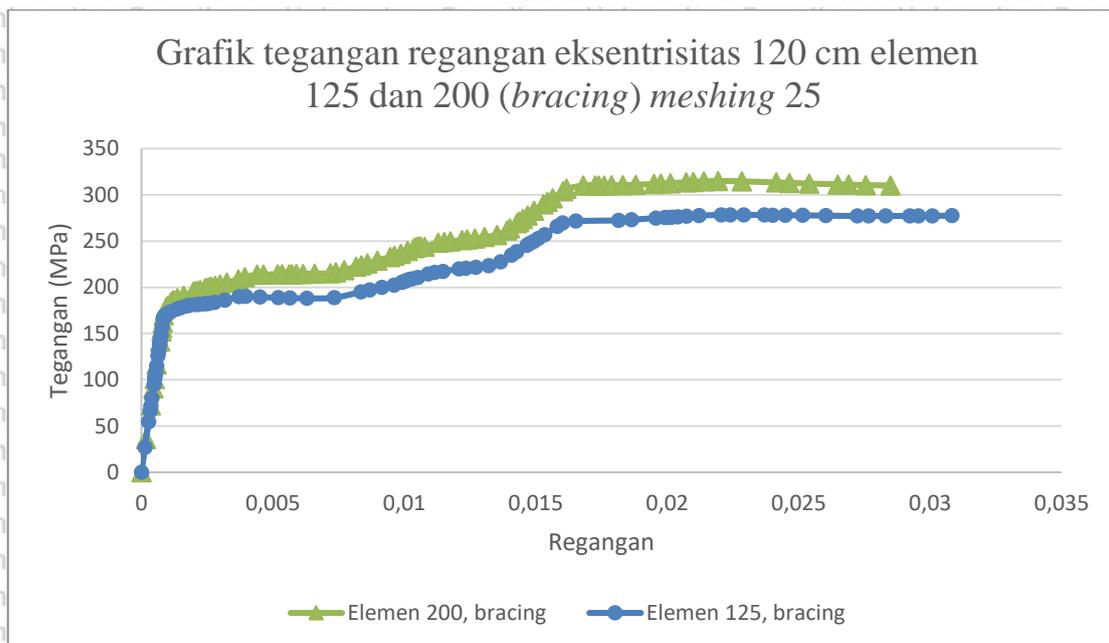
Gambar 4.52 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm *meshing* 4 pada *link beam*.



Gambar 4.53 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm *meshing* 4 pada *bracing*.



Gambar 4.54 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm *meshing* 25 pada *link beam*.



Gambar 4.55 Grafik tegangan dan regangan maksimum eksentrisitas 120 cm *meshing* 25 pada *bracing*.

4.6 Perbandingan Respon Struktur Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris 2

Arah Meshing Besar dan Kecil

Penggunaan *meshing* rapat dan *meshing* renggang bertujuan untuk melihat perilaku struktur, penggunaan yang lebih rapat akan menghasilkan nilai yang makin mendekati aslinya, pada portal diberikan *meshing* rapat dengan membagi tiap elemen menjadi 25 buah dan *meshing* renggang dengan membagi tiap elemen menjadi 4 buah. Hasil dari proses *meshing* untuk setiap model portal disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4.11 Nilai tegangan dan regangan pada elemen kritis.

Model	Elemen	Struktur	Meshing	Tegangan	Regangan
Konsentris	8	Link Beam lantai 2	4	229,057624	0,012046138
	50	Link Beam Lantai 2	25	292,417656	0,016189955
	16	Bracing Lantai 2	4	370,8	0,033485757
	100	Bracing Lantai 2	25	370,806256	0,04543492
	32	Link Beam lantai 1	4	248,78176	0,01238737
	200	Link Beam Lantai 1	25	307,631912	0,018584737
	36	Bracing Lantai 1	4	346,835712	0,0291207
Eksentrisitas 60 cm	225	Bracing Lantai 1	25	367,015264	0,045352791
	4	Link Beam Lantai 2	4	370,82088	0,261067264
	25	Link Beam Lantai 2	25	370,832592	0,028200887
	20	Bracing Lantai 1	4	148,23851	0,004596581
	125	Bracing Lantai 1	25	168,67598	0,001591515
	24	Link Beam Lantai 1	4	370,816112	0,194832198
	150	Link Beam Lantai 1	25	370,828528	0,029616972

Eksentrisitas 120 cm	4	Link Beam Lantai 2	4	370,8	0,169441447
	25	Link Beam Lantai 2	25	370,8	1,181116164
	32	Bracing Lantai 2	4	167,765654	0,009830862
	125	Bracing Lantai 2	25	277,350328	0,030827759
	24	Link Beam Lantai 1	4	370,8	0,087586794
	150	Link Beam Lantai 1	25	370,8	0,631348372
	20	Bracing Lantai 1	4	150,598126	0,008934666
	200	Bracing Lantai 1	25	309,89048	0,028489339

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa untuk penggunaan *meshing* rapat pada setiap model mempunyai nilai tegangan yang lebih besar dibanding dengan *meshing* renggang, untuk nilai regangan terjadi penurunan nilai pada portal dengan eksentrisitas 60 cm dimana nilai regangan pada *meshing* renggang lebih tinggi dari nilai *meshing* rapat. Penggunaan *meshing* rapat cukup berdampak karena dari hasil analisis menunjukkan terdapat perbedaan yang cukup signifikan terutama pada eksentrisitas 120 cm pada *bracing* lantai 1 yang menunjukkan hasil yang memiliki perbedaan hingga 150 MPa. Secara keseluruhan maka dapat disimpulkan dengan menggunakan *meshing* rapat akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang lebih besar.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian yakni mengetahui perilaku tegangan dan regangan serta pengaruh dari eksentrisitas *bracing* tipe diagonal pada portal 2 lantai terhadap perilaku tegangan dan regangan akibat adanya beban statis maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai beban statis pada portal eksentrisitas 60 cm lebih besar 3,11% dari portal eksentrisitas 120 cm. Portal konsentris memiliki nilai beban statis yang lebih besar 89,45% dibanding nilai rata-rata beban statis portal eksentris. Nilai tegangan mengalami kenaikan sebesar 1,59% pada meshing renggang dan 83,72% pada meshing rapat. Perbandingan nilai tegangan pada portal eksentris dan portal konsentris yaitu pada bagian link beam portal eksentris lebih besar 20,53% - 61,88% nilai tegangannya dari portal konsentris. Pada bagian bracing portal konsentris memiliki nilai tegangan yang lebih besar dari portal eksentris sebesar 19,655% - 150,1%. Dari hasil percobaan maka dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan untuk setiap meshing nilainya akan lebih tinggi atau sama seiring dengan besarnya nilai eksentrisitas dan nilai tegangan dari link beam pada portal dengan eksentrisitas akan selalu lebih besar dibanding elemen lainnya pada portal yang menunjukkan link beam sudah bekerja sebagaimana mestinya untuk berperilaku inelastis.
2. Nilai regangan portal eksentris pada bagian link beam dengan meshing renggang mengalami penurunan sebesar 35,09% pada link beam lantai 2 dan 55,08% pada link beam lantai 1 seiring bertambahnya eksentrisitas. Nilai regangan portal eksentris pada bagian link beam dengan meshing rapat mengalami kenaikan sebesar 2032,7% pada link beam lantai 1 dan 4087,95% pada link beam lantai 2 seiring bertambahnya eksentrisitas. Nilai regangan pada bracing mengalami kenaikan seiring bertambahnya eksentrisitas sebesar 17,33% pada meshing rapat dan 97,77% pada meshing renggang. Perbandingan nilai regangan portal eksentris dan portal konsentris yaitu nilai regangan portal eksentris lebih besar 60% - 1311,6% dari portal konsentris untuk bagian link beam di tiap lantai. Pada bagian bracing nilai regangan portal eksentris lebih kecil 84,48% pada meshing renggang dan 96,68% pada meshing rapat. Dari hasil percobaan maka dapat disimpulkan bahwa nilai regangan untuk *meshing* rapat nilainya akan lebih tinggi

dan untuk *meshing* renggang nilainya akan terjadi penurunan seiring dengan besarnya nilai eksentrisitas, nilai regangan dari *link beam* pada portal dengan eksentrisitas selalu lebih besar dibanding elemen lainnya pada portal yang menunjukkan *link beam* sudah bekerja sebagaimana mestinya untuk mampu lebih berdeformasi.

5.2 Saran

1. Diharapkan kedepannya terdapat penelitian lanjutan yang berfokus untuk penambahan variabel nilai eksentrisitas untuk melihat perbedaan perilaku yang lebih jelas dan mengetahui perilaku *link beam* masih akan tetap berlaku atau tegangan maksimum justru terjadi di balok utama.
2. Untuk hasil yang lebih akurat dan melihat kapabilitas dari software *ABAQUS student edition* maka dapat dilakukan proses *meshing* yang lebih rapat agar analisis yang dilakukan lebih akurat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Mohan, M. S. (2017). Comparative Analysis of Concentrically Braced Frame, Eccentrically Braced Frame and Moment Resisting Frame of Steel. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(5)
- Manope, Reivaldy F. (2019). Analisis Portal Struktur Baja berdasarkan konfigurasi tipe dan variasi panjang link sistem EBF. *Jurnal Sipil Statik*, 7(9). Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Gere, J. M. & Timoshenko, S.P. 1996. *Mekanika Bahan Jilid 1 edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Gioncu, V. & Mazzolani, F. M. 2014. *Seismic Design of Steel Structures*. Boca Raton: CRC Press.
- Karsaz, Kamran. Tosee, Seyed V. 2018. A Comparative Study on the Behavior of Steel Moment-Resisting Frames with Different Bracing Systems Based on a Response Based Damage Index. *Civil Engineering Journal*, 4(6). Dezful: Jundi-Shapur University of Technology.
- Faridmehr, Iman. Osman, Mohd Hanim. Adnan, Azlan B. Nejad, Ali Farokhi. Hodjati, Reza. Azimi, Mohammadamin. 2014. Correlation between Engineering Stress-Strain and True Stress-Strain Curve. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2(1). 53-59. Johor: Universiti Teknologi Malaysia.
- Zachari, M.Y. dan Turuallo, G. 2020. Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012. *Civil Engineering Journal on Research and Development*. 1(2). 9-16. Palu: Universitas Tadulako.
- Tehranizade, Mohsen. Taghikhani, Touraj. Kioumarsi, Mahdi dan Hajnajafi, Leila. 2008. *Comparative Study on Seismic Behavior of Special Concentric Braced Frames with Eccentric Braced Frames*. Tehran: University of Amirkabir.
- Rafael, Meynerd J.W dan Suswanto, Budi. 2017. Studi Perilaku link pendek, link menengah dan link panjang pada struktur baja sistem EBF. *ITS Journal of Civil Engineering*. 32(1). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Dewobroto, Wiryanto. 2018. *Tren Konstruksi Baja dalam Mendukung Pekerjaan Infrastruktur di Indonesia*. Tangerang: Universitas Pelita Harapan.

