

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

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ANGGA RESTU YULIANTO
NIM. 175060101111008**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2021





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

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

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANGGA RESTU YULIANTO
NIM. 175060101111008

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

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Ir. Ananda Insan F., ST., MT., M.Sc.
NIP. 201607 900504 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Indradli Wijatmiko, ST., M.Eng. (Pract)
NIP. 19810220 200604 1 002



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal 2 Lantai dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah

Nama Mahasiswa : Angga Restu Yulianto

NIM : 175060101111008

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Ir. Bhondana Bayu Brahmana K, ST., MT

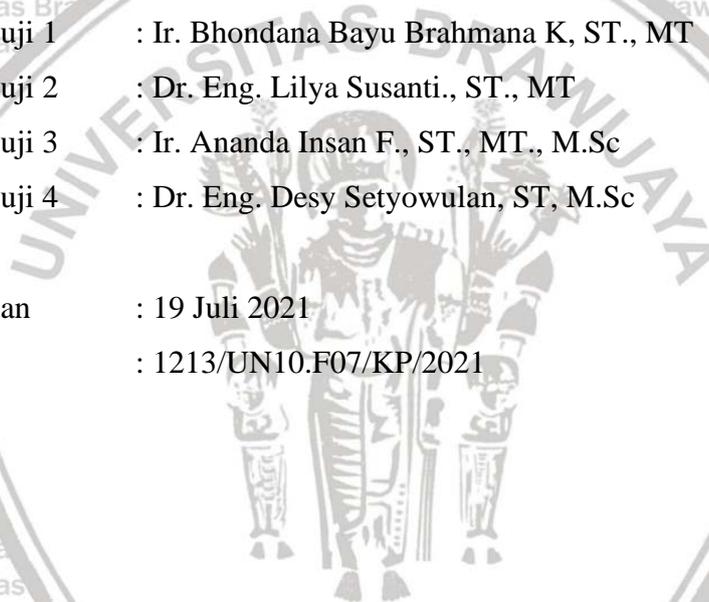
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Lilya Susanti., ST., MT

Dosen Penguji 3 : Ir. Ananda Insan F., ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji 4 : Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, M.Sc

Tanggal Ujian : 19 Juli 2021

SK Penguji : 1213/UN10.F07/KP/2021





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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 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, Juli 2021



Angga Restu Yulianto

NIM. 175060101111008

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

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

Sertifikat ini diberikan kepada :

ANGGA RESTU YULIANTO

Dengan Judul Skripsi :

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

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



Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Alwafi Puiluhario, S.T, M.T
NIP. 19700829 200012 1 001

Dr. Eng. Indradi Yuliatmiko, S.T., M. Eng. (Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Hidup Sipil. Tanah Air Jalan Sipil, Baja Beton Jiwa Sipil.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, Juli 2021

Penulis



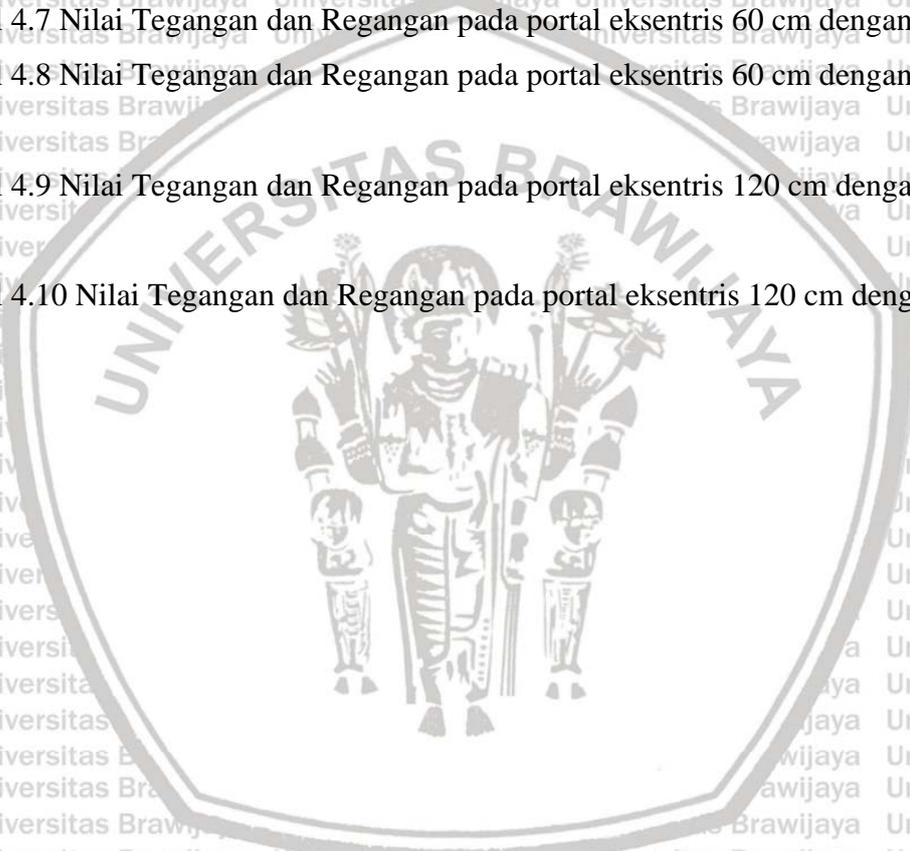
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
BAB I 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 II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material Baja	5
2.1.1 Pemilihan Material dan Profil Baja	5
2.1.2 Jenis dan Sifat Mekanis Baja	6
2.2 Perilaku Mekanis Baja	7
2.2.1 Tegangan Normal dan Regangan Normal	7
2.2.2 Tegangan Geser dan Regangan Geser	8
2.2.3 Tegangan Lentur dan Regangan Lentur	10
2.2.4 Engineering Stress-Strain	11
2.2.5 True Stress-Strain	13
2.2.6 Elastisitas dan Plastisitas	14
2.3 Struktur Baja Tahan Gempa	15
2.3.1 SMF (<i>Special Moment Frames</i>)	15
2.3.2 CBF (<i>Centrically Braced Frames</i>)	16
2.3.3 EBF (<i>Eccentrically Braced Frames</i>)	17
2.4 Pembebanan dan Analisis Struktur EBF Baja	19
2.4.1 Pembebanan Statis Ekuivalen	19
2.4.2 Analisis Elastis-Inelastis (Push-over)	20

2.4.3 Software Analisis ABAQUS CAE versi 6.14-1	20
2.5 Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat Penelitian	23
3.3 Tahapan Penelitian	23
3.4 Rancangan Penelitian	24
3.5 Variabel Penelitian	24
3.6 Pemodelan dengan Software ABAQUS versi 6.14-1	24
3.7 Hipotesis Penelitian	31
BAB IV PEMBAHASAN	32
4.1 Pemodelan Struktur Portal 2 Lantai dengan Bracing Diagonal Eksentris Satu Arah	32
4.1.1 Model dan Material	32
4.1.2 Profil Baja	34
4.2 Simulasi Numerik Struktur Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris Satu Arah	35
4.3 Respon Struktur Portal Akibat Beban Statis Lateral	37
4.4 Hasil Analisis pada Portal 2 Lantai Bracing Diagonal Eksentris Satu Arah	38
4.4.1 Portal Konsentris (eksentrisitas 0 cm)	38
4.4.2 Portal Eksentrisitas 60 cm	48
4.4.3 Portal Eksentrisitas 120 cm	600
4.5 Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal terhadap Tegangan dan Regangan	745
4.6 Perbandingan Respon Struktur Portal 2 Lantai dengan Bracing Diagonal Eksentris Satu Arah antara Mesh Besar dan Mesh Kecil	866
BAB V PENUTUP	90
5.1 Kesimpulan	90
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tegangan putus, tegangan leleh dan regangan minimum baja	7
Tabel 4.1 Spesifikasi Material Baja BJ-37	33
Tabel 4.2 True Stress dan True Strain	34
Tabel 4.3 Dimensi profil setiap elemen	34
Tabel 4.4 Beban maksimum setiap model portal	348
Tabel 4.5 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal konsentris dengan mesh 4	39
Tabel 4.6 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal konsentris dengan mesh 25	44
Tabel 4.7 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 4	49
Tabel 4.8 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 25	555
Tabel 4.9 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 4	611
Tabel 4.10 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 25	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva tegangan-regangan material (Wiryanto Dewobroto, 2016)	5
Gambar 2.2 Kurva P-M kolom W14x82 hasil uji empiris (Wiryanto Dewobroto, 2016)	6
Gambar 2.3 Batang dengan gaya aksial tarik	8
Gambar 2.4 Balok yang memikul beban merata q	9
Gambar 2.5 Ilustrasi potongan balok yang mengalami regangan geser	9
Gambar 2.6 Balok mengalami momen lentur	10
Gambar 2.7 Parameter penting kurva σ - ϵ baja mutu tinggi (Wiryanto Dewobroto, 2016) ..	11
Gambar 2.8 Parameter penting kurva σ - ϵ baja mutu biasa (Wiryanto Dewobroto, 2016)	13
Gambar 2.9 Kurva σ - ϵ (engineering) dan kurva σ_t - ϵ_t (true) (Wiryanto Dewobroto, 2016) 14	
Gambar 2.10 Vertical dan horizontal bracing	16
Gambar 2.11 Single Diagonal Bracing	16
Gambar 2.12 V Bracing	17
Gambar 2.13 Inverted V Bracing	17
Gambar 2.14 K Bracing	17
Gambar 2.15 Two Story X Bracing	177
Gambar 2.16 X Bracing	177
	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.17 Tipe eccentrically braced frames	18
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2 Membuat part baru	25
Gambar 3.3 Model portal dua lantai konsentris	25
Gambar 3.4 Input data mutu material baja BJ-37	26
Gambar 3.5 Input dimensi profil WF 300.200.8.12 untuk kolom	26
Gambar 3.6 Input material baja BJ-37 ke dalam profil kolom	27
Gambar 3.7 Input tumpuan jepit pada struktur portal	27
Gambar 3.8 Proses assembly	28
Gambar 3.9 Menentukan elemen yang ditinjau pada sets	28
Gambar 3.10 Proses meshing	29
Gambar 3.11 Hasil mesh 4 portal konsentris	29
Gambar 3.12 Input beban statis lateral	30

Gambar 3.13 Pengaturan field output 30

Gambar 3.14 Pengaturan history output 31



Gambar 4.1 (a) Portal konsentris, (b) Portal short-link, (c) Portal long-link. Satuan dalam centimeter (cm)	32
Gambar 4.2 Grafik Tegangan dan Regangan (engineering)	33
Gambar 4.3 (a) Profil balok, (b) Profil kolom, (c) Profil bracing	35
Gambar 4.4 Tegangan mises portal konsentris	36
Gambar 4.5 Tegangan mises portal eksentris 60 cm	37
Gambar 4.6 Tegangan mises portal eksentris 120 cm	37
Gambar 4.7 Elemen kritis pada portal konsentris dengan mesh 4	38
Gambar 4.8 Grafik tegangan dan regangan elemen 8	40
Gambar 4.9 Grafik tegangan dan regangan elemen 32	40
Gambar 4.10 Grafik tegangan dan regangan elemen 16	41
Gambar 4.11 Grafik tegangan dan regangan elemen 36	41
Gambar 4.12 Grafik tegangan dan regangan elemen 1	42
Gambar 4.13 Grafik tegangan dan regangan elemen 25	42
Gambar 4.14 Elemen kritis pada portal konsentris dengan mesh 25	43
Gambar 4.15 Elemen kritis 50, 100 dan 1	43
Gambar 4.16 Elemen kritis 200 dan 225	43
Gambar 4.17 Elemen kritis 151	44
Gambar 4.18 Grafik tegangan dan regangan elemen 50	45
Gambar 4.19 Grafik tegangan dan regangan elemen 200	45
Gambar 4.20 Grafik tegangan dan regangan elemen 100	46
Gambar 4.21 Grafik tegangan dan regangan elemen 225	46
Gambar 4.22 Grafik tegangan dan regangan elemen 1	47
Gambar 4.23 Grafik tegangan dan regangan elemen 151	47
Gambar 4.24 Elemen kritis pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 4	48
Gambar 4.25 Elemen kritis 32, 20 dan 13	48
Gambar 4.26 Elemen kritis 36 dan 44	48
Gambar 4.27 Elemen kritis 24	49
Gambar 4.28 Elemen kritis 37 dan 4	49
Gambar 4.29 Grafik tegangan dan regangan elemen 32	50
Gambar 4.30 Grafik tegangan dan regangan elemen 36	50

Gambar 4.31 Grafik tegangan dan regangan elemen 4	51
Gambar 4.32 Grafik tegangan dan regangan elemen 24	51
Gambar 4.33 Grafik tegangan dan regangan elemen 13	52
Gambar 4.34 Grafik tegangan dan regangan elemen 37	52
Gambar 4.35 Grafik tegangan dan regangan elemen 20	53
Gambar 4.36 Grafik tegangan dan regangan elemen 44	53
Gambar 4.37 Elemen kritis pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 25	54
Gambar 4.38 Elemen kritis 76 dan 125	54
Gambar 4.39 Elemen kritis 200	54
Gambar 4.40 Elemen kritis 150	55
Gambar 4.41 Elemen kritis 275	55
Gambar 4.42 Elemen kritis 225	55
Gambar 4.43 Elemen kritis 25 dan 226	55
Gambar 4.44 Grafik tegangan dan regangan elemen 200	56
Gambar 4.45 Grafik tegangan dan regangan elemen 225	57
Gambar 4.46 Grafik tegangan dan regangan elemen 25	57
Gambar 4.47 Grafik tegangan dan regangan elemen 150	58
Gambar 4.48 Grafik tegangan dan regangan elemen 76	58
Gambar 4.49 Grafik tegangan dan regangan elemen 226	59
Gambar 4.50 Grafik tegangan dan regangan elemen 125	59
Gambar 4.51 Grafik tegangan dan regangan elemen 275	60
Gambar 4.52 Elemen kritis pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 4	60
Gambar 4.53 Elemen kritis 32, 17, 20 dan 13	61
Gambar 4.54 Elemen kritis 24	61
Gambar 4.55 Elemen kritis 36, 41 dan 44	61
Gambar 4.56 Elemen kritis 37 dan 4	61
Gambar 4.57 Grafik tegangan dan regangan elemen 32	62
Gambar 4.58 Grafik tegangan dan regangan elemen 36	63
Gambar 4.59 Grafik tegangan dan regangan elemen 4	63
Gambar 4.60 Grafik tegangan dan regangan elemen 24	64
Gambar 4.61 Grafik tegangan dan regangan elemen 13	64
Gambar 4.62 Grafik tegangan dan regangan elemen 37	65

Gambar 4.63 Grafik tegangan dan regangan elemen 20	65
Gambar 4.64 Grafik tegangan dan regangan elemen 44	66
Gambar 4.65 Grafik tegangan dan regangan elemen 17	66
Gambar 4.66 Grafik tegangan dan regangan elemen 41	67
Gambar 4.67 Elemen kritis pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 25	67
Gambar 4.68 Elemen kritis 76 dan 125	68
Gambar 4.69 Elemen kritis 101 dan 200	68
Gambar 4.70 Elemen kritis 150	68
Gambar 4.71 Elemen kritis 225 dan 251	68
Gambar 4.72 Elemen kritis 275	68
Gambar 4.73 Elemen kritis 25 dan 226	68
Gambar 4.74 Grafik tegangan dan regangan elemen 200	70
Gambar 4.75 Grafik tegangan dan regangan elemen 225	70
Gambar 4.76 Grafik tegangan dan regangan elemen 25	71
Gambar 4.77 Grafik tegangan dan regangan elemen 150	71
Gambar 4.78 Grafik tegangan dan regangan elemen 76	72
Gambar 4.79 Grafik tegangan dan regangan elemen 226	72
Gambar 4.80 Grafik tegangan dan regangan elemen 101	73
Gambar 4.81 Grafik tegangan dan regangan elemen 125	73
Gambar 4.82 Grafik tegangan dan regangan elemen 251	74
Gambar 4.83 Grafik tegangan dan regangan elemen 275	74
Gambar 4.84 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok atas mesh 4	75
Gambar 4.85 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok bawah mesh 4	76
Gambar 4.86 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom atas mesh 4	77
Gambar 4.87 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom bawah mesh 4	77
Gambar 4.88 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing atas mesh 4	78
Gambar 4.88 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing bawah mesh 4	79
Gambar 4.89 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam atas mesh 4	79
Gambar 4.90 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam bawah mesh 4	80
Gambar 4.91 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok atas mesh 25	81
Gambar 4.92 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok bawah mesh 25	81
Gambar 4.93 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom atas mesh 25	82

Gambar 4.94 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom bawah mesh 25 83

Gambar 4.95 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing atas mesh 25 83

Gambar 4.96 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing bawah mesh 25 84

Gambar 4.97 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam atas mesh 25 85

Gambar 4.98 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam bawah mesh 25 85

Gambar 4.99 (a) Portal eksentris 0 cm mesh 4, (b) Portal eksentris 0 cm mesh 25 86

Gambar 4.100 (a) Portal eksentris 60 cm mesh 4, (b) Portal eksentris 60 cm mesh 25 87

Gambar 4.101 (a) Portal eksentris 120 cm mesh 4, (b) Portal eksentris 120 cm mesh 25 87



RINGKASAN

Angga Restu Yulianto, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Analisis Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan pada Portal 2 Lantai dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah*, Dosen pembimbing: Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT. dan Ir. Ananda Insan F., ST., MT., M.Sc.

Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) terdapat sebanyak 33 bencana gempa bumi yang terjadi di Indonesia pada tahun 2020. Penggunaan EBF pada struktur bangunan rumah tinggal tahan gempa menjadi alternatif yang ekonomis dibanding sistem CBF, peredam struktur dan *base isolation*. Penelitian ini menganalisis model portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal satu arah yang bertujuan untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan yang disebabkan adanya variasi eksentrisitas 0 cm, 60 cm dan 120 cm. Aplikasi ABAQUS CAE versi 6.14-1 digunakan sebagai analisis model portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah yang memiliki dimensi 4 x 4 m setiap lantai, beban statis lateral sebesar 595.000 N. Profil kolom menggunakan WF 300.200.8.12, balok menggunakan WF 200.150.6.9 dan *bracing* menggunakan WF 100.100.6.8. Hasil analisis menunjukkan eksentrisitas yang semakin besar mengakibatkan tegangan yang terjadi bertambah besar pada bagian balok atas dan balok tengah, sementara tegangan semakin mengecil pada bagian *bracing*. Sedangkan tegangan pada *link beam* akan selalu mencapai *ultimate* terlebih dahulu yang menunjukkan perilaku inelastis daripada bagian lainnya. Keruntuhan pada model portal konsentris terjadi pada bagian *bracing*, sedangkan model portal dengan eksentrisitas 60 cm dan 120 cm keruntuhan terjadi pada bagian *link beam*. Regangan terbesar terjadi di elemen yang mengalami keruntuhan seperti *bracing* (portal konsentris) dan *link beam* (portal eksentris). Regangan di *bracing* atas (lantai 2) dan *link beam* lantai 2 selalu lebih besar daripada bagian lantai 1. Pembesaran eksentrisitas dan pengecilan *mesh* yang digunakan maka regangan yang terjadi pada elemen yang runtuh semakin besar.

Kata Kunci: CBF, EBF, tegangan dan regangan, beban lateral, ABAQUS CAE.

SUMMARY

Angga Restu Yulianto, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2021, Modeling Analysis of Stress and Strain Behavior on One-Way Diagonal Type of Two-Storey Eccentric Braced Frame, Supervisor: Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT. and Ir. Ananda Insan F., ST., MT., M.Sc.

Based on data from the National Disaster Management Agency (BNPB), there were 33 earthquake disasters that occurred in Indonesia in 2020. The use of EBF in earthquake-resistant residential structures is an economical alternative to CBF systems, structural dampers and base isolation. This study analyzes a 2-storey portal model with one-way diagonal bracing which aims to determine the stress and strain behavior caused by variations in eccentricity of 0 cm, 60 cm and 120 cm. The ABAQUS CAE version 6.14-1 application is used as an analysis of the 2-storey portal model with one-way eccentric diagonal bracing which has dimensions of 4 x 4 m per floor, lateral static load of 595,000 N. Column profile using WF 300.200.8.12, beam using WF 200.150 .6.9 and bracing using WF 100.100.6.8. The results of the analysis show that the greater eccentricity causes the stresses to increase in the upper beam and the middle beam, while the stress decreases in the bracing section. While the stress on the link beam will always reach the ultimate first, which shows inelastic behavior than the other parts. The failure of the concentric portal model occurred in the bracing section, while the failure of the portal model with an eccentricity of 60 cm and 120 cm occurred in the link beam section. The greatest strain occurs in elements that experience failure such as bracing (concentrically portals) and link beams (eccentrically portals). The strain in the upper bracing (2nd floor) and the link beam of the 2nd floor always greater than the 1st floor. Increasing the eccentricity and reducing the mesh used, resulting in greater strain that occurs in the collapsed element.

Keywords: CBF, EBF, stress and strain, lateral load, ABAQUS CAE.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bumi tempat kehidupan makhluk hidup terdiri dari beberapa lapisan yaitu inti dalam, inti luar, mesosfer, astenosfer, litosfer dan kerak bumi. Salah satu bencana gempa bumi yang mematikan yaitu gempa bumi tektonik yang disebabkan oleh saling bertabrakannya lempeng tektonik pada lapisan litosfer bumi. Lempeng tektonik ini bergerak saling menjauh atau bertabrakan terus menerus sepanjang waktu, dimana terdapat sekitar 8 lempeng tektonik aktif di lapisan litosfer bumi. Tiga diantaranya berada pada wilayah Indonesia yaitu lempeng eurasia, lempeng pasifik dan lempeng Indo-Australia. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) terdapat wilayah rawan terjadi gempa tektonik yaitu Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, Maluku Utara, dan Papua.

Dari beberapa wilayah rawan gempa tersebut, berdasarkan data bencana BNPB terdapat sebanyak 33 bencana gempa bumi yang terjadi di Indonesia sepanjang tahun 2020. Gempa bumi menimbulkan banyak kerugian diantaranya 27 orang luka-luka, 1926 rumah yang rusak dan 66 fasilitas umum yang rusak. Pada bulan Januari sampai Februari 2021 terdapat 14 bencana gempa bumi yang terjadi dengan kerugian diantaranya 107 orang meninggal, 3 orang hilang, 11124 orang luka-luka, 16124 rumah yang rusak dan 477 fasilitas umum yang rusak. Banyak bangunan rumah tinggal yang rusak dikarenakan perencanaan desain bangunan rumah tinggal belum memenuhi ketahanan terhadap bahaya bencana gempa bumi. Secara umum bangunan rumah tinggal belum direncanakan untuk menahan adanya beban lateral. Kerugian ini seharusnya dapat diminimalisir dengan salah satu cara seperti membangun bangunan rumah tinggal tahan gempa.

Perkembangan ilmu Teknik Sipil memunculkan beberapa inovasi-inovasi yang berguna dalam mendesain bangunan tahan gempa seperti *base isolation*, perubahan kekakuan dan/atau sistem peredam struktur (Torunbalci, 2003). Namun, metode tersebut sangat cocok untuk diterapkan pada bangunan khusus dan tidak ekonomis untuk diterapkan pada bangunan rumah tinggal. Penggunaan *bracing frame* pada struktur bangunan rumah tinggal menjadi alternatif yang lebih ekonomis. Struktur dengan *bracing frame* mampu menahan beban lateral seperti beban gempa jika direncanakan dengan benar. Dalam penelitian ini penulis menggunakan struktur *bracing frame* dengan adanya eksentrisitas. Secara umum *bracing frame* dengan adanya eksentrisitas memiliki beberapa keunggulan seperti kekakuan elastis yang tinggi, dalam

pembebanan lateral siklik memiliki respon inelastis yang stabil serta memiliki kapasitas disipasi energi (Gioncu, Mazzolani, 2010). Selain itu, *bracing frame* dengan adanya eksentrisitas lebih fleksibel sehingga penempatan komponen arsitektural seperti ventilasi atau bukaan, pintu dan jendela bisa disesuaikan (Popov dan Engelhardt, 1988).

Selain penggunaan sistem *bracing frame* untuk menahan beban lateral, pemilihan material yang digunakan sangatlah penting. Hal ini mempengaruhi kekuatan sistem *bracing frame* dalam menahan beban lateral gempa. Dalam bangunan material paling umum digunakan untuk diterapkan pada struktur utama yaitu beton dan baja. Dalam hal ini material baja memiliki keunggulan seperti daktilitas yang tinggi sehingga ketika diberi beban lateral akan mengalami deformasi yang besar sebelum runtuh, hal ini tentu sangat menguntungkan untuk memberi waktu kepada penghuni di dalam bangunan rumah tinggal segera menyelamatkan diri.

Berbeda dengan material beton yang memiliki sifat getas terhadap adanya beban lateral. Daktilitas pada material baja perlu diperhatikan, karena sifat ini dapat menghilang jika konsentrasi tegangan dan regangan yang terjadi sangat besar melebihi batas ultimatanya.

Penggunaan sistem *bracing frame* material baja dengan eksentrisitas tentu menjadi alternatif yang dapat diaplikasikan pada bangunan rumah tinggal. Namun, perlu diketahui perilaku struktur tersebut akibat adanya beban gempa. Faktor yang perlu diperhatikan yaitu tegangan dan regangan yang terjadi, hal ini karena menjadi tolok ukur struktur tersebut akan runtuh atau tidak. Variasi eksentrisitas *bracing* juga mempengaruhi perilaku dari struktur tersebut. Sehingga dalam penelitian ini penulis akan berfokus pada perilaku tegangan dan regangan pada portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah.

1.2 Identifikasi Masalah

Dampak adanya gempa bumi menimbulkan banyak kerugian seperti luka-luka, kematian, robohnya bangunan rumah tinggal dan bangunan fasilitas umum. Bangunan rumah tinggal Indonesia terutama di wilayah rawan gempa perlu didesain tahan gempa. Untuk itu digunakan *bracing frame* baja dengan adanya eksentrisitas, namun perlu dipelajari tentang perilaku struktur tersebut dalam menahan beban gempa. Sehingga dalam penelitian ini perlu diketahui tentang pengaruh eksentrisitas pada perilaku tegangan dan regangan pada portal 2 lantai dengan *bracing* tipe diagonal satu arah.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh eksentrisitas satu arah pada bracing diagonal akibat beban gempa statis ekuivalen pada struktur portal 2 lantai terhadap tegangan struktur?
2. Bagaimana pengaruh eksentrisitas satu arah pada bracing diagonal akibat beban gempa statis ekuivalen pada struktur portal 2 lantai terhadap regangan struktur?

1.4 Batasan Masalah

1. Struktur portal terdiri dari 2 lantai dengan dimensi panjang kolom setiap lantai 400 cm dan panjang balok 400 cm.
2. *Bracing* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *bracing* diagonal dengan eksentrisitas satu arah.
3. Dimensi profil menggunakan acuan tabel profil baja Ir. Morisco, dipakai profil tipe *wide flange* WF. 300.200.8.12 untuk komponen kolom, WF. 200.150.6.9 untuk komponen balok, dan WF 100.100.6.8 untuk komponen *bracing*.
4. Mutu Baja yang dipakai adalah mutu baja BJ-37 dengan berdasar SNI 03-1729-2002.
5. Variasi eksentrisitas adalah sebesar 0 cm, 60 cm dan 120 cm.
6. Balok dan link beam merupakan satu kesatuan.
7. Sambungan antara *link beam* dengan *bracing* berupa node, sambungan antara balok dengan kolom hanya berupa node, sedangkan tumpuan menggunakan jepit.
8. Pembebanan yang digunakan adalah pembebanan statis lateral.
9. Analisis struktur portal bracing diagonal satu arah mulai dari kondisi elastis, plastis hingga fraktur penuh (*aborted*)
10. Aplikasi yang digunakan dalam analisis menggunakan *software* ABAQUS versi 6.14-1 (*Student Version*).

1.5 Tujuan Penelitian

1. Bagaimana pengaruh eksentrisitas pada bracing diagonal satu arah akibat beban gempa statis ekuivalen pada struktur portal 2 lantai terhadap tegangan struktur.
2. Bagaimana pengaruh eksentrisitas pada bracing diagonal satu arah akibat beban gempa statis ekuivalen pada struktur portal 2 lantai terhadap regangan struktur.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bagi penulis berguna untuk membandingkan perilaku regangan dan tegangan pada struktur portal diagonal satu arah dengan eksentrisitas. Bagi pembaca bermanfaat untuk mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya pada sistem struktur *bracing frame* eksentris yang berguna untuk mendesain bangunan tahan gempa. Diharapkan dengan adanya penelitian ini menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya di masa mendatang dan juga dapat diterapkan dalam mendesain bangunan rumah tinggal tahan gempa.

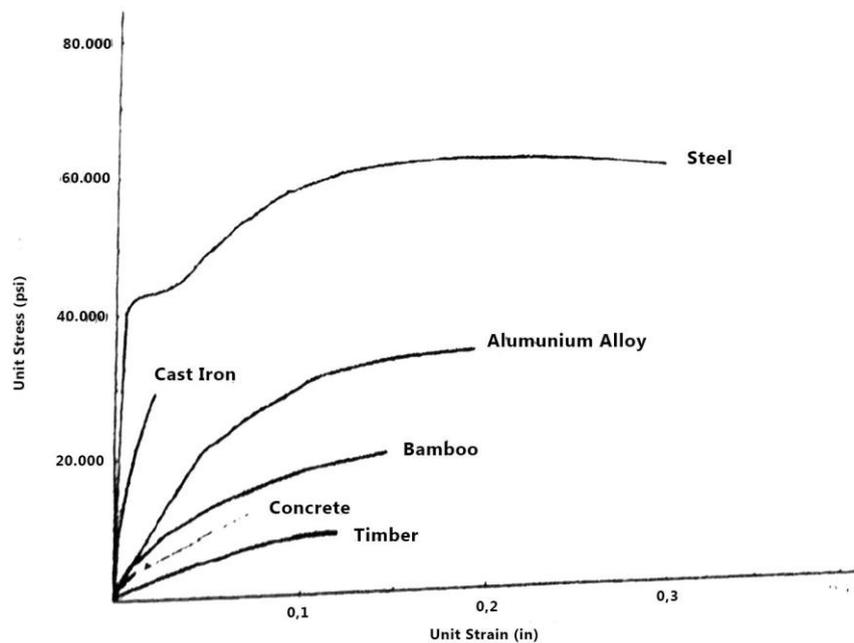


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Baja

2.1.1 Pemilihan Material dan Profil Baja

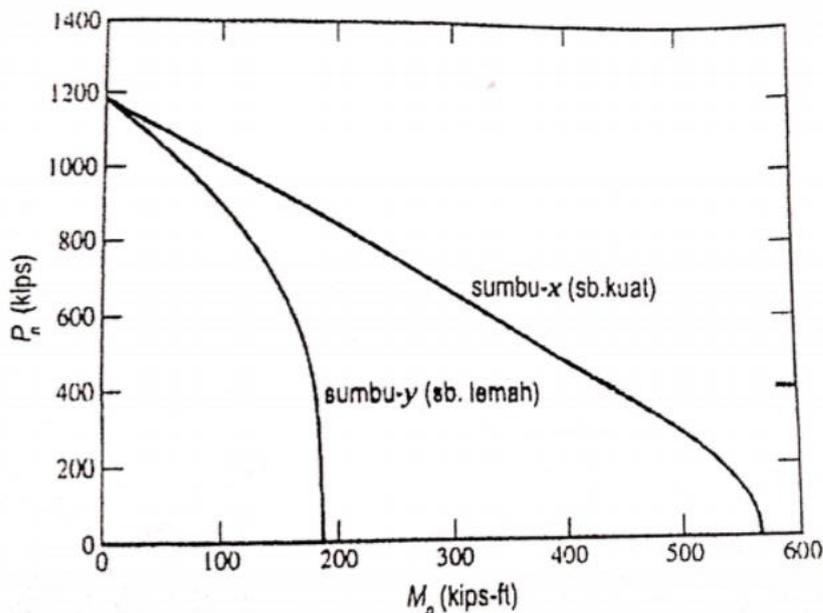
Salah satu dasar cara dalam pemilihan sebuah material yang akan digunakan dalam sebuah konstruksi ada 3 hal yang ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitas. Dari beberapa material yang umum digunakan dalam sebuah konstruksi, material baja paling unggul dari ketiga aspek tersebut jika dibandingkan dengan beberapa material seperti kayu, beton, bambu, aluminium dan besi.



Gambar 2.1 Kurva tegangan-regangan material (Wiryanto Dewobroto, 2016)

Dari Gambar 2.1 diatas dapat disimpulkan bahwa material baja memiliki perilaku lebih unggul daripada material lainnya. Perilaku yang dimaksud yaitu ketahanan material baja untuk mengalami deformasi plastis lebih tinggi daripada material lainnya atau juga dapat dikatakan daktilitas material baja terbaik daripada material yang lain.

Pada umumnya dalam pemilihan profil untuk konstruksi baja lebih banyak memakai profil *Wide Flange* dan *H Beam*. Hal ini dikarenakan kedua profil tersebut memiliki properti inersia yang berbeda antara sumbu kuat (sumbu x) dan sumbu lemah (sumbu y), sehingga berpengaruh pada perilaku kedua sumbu tersebut yang berbeda ketika memikul momen.



Gambar 2.2 Kurva P-M kolom W14x82 hasil uji empiris (Wiryanto Dewobroto, 2016)

Dari **Gambar 2.2** diatas sumbu vertikal menunjukkan kapasitas tekan dan sumbu y menunjukkan kapasitas lentur. Perbedaan karakter kolom dalam memikul kombinasi gaya tekan dan momen dapat terlihat jelas bahwa kapasitas tekan kolom tidak banyak terpengaruh oleh adanya momen arah sumbu lemah dibanding jika ada tambahan momen arah sumbu kuat. Hal ini dapat dipahami karena kekuatan lentur batang arah sumbu kuat ditentukan oleh stabilitas akibat gaya tekan.

Hal yang membedakan kedua profil tersebut terletak pada sisi penggunaannya, dimana untuk konstruksi besar dan memerlukan ukuran khusus seperti jembatan yang paling cocok menggunakan H *Beam*. Sedangkan untuk keperluan konstruksi bangunan paling laris manis dipasaran digunakan profil *Wide Flange*.

2.1.2 Jenis dan Sifat Mekanis Baja

Material baja jika digunakan dalam konstruksi struktur utama memiliki kelebihan kuat, ringan dan cepat dalam waktu konstruksinya. Baja yang sering digunakan untuk struktural dalam konstruksi memiliki beberapa klasifikasi diantaranya baja karbon, baja paduan rendah bermutu tinggi dan baja paduan. Dari klasifikasi tersebut, baja karbon paling banyak digunakan dalam konstruksi bangunan maupun jembatan. Baja karbon sendiri memiliki 4 jenis yang dibedakan menurut kandungan campuran karbon di dalam baja antara lain *deed steel* ($C < 0,1\%$), *mild steel* ($0,1\% < C < 0,25\%$), *medium carbon steel* ($0,25\% < C < 0,7\%$) dan *high carbon steel* ($0,7\% < C < 1,5\%$). Kandungan karbon dalam baja mempengaruhi kekuatan dan daktilitas

dari baja. Jika kandungan karbon semakin tinggi kekuatan dan kekerasan baja semakin meningkat, tapi semakin berkurang daktilitasnya.

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 tentang tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, baja memiliki sifat-sifat mekanis antara lain:

→ Modulus Elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$

→ Modulus Geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

→ Angka Poisson : $\mu = 0,3$

→ Koefisien Pemuaian : $\alpha = 12 \times 106 / ^\circ\text{C}$

Ada beberapa jenis baja yang umum beredar di pasaran seperti BJ 34, BJ 37, BJ 41, BJ 50 dan BJ 55. Dari jenis-jenis tersebut dibedakan menurut nilai minimum tegangan leleh dan putusya seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Tegangan putus, tegangan leleh dan regangan minimum baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

2.2 Perilaku Mekanis Baja

2.2.1 Tegangan Normal dan Regangan Normal

Baja memiliki perilaku mekanis yang berbeda dengan material lain yang biasa digunakan untuk struktural konstruksi bangunan maupun jembatan. Untuk dapat memahami perilaku mekanis baja perlu terlebih dahulu mengenal konsep dari tegangan dan regangan.

Secara umum, konsep tegangan dapat dipahami dengan mengilustrasikan sebuah batang yang diberi sebuah gaya aksial berupa tekanan atau tarikan. Dengan mengasumsikan gaya aksial terbagi merata pada seluruh penampang batang, maka didapatkan persamaan tegangan seperti berikut,

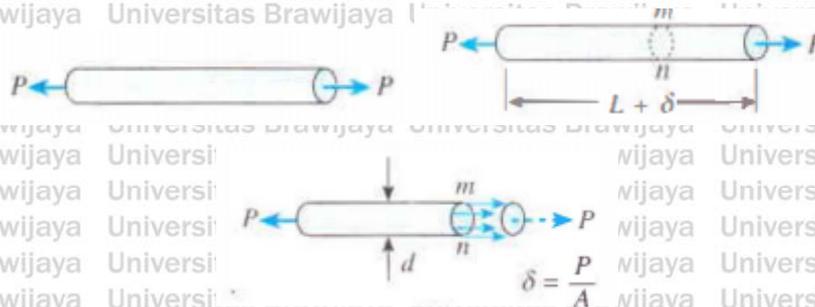
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan Normal (MPa)

P = Gaya Aksial (N)

A = Luas Penampang batang (mm^2)



Gambar 2.3 Batang dengan gaya aksial tarik

Tegangan normal ada dua jenis yaitu tegangan tarik dan tegangan tekan. Tegangan tarik terjadi ketika gaya aksial yang bekerja pada batang merupakan gaya aksial tarik, ketika gaya aksial yang berkerja pada batang merupakan gaya aksial tekan maka batang akan mengalami tegangan tekan.

Ketika sebuah batang diberikan gaya aksial, akan terjadi perubahan ukuran dari batang tersebut. Jika gaya aksial yang terjadi adalah tarik maka batang akan bertambah panjang, sebaliknya jika gaya aksial yang terjadi adalah tekan maka batang akan bertambah pendek.

Perbandingan antara perubahan ukuran batang yang terjadi dengan ukuran semula inilah yang disebut sebagai regangan. Jika dibuat persamaan seperti berikut,

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

ε = Regangan Normal

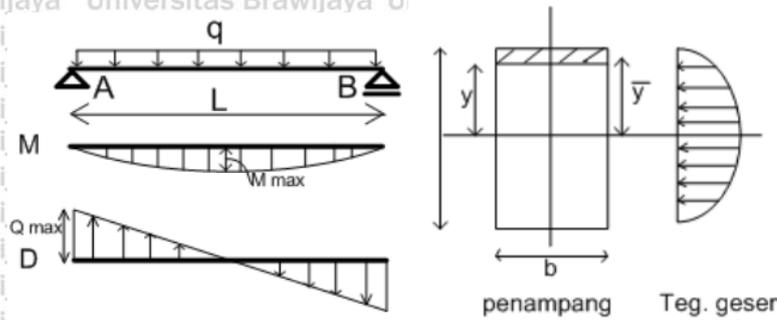
δ = Perubahan ukuran panjang batang (mm)

L = Panjang awal batang (mm)

Apabila batang mengalami perpanjangan maka regangan yang terjadi yaitu regangan tarik, jika batang mengalami perpendekan maka regangan yang terjadi yaitu regangan tekan.

2.2.2 Tegangan Geser dan Regangan Geser

Jika terdapat sebuah balok yang diberikan beban merata maka balok akan mengalami momen lentur. Ketika balok mengalami momen lentur, balok akan berubah bentuk bentuk dengan melengkung yang mengakibatkan terjadinya geser pada penampang dalam balok memanjang searah sumbu x. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa tegangan geser merupakan ukuran gaya yang bekerja sejajar dengan potongan penampang melintang dari suatu benda.



Gambar 2.4 Balok yang memikul beban merata q

Sehingga persamaan tegangan geser sebagai berikut,

$$\tau = \frac{Q \cdot A \cdot \bar{y}}{I_x \cdot b} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

τ = Tegangan geser (MPa)

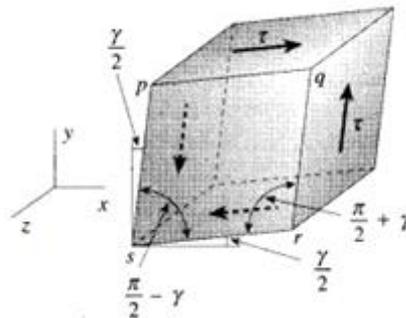
Q = Gaya geser (N)

\bar{y} = Jarak garis netral dengan permukaan penampang balok (mm)

A = Luas daerah yang ditinjau (mm^2)

I_x = Momen Inersia sumbu x (mm^4)

b = Lebar balok (mm)



Gambar 2.5 Ilustrasi potongan balok yang mengalami regangan geser

Sedangkan regangan geser merupakan perbandingan antara perpindahan sudut pada balok (γ) dengan dimensi panjang balok. Persamaan regangan geser sebagai berikut:

$$\phi = \frac{\gamma}{L} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

ϕ = Regangan geser

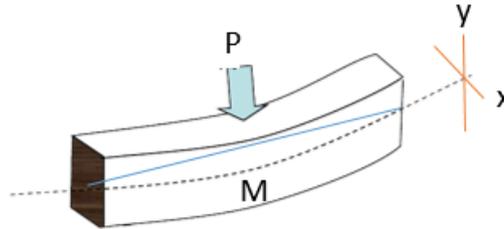
γ = Perubahan dimensi panjang (mm)

L = Panjang awal mula balok (mm)



2.2.3 Tegangan Lentur dan Regangan Lentur

Apabila terdapat sebuah balok yang memikul beban sebesar P tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok maka balok akan mengalami momen lentur. Kemudian balok mengalami tegangan akibat momen lentur tersebut.



Gambar 2.6 Balok mengalami momen lentur

Oleh karena itu, tegangan yang terjadi dinamakan tegangan lentur. Persamaannya ada dua dalam arah sumbu x dan sumbu y sebagai berikut:

$$\sigma_{lx} = \frac{M \cdot y}{I_x} \text{ dan } \sigma_{ly} = \frac{M \cdot x}{I_y} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

σ_{lx} = Tegangan lentur dalam arah sumbu x (MPa)

σ_{ly} = Tegangan lentur dalam arah sumbu y (MPa)

M = Momen lentur (Nmm)

y = Jarak garis netral ke permukaan balok sumbu y (mm)

x = Jarak garis netral ke permukaan balok sumbu x (mm)

I_x = Momen inersia sumbu x (mm^4)

I_y = Momen inersia sumbu y (mm^4)

Ketika balok mengalami momen lentur, maka terjadi perpanjangan atau pemampatan pada balok. Perbandingan antara perubahan perpanjangan atau pemampatan dengan panjang awal mula balok disebut sebagai regangan lentur balok. Karena terdapat dua kondisi berupa tarik dan tekan pada serat bawah dan serat atas balok, maka tegangan lentur dibedakan menjadi dua yaitu tegangan lentur tarik dan tegangan lentur tekan. Adapun persamaan tegangan lentur sebagai berikut:

$$\varepsilon_l = \frac{\delta}{L} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

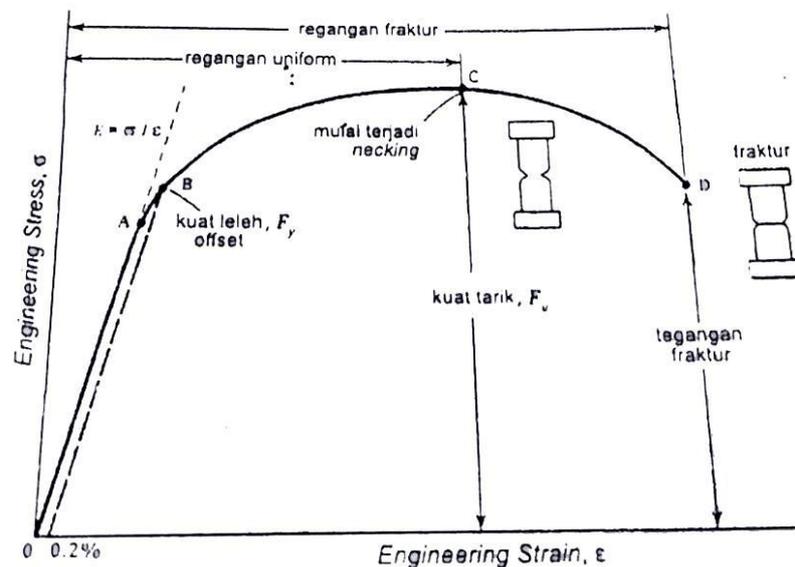
ε_l = Regangan Lentur

δ = Perubahan ukuran panjang batang (mm)

L = Panjang awal batang (mm)

2.2.4 Engineering Stress-Strain

Dalam melakukan perencanaan rekayasa struktur, kurva hubungan tegangan-regangan sering memakai kurva *engineering stress-strain*. Kurva ini didapatkan melalui konversi data pengujian (P-Δ) dengan data geometri (A dan L) kondisi awal (Wiryanto Dewobroto, 2016).



Gambar 2.7 Parameter penting kurva σ - ϵ baja mutu tinggi (Wiryanto Dewobroto, 2016)

Dari kurva diatas terdiri dari beberapa segmen, segmen O-A merupakan garis lurus linear yang merupakan hasil dari persamaan modulus elastisitas $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$, dalam area segmen O-A menunjukkan sifat elastis atau deformasi yang terjadi tidak akan permanen jika beban dihilangkan. Titik A merupakan batas proporsional elastis, namun sebenarnya batas elastis sedikit diatas titik A akan tetapi untuk mencarinya relatif sulit. Hal inilah yang menjadi dasar titik A dikatakan sebagai batas elastis.

Dari kurva diatas berasal dari percobaan pada baja mutu tinggi, sehingga untuk menentukan kuat leleh pada baja bermutu lebih rendah dibuat garis *offset* 0,2% sampai memotong kurva pada titik B. Titik B inilah yang disepakati sebagai tegangan leleh. Batas tegangan leleh atau *yield point* ini menunjukkan bahwa saat tegangan yang ada pada material baja tidak mengalami peningkatan akan tetapi regangan yang terjadi terus meningkat. Hal ini bisa dijelaskan dengan teori Von Mises. Dalam teori ini, Von Mises (1913) menyatakan bahwa terjadinya leleh saat dua deviator tegangan melampaui harga kritis nya.

Tegangan efektif menurut Von Mises dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \leq f_y^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan-tegangan utama (MPa)

σ_e = Tegangan efektif (MPa)

f_y = Tegangan leleh (MPa)

Parameter σ_3 dapat diabaikan dikarenakan struktur yang bekerja terletak pada dua sumbu yang saling tegak lurus sehingga nilainya mendekati nol, maka tegangan efektif persamaanya berubah seperti berikut,

$$\sigma_e^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2 \leq f_y^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

persamaan (2.7) dapat diubah sebagai berikut,

$$\frac{\sigma_1^2}{f_y^2} + \frac{\sigma_2^2}{f_y^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{f_y^2} \leq 1 \dots \dots \dots (2.9)$$

Titik leleh teori Von Mises untuk kondisi geser murni terjadi saat $\sigma_2 = -\sigma_1$ dan tegangan geser $\tau = \sigma_1$, kemudian substitusi $\sigma_2 = -\sigma_1$ ke persamaan (2.7) sehingga menjadi sebagai berikut,

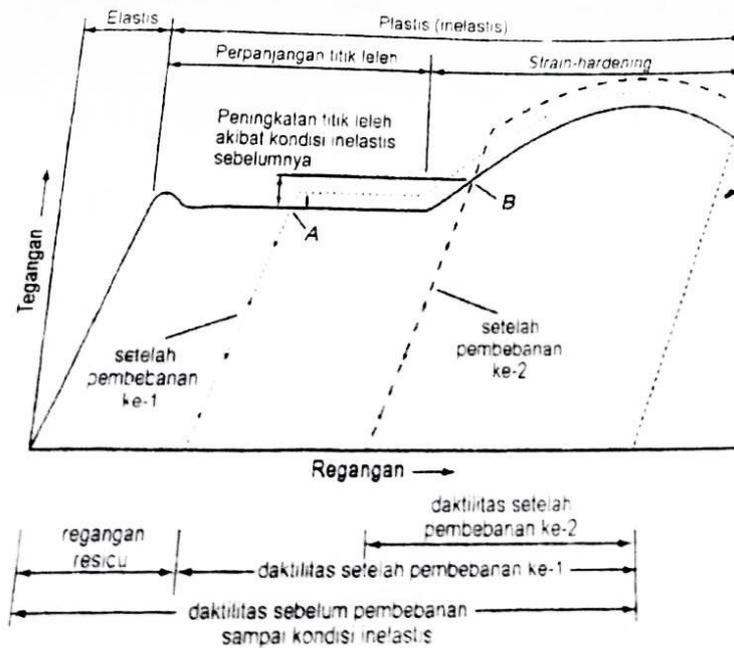
$$\sigma_e^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1(-\sigma_1) = 3\sigma_1^2 = 3\tau_y^2 = f_y^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

sehingga diperoleh persamaan akhir sebagai berikut.

$$\tau_y = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y = 0,6 f_y \dots \dots \dots (2.11)$$

Setelah melewati titik A, jika terjadi deformasi maka bersifat permanen. Pembebanan yang ditambah terus mengakibatkan tegangan akan mencapai tegangan maksimum pada titik C. Pada titik C ini merupakan batasa akhir dari regangan *uniform* sekaligus mulai terjadinya *neckling* atau pengecilan ukuran penampang, mulai muncul retak yang pada akhirnya mencapai kondisi fraktur total atau putus pada titik D.

Selanjutnya kurva *engineering stress-strain* yang didasarkan pada percobaan menggunakan material baja mutu biasa. Kurva akibat pembebanan yang berulang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2.8 Parameter penting kurva σ - ϵ baja mutu biasa (Wiryanto Dewobroto, 2016)

Dari Gambar 2.8 di atas terjadi perpanjangan titik leleh dengan tegangan yang konstan. Apabila pembebanan dilanjutkan maka akan mulai memasuki *strain hardening* dimana tegangan yang akan terjadi akan mencapai nilai maksimum yang kemudian disebut sebagai kuat tarik ultimate (F_u). Jika sebuah material yang pernah memasuki kondisi inelastis diberi tambahan pembebanan lanjutan maka kurva yang terjadi terlihat pada garis putus-putus.

Proses pembebanan berulang ini berpengaruh pada peningkatan kekuatan (F_y dan F_u) tetapi daktilitasnya menjadi berkurang (Wiryanto Dewobroto, 2016). Jadi apabila ada pemakaian material baja bekas pakai, harus dipastikan material baja belum pernah mengalami kondisi inelastis. Karena sifat daktilitasnya masih terjaga dan dapat digunakan untuk konstruksi tahan gempa.

Alasan mengapa dalam perencanaan rekayasa sering memakai kurva *engineering stress-strain* dikarenakan pada saat terjadi *necking* penampang mulai mengecil sehingga perhitungan tidak akan sesuai dengan kondisi realistiknya. Oleh karena itu dalam perencanaan rekayasa hanya perlu memperhatikan kuat leleh F_y dan kuat batas ultimate F_u saja.

2.2.5 True Stress-Strain

Dalam simulasi analisis struktur sampai kondisi fraktur tentu melewati kondisi *neckling* yaitu saat penampang mulai mengecil, maka dalam kasus ini penggunaan kurva *engineering stress-strain* tidak lagi relevan terhadap kondisi realistik yang terjadi. Untuk itu diperlukan sebuah konversi menjadi *true stress-strain*. Untuk memperoleh *true stress-strain* diperlukan sebuah rumus konversi sebagai berikut,

$$\sigma_t = \sigma (1 + \varepsilon) \dots \dots \dots (2.12)$$

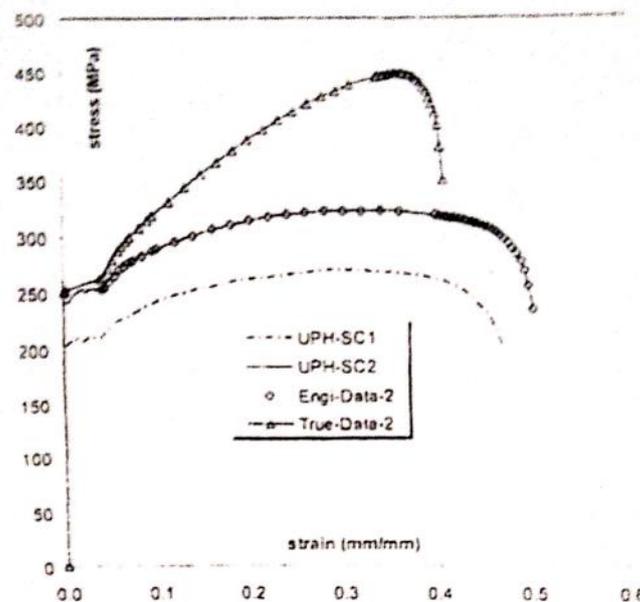
$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon) - \frac{\sigma_t}{E} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

σ_t = True Stress pada kondisi inelastis (MPa)

ε_t = True Strain pada kondisi inelastis

Kurva true stress-strain berdasarkan engineering stress-strain terlihat sebagai berikut,



Gambar 2.9 Kurva σ - ε (engineering) dan kurva σ_t - ε_t (true) (Wiryanto Dewobroto, 2016)

2.2.6 Elastisitas dan Plastisitas

Elastisitas merupakan ukuran kemampuan dari suatu material yang mengalami perubahan bentuk akibat diberikan beban untuk kembali ke bentuk yang semula setelah beban dihilangkan. Suatu material dapat dikatakan mengalami elastisitas yang sempurna jika mampu kembali ke bentuk semula dengan sempurna setelah beban dihilangkan, namun jika material tidak kembali ke bentuk semula dengan sempurna maka material tersebut dikatakan mengalami elastisitas parsial. Nilai elastisitas suatu material disebut sebagai modulus elastisitas. Modulus elastisitas memiliki persamaan sebagai berikut,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan Normal (MPa)

ε = Regangan Normal

Sedangkan plastisitas merupakan sifat suatu material yang mengalami perubahan bentuk dan tidak dapat kembali ke bentuk semula ketika beban sudah dihilangkan. Hal ini terjadi dikarenakan material yang diberi beban terlalu besar melebihi batas beban ultimate nya, sehingga melewati batas elastisitasnya. Material yang mengalami hal ini dapat dikatakan sudah bersifat plastis.

2.3 Struktur Baja Tahan Gempa

Dalam mendesain sebuah bangunan, tentu perilaku struktur yang diharapkan didesain sesuai dengan kondisi di lapangan. Bangunan yang didesain berperilaku elastis tentu akan baik ketika diberi pembebanan seperti beban gravitasi, beban angin dan gempa sedang. Namun jika terjadi gempa dengan skala besar, bangunan yang didesain elastis tentu tidak praktis maka diijinkan untuk mendesain bangunan sampai pada kondisi inelastis.

Perencanaan struktur yang mengalami kondisi inelastis tentu perlu ditempatkan sedemikian rupa sehingga terencana dan terkontrol. Sedangkan bagian struktur yang lain dapat direncanakan berperilaku elastis. Jenis struktur baja tahan gempa bermacam-macam, namun disini hanya akan dijelaskan mengenai *Special Moment Frames (SMF)*, *Concentrically Braced Frames (CBF)* dan *Eccentrically Braced Frames (EBF)*.

2.3.1 SMF (*Special Moment Frames*)

SMF merupakan jenis struktur yang didesain untuk berperilaku secara inelastis penuh. Dalam struktur ini terdapat bagian sendi plastis yang perlu direncanakan secara khusus. Sendi plastis ini berguna untuk menyerap beban-beban gempa. Hal penting lainnya, struktur ini harus didesain menuruti konsep *strong column-weak beam* untuk memastikan bagian sendi plastis tidak terjadi pada kolom. Berdasarkan sifat daktilitas, SMF dapat diklasifikasikan menjadi 3 tipe, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem ini dapat berdeformasi inelastis secara terbatas karena memiliki kekakuan besar dan daktilitasnya yang lebih kecil. Bangunan yang menggunakan sistem ini biasanya untuk wilayah zona gempa satu dan dua.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem ini memiliki sifat daktilitas yang lebih besar daripada SRPMB. Bangunan yang menggunakan sistem ini biasanya untuk wilayah zona gempa tiga dan empat.

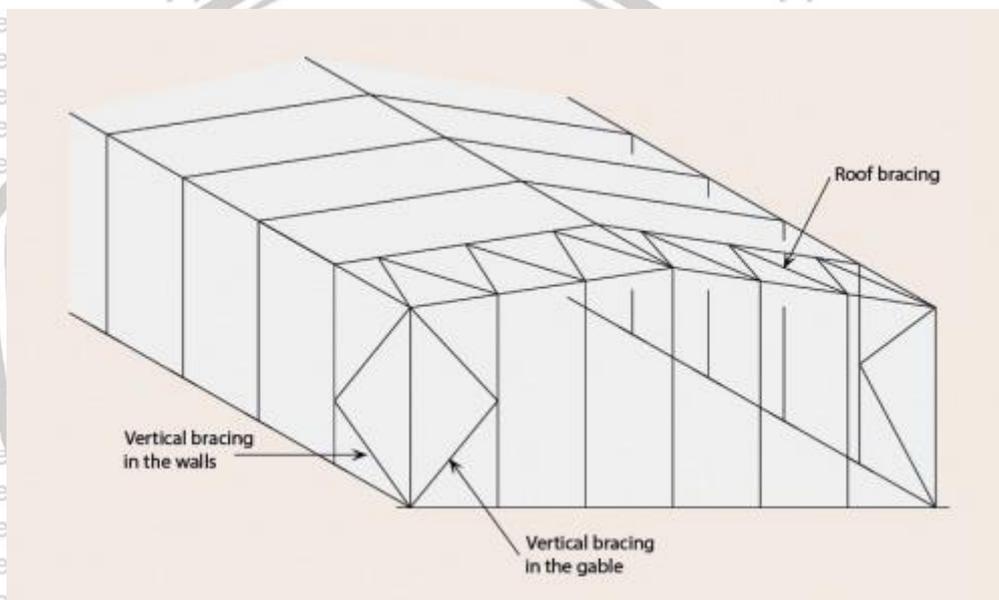
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem ini memiliki sifat daktilitas yang sangat tinggi. Bangunan yang menggunakan sistem ini biasanya untuk wilayah zona gempa lima dan enam.

2.3.2 CBF (*Concentrically Braced Frames*)

Sistem ini banyak digunakan pada struktur bangunan di Indonesia. Sistem ini dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga *bracing* akan bekerja sebagai *fuse*, artinya bagian yang akan menerima aksi leleh tarik atau tekuk tekan saat terjadi gempa sehingga jika terjadi kerusakan dapat diperbaiki. Sistem ini ada dua jenis menurut sumbunya, yaitu:

1. *Vertical Bracing* merupakan *bracing* yang berada tegak lurus dengan permukaan tanah.
2. *Horizontal Bracing* merupakan *bracing* yang berada sejajar dengan permukaan tanah.



Gambar 2.10 Vertical dan horizontal bracing

Selain kedua jenis diatas, CBF juga memiliki jenis-jenis lain berdasarkan variasi *bracing* nya antara lain:

1. *Single Diagonal Bracing*



Gambar 2.11 Single Diagonal Bracing

2. *V-Bracing*



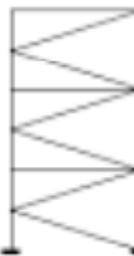
Gambar 2.12 V Bracing

3. Inverted V Bracing



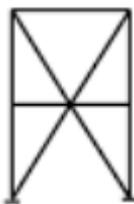
Gambar 2.13 Inverted V Bracing

4. K Bracing



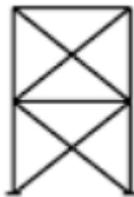
Gambar 2.14 K Bracing

5. Two Story X Bracing



Gambar 2.15 Two Story X Bracing

6. X Bracing

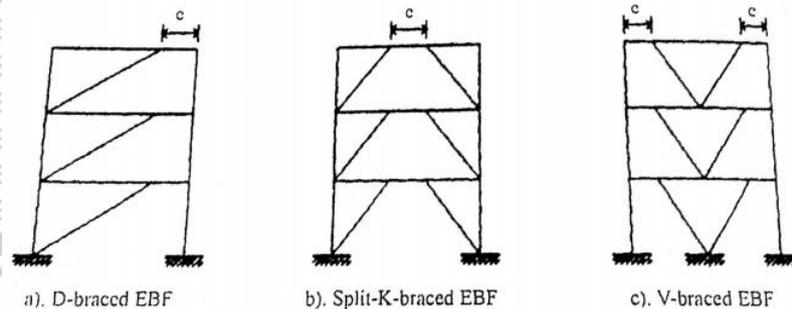


Gambar 2.16 X Bracing

2.3.3. EBF (Eccentrically Braced Frames)

Sistem EBF bekerja mirip dengan CBF, yang membedakan *link beam* akan menjadi *fuse* yang diharapkan bekerja secara inelastis memanfaatkan terjadinya leleh geser atau leleh

lentur atau kombinasi keduanya. Keunggulan dari sistem ini daripada CBF dari segi arsitektur dapat memberikan ruang yang cukup untuk pemasangan bukaan, jendela maupun pintu. Dari segi kekuatan saat terjadi gempa, sistem EBF juga memiliki kekakuan elastis pada kolom yang tinggi karena perilaku inelastis dibatasi hanya pada bagian balok. Hal tersebut didukung dengan pendapat Engelhardt dan Popov (1989) bahwa sistem EBF memiliki elastisitas yang sangat baik dengan adanya pembebanan lateral, sifat daktilitas yang bagus dengan adanya beban gempa yang besar dan memiliki kemampuan disipasi energi yang baik. Sistem EBF dapat diklasifikasikan sebagai berikut,



Gambar 2.17 Tipe eccentrically braced frames

Melihat gambar 2.12, e merupakan simbol untuk menandai panjang dari *link beam*. Dari ketiga tipe tersebut, tipe *split-K braced EBF* menjadi yang terbaik dikarenakan momen yang menyebabkan inelastis hanya terjadi pada balok, sehingga dipastikan kolom tidak akan terjadi kegagalan akibat kondisi inelastis.

Pada bagian *link beam* saat diberikan pembebanan akan mengalami 2 kondisi, yaitu kelelahan lentur dan kelelahan geser. Menurut Brunneau (2011), pada *link beam* 2 kondisi kelelahan lentur dan kelelahan geser dapat terjadi bersamaan ketika panjang *link beam* sebesar e_0 , persamaannya sebagai berikut,

$$e_0 = \frac{2M_p}{V_p} \quad (2.15)$$

kelelahan lentur akan terjadi di kedua ujung *link beam* ketika $e > e_0$ dan kelelahan geser akan terjadi saat $e \leq e_0$. *Link beam* sendiri memiliki 3 kategori berdasarkan perbedaannya (Engelhardt and Popov, 1989 dalam Brunneau, 2011) diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Long link*, $e \geq 2,6 \frac{M_p}{V_p}$, kelelahan dominan lentur
2. *Intermediate link*, $2,6 \frac{M_p}{V_p} > e > 1,6 \frac{M_p}{V_p}$, kelelahan lentur dan geser
3. *Short link*, $e < 1,6 \frac{M_p}{V_p}$, kelelahan dominan geser

2.4 Pembebanan dan Analisis Struktur EBF Baja

2.4.1 Pembebanan Statis Ekuivalen

Dalam pemberian beban cara paling sederhana untuk menganalisis beban gempa yaitu dengan menggunakan pembebanan statis ekuivalen. Dimana beban gempa rencana yang akan diterima oleh struktur diubah menjadi beban statis lateral pada pusat massa di setiap lantai struktur bangunan. Namun, analisis statis ekuivalen dibatasi hanya pada bangunan reguler horizontal maupun vertikal yang memiliki maksimum ketinggian 40 meter atau 10 lantai (SNI 1726:2012).

Pembebanan pada struktur dicari menggunakan cara *trial and error* untuk mendapatkan beban maksimum saat *aborted*, beban yang menjadi acuan menggunakan beban maksimum saat portal konsentris mengalami *aborted*. Cara mencari beban statis ekuivalen berdasarkan beban gempa yang terjadi sebagai berikut:

1. Berdasarkan ASCE 7-10 ditentukan persamaan untuk mencari gaya geser sebagai berikut,

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots(2.16)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{7}\right)} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

V = Gaya geser

W = Berat bangunan

C_s = Koefisien respon dasar seismik

S_{DS} = Parameter percepatan respons seismik desain dalam rentang periode pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respons seismik desain dalam rentang periode 1 detik

R = Faktor modifikasi respon

I = Faktor keutamaan gempa

T = Periode fundamental struktur

2. Kemudian gaya statis lateral didistribusikan pada setiap lantai menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$F_x = \frac{W_x \times h_x}{\sum_i^n W_n \times h_n} \times V \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan:

F_x = Gaya lateral

V = Gaya geser

W_x = Berat gedung lantai x

h_x = Ketinggian lantai x terhadap dasar lantai

2.4.2 Analisis Elastis-Inelastis (*Push-over*)

Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan perilaku struktur yang dibebani berulang dimulai dari kondisi elastis sampai plastis atau terbentuknya kondisi plastis hingga struktur mengalami fraktur total. Analisis jenis ini sangat cocok untuk perencanaan struktur terhadap beban tak terduga (gempa). Contoh analisis elastis-plastis yang banyak dipakai saat ini yaitu analisis *push-over*.

Dengan konfigurasi beban yang konstan, tapi dengan mengaplikasikan *load-control* maka dapat dilakukan simulasi tahapan pembebanan mulai dari kondisi elastis, plastis hingga kondisi fraktur total terjadi. Dari pengaplikasian *load-control* bisa diketahui kapan bersifat elastis dan kapan mulai memasuki kondisi plastis hingga kapan terjadinya fraktur total. Analisis *push-over* merupakan analisis versi ringan dari analisis non-linier material dengan metode elemen hingga atau FEM.

Dalam analisis *push-over* tentunya perlu suatu prosedur *load-control* dan *displacement control*.

1. *Load Control*

Dengan adanya *load control*, struktur dapat dilakukan pembebanan bertahap untuk mengetahui perilaku struktur mulai dari kondisi elastis, plastis hingga mencapai kondisi fraktur total.

2. *Displacement Control*

Displacement control digunakan untuk mengontrol simpangan yang terjadi pada struktur hingga mencapai simpangan yang ditargetkan dengan pemberian beban yang terus ditingkatkan.

2.4.3 *Software Analisis ABAQUS CAE versi 6.14-1*

Software ABAQUS pertama kali dirilis pada tahun 1978 ini merupakan *software* yang berbasis analisis menggunakan *Finite Element Method* (FEM). ABAQUS CAE dapat digunakan untuk pemodelan serta analisis sebuah komponen yang dirakit hingga dapat menampilkan secara visual hasil dari analisis dengan FEM. Analisis ini dibagi menjadi tiga tahapan sebagai berikut,

1. Proses Awal

Dalam proses ini dilakukan sebuah pemodelan struktur kemudian material yang telah ditentukan diinput ke dalam ABAQUS, dalam penginputan material perlu diperhatikan terhadap satuan yang digunakan. *Software* ini tidak menggunakan satuan yang pasti sehingga ketika menginput material satuan yang digunakan harus konsisten mulai dari awal hingga proses akhir. Dalam input parameter tegangan dan regangan harus digunakan kurva *true stress-strain* hasil konversi dari *engineering stress-strain*.

Pengaturan terhadap *meshing* perlu diperhatikan karena dalam proses ini dapat menentukan ketelitian hasil analisis, ketika *meshing* semakin kecil akan semakin teliti perilaku dari struktur yang diamati. Dalam ABAQUS, batasan yang dapat dipakai seperti *Symmetry/antisymmetry/encastre*, *displacement/rotation*, *velocity/angular velocity*, *acceleration/rotational acceleration*, *eulerian mesh motion*. Batasan ini dapat diaplikasikan pada seluruh model, bagian tertentu sebuah model maupun hubungan antar elemen dalam model. Selanjutnya diberikan pembebanan yang dapat berupa beban terpusat, momen, beban gravitasi dan lain-lain sesuai perencanaan pembebanan yang dibuat.

2. Simulasi

Dalam proses ini dilakukan *running* analisis dimana ABAQUS akan memecahkan masalah numerik pada model struktur dengan menggunakan FEM.

3. Proses Akhir

Dalam proses ini sudah bisa didapatkan data-data yang dibutuhkan bahkan juga dapat menampilkan visualisasi dari hasil analisis. Data-data yang dihasilkan seperti perpindahan pada struktur, momen akibat pembebanan, tegangan dan regangan dan sebagainya.

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian Faridmehr, Iman. Osman, Mohd Hanim. Adnan, Azlan B. Nejad, Ali Farokhi. Hodjati, Reza. Azimi, Mohammadamin berjudul *Corelation between Engineering Stress-Strain and True Stress-Strain Curve* disimpulkan bahwa pada uji tarik baja ketebalan material tidak berpengaruh terhadap kurva *stress-strain*, melainkan kekuatan luluh dan modulus young material.

Dalam penelitian Man Mohan Singh yang berjudul *Comparative Analysis of Concenrically Braced Frame, Eccentrically Braced Frame and Moment Resisting Frame of Steel* dapat disimpulkan bahwa struktur rangka dengan bracing eksentris akan memiliki berat

sendiri struktur yang paling ringan atau dapat dikatakan paling ekonomis pada jumlah lantai berapapun daripada struktur rangka pemikul momen maupun struktur rangka konsentris.

Dalam penelitian Ali Ghabelrahmat yang berjudul *Comparison of the Behavior of Steel Structures with Concentric and Eccentric Bracing Systems* dapat disimpulkan bahwa *displacement* untuk EBF lebih tinggi dari CBF, kekakuan pada CBF lebih tinggi daripada EBF dan struktur CBF akan memasuki wilayah nonlinier lebih lambat daripada struktur EBF.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

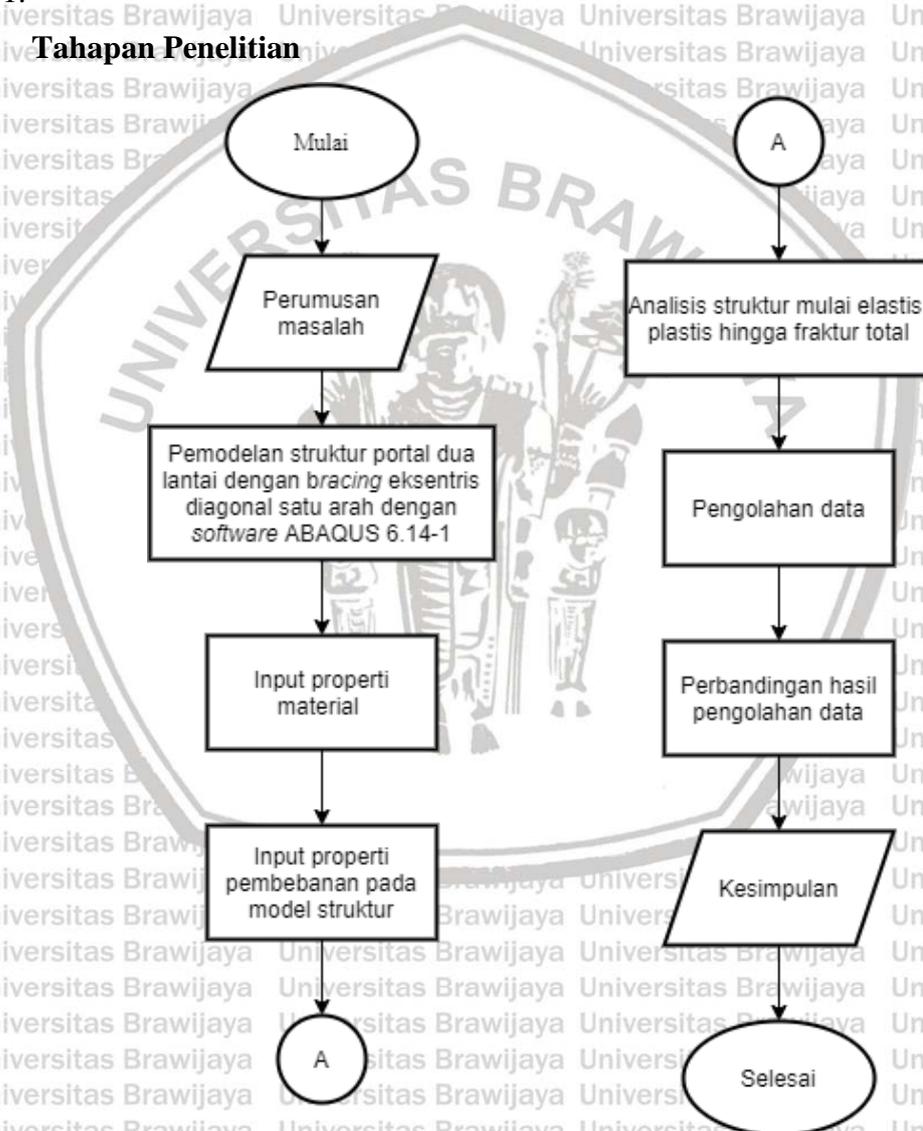
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Kota Malang yang dilaksanakan mulai bulan Januari 2021.

3.2 Alat Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aplikasi ABAQUS versi 6.14-1.

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian tergolong sebagai penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menemukan hubungan antar variabel penelitian. Pemodelan yang dilakukan pada penelitian berupa struktur portal dua lantai dengan bracing eksentris diagonal satu arah. Dimana struktur portal ini memiliki dimensi tinggi kolom setiap lantai 400 cm dan dimensi panjang balok 400 cm. Untuk material yang digunakan berupa baja bermutu BJ-37 dengan variasi profil yang berbeda. Kolom direncanakan menggunakan profil WF 300.200.8.12, balok *link* direncanakan menggunakan profil WF 200.150.6.9, sedangkan *bracing* menggunakan profil WF 100.100.6.8. Data-data lain mengenai profil yang digunakan disesuaikan berdasarkan tabel Morisco. Variasi eksentrisitas yang digunakan yaitu 0 cm, 60 cm dan 120 cm. Pembebanan pada struktur portal digunakan beban statis lateral sebesar 595.000 N. Kemudian dianalisis menggunakan aplikasi ABAQUS versi 6.14-1 untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur portal akibat variasi eksentrisitas.

3.5 Variabel Penelitian

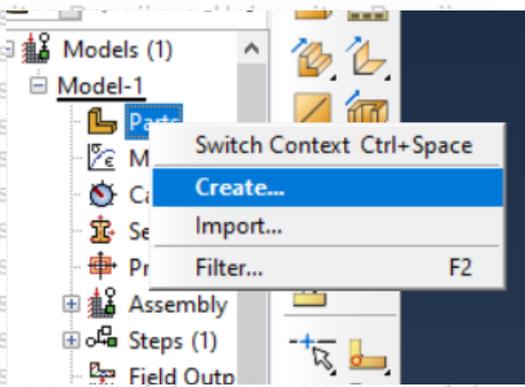
Variabel penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan oleh penulis. Dalam penelitian ini, variabel bebasnya yaitu jenis material baja, tipe dan dimensi profil material baja, mutu material baja, pembebanan lateral pada struktur portal, dan variasi eksentrisitas pada *link beam*.
2. Variabel terikat merupakan variabel yang dihasilkan setelah dilakukan analisis terhadap variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu perilaku tegangan dan regangan.

3.6 Pemodelan dengan Software ABAQUS versi 6.14-1

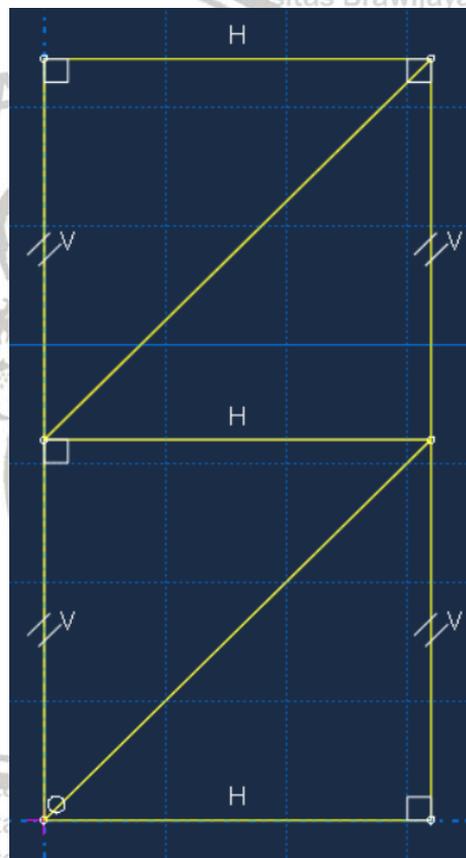
Contoh pemodelan struktur portal dua lantai konsentris *mesh 4* dilakukan menggunakan software ABAQUS versi 6.14-1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat *part* baru dengan klik kanan panan pada *part* kemudian pilih *Create*. Kemudian berikan nama *part* yang sudah dibuat dan pilih *Continue*. Pilih 2D dan Wire.



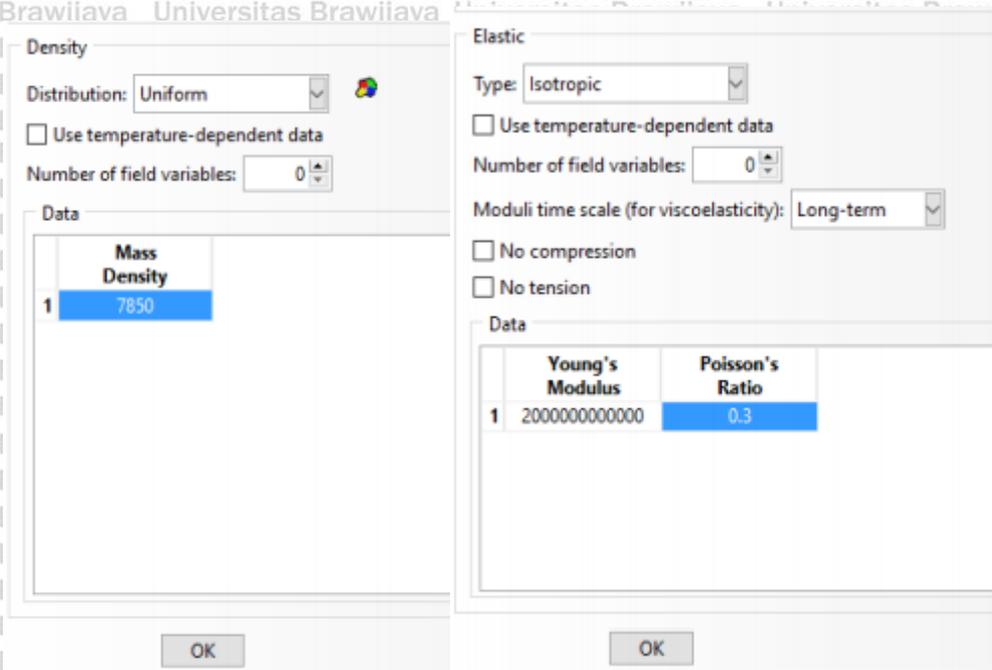
Gambar 3.2 Membuat part baru

2. Gambar model struktur portal dua lantai konsentris menggunakan sistem koordinat kemudian sambungkan antar titik koordinat dengan garis.

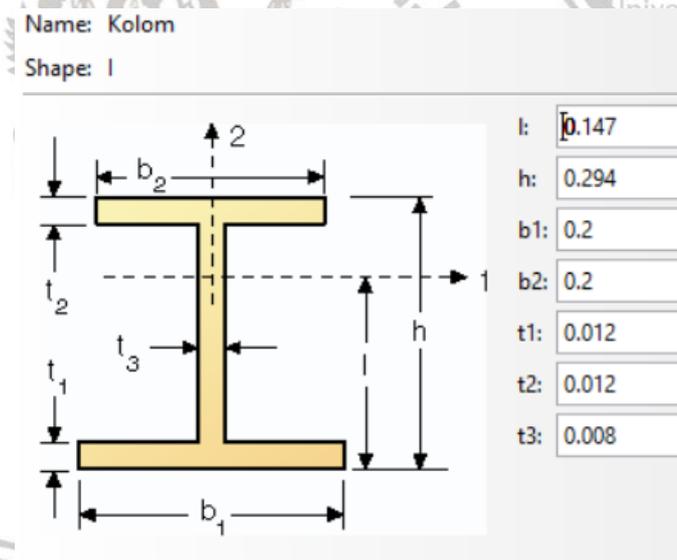


Gambar 3.3 Model portal dua lantai konsentris

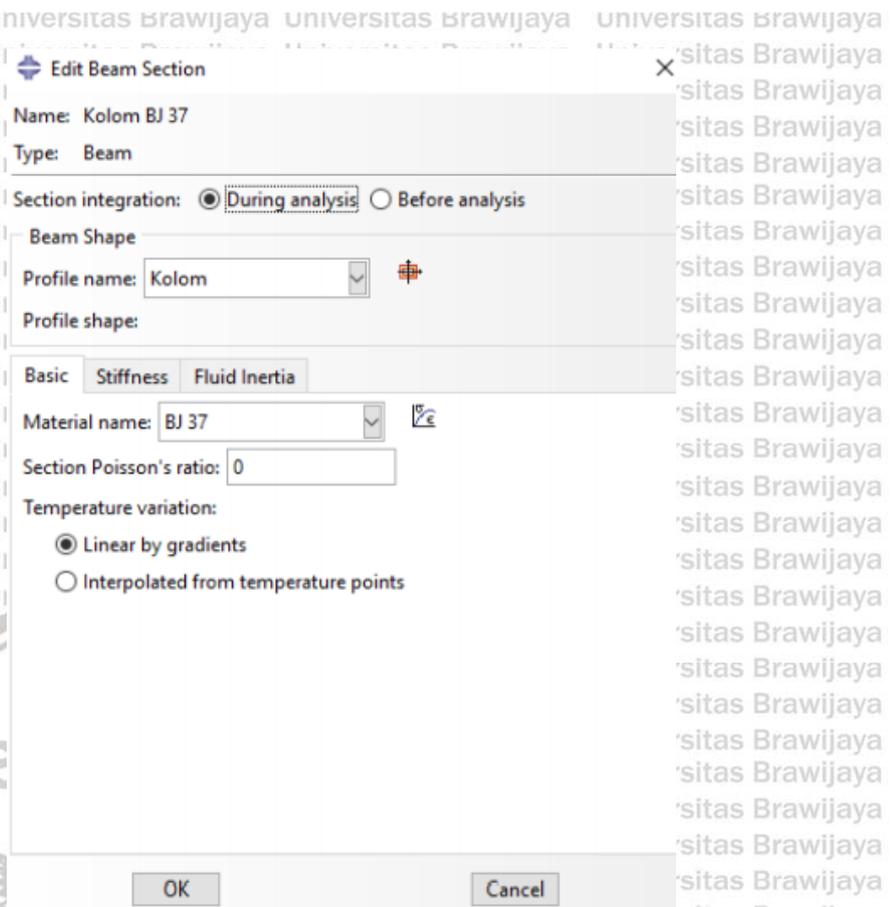
3. Kemudian setelah model sudah dibuat, pada bagian *materials* pada *software* masukkan data-data material seperti mutu baja, tipe baja, dan ukuran profil baja.



Gambar 3.4 Input data mutu material baja BJ-37

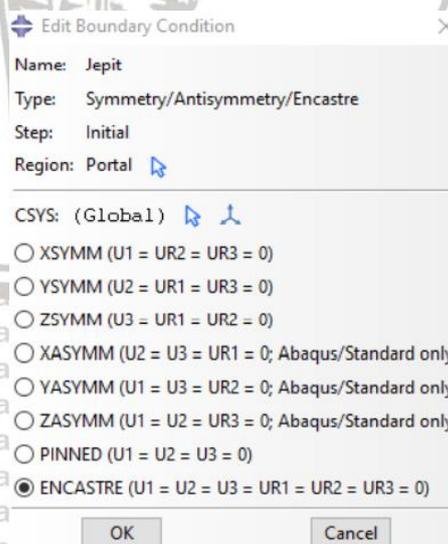


Gambar 3.5 Input dimensi profil WF 300.200.8.12 untuk kolom



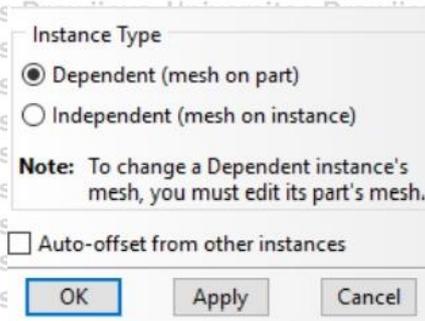
Gambar 3.6 Input material baja BJ-37 ke dalam profil kolom

4. Kemudian tumpuan struktur portal ditentukan sebagai jepit-jepit. Dalam *software* istilah tumpuan jepit disebut juga sebagai encastre.

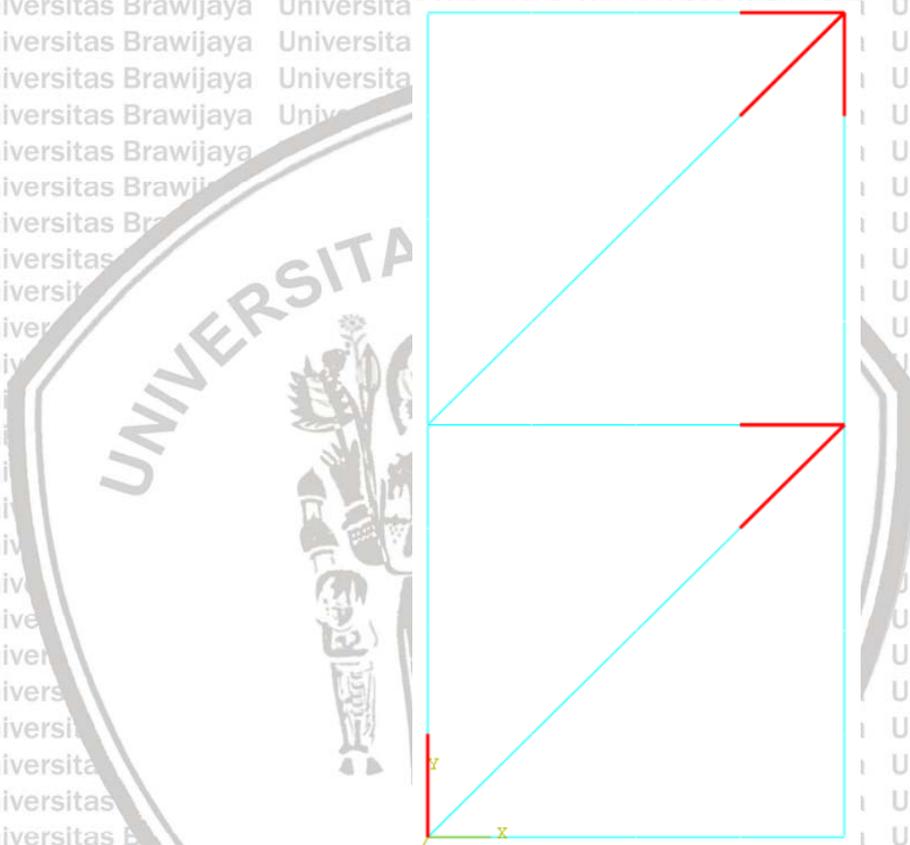


Gambar 3.7 Input tumpuan jepit pada struktur portal

5. *Assembly* merupakan tahapan untuk menggabungkan elemen-elemen yang sudah diinput menjadi satu kesatuan.

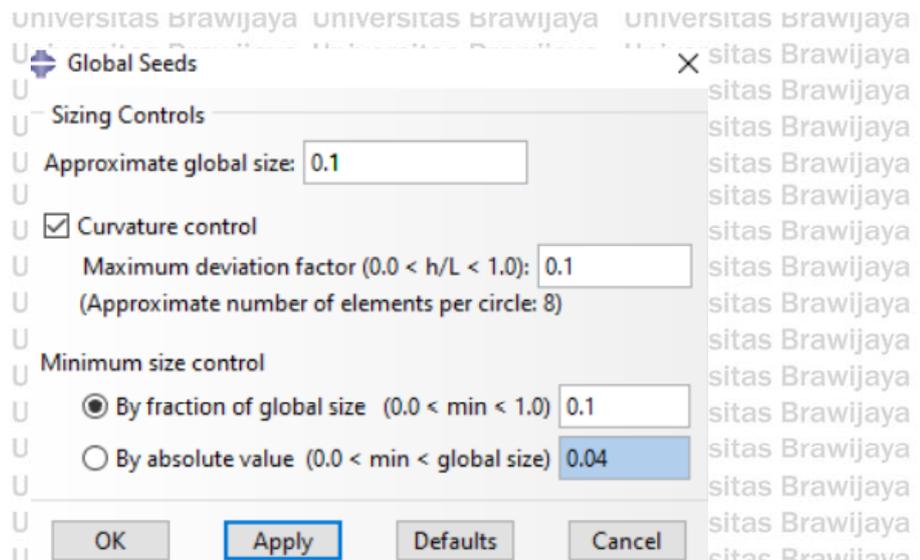


Gambar 3.8 Proses assembly

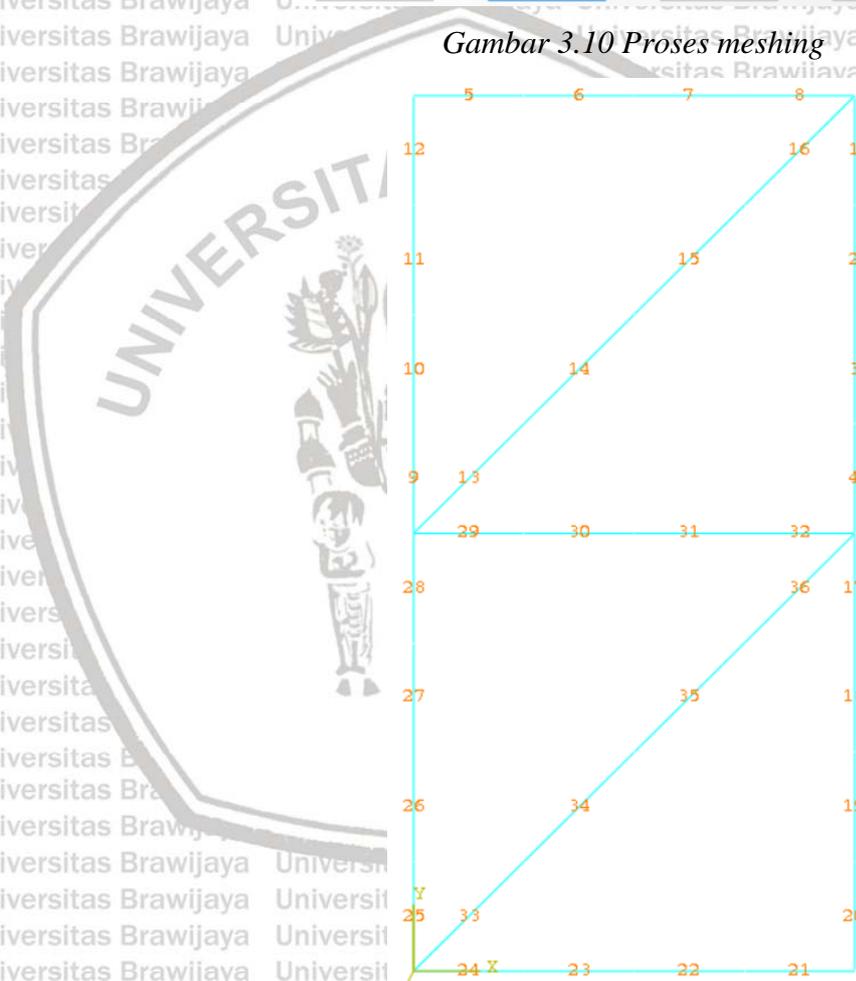


Gambar 3.9 Menentukan elemen yang ditinjau pada sets

6. *Meshing* dilakukan untuk mendapatkan perilaku dari model struktur sesuai dengan keinginan, semakin rapat *meshing* maka analisis akan semakin tepat dan perilaku yang dapat terlihat semakin akurat.

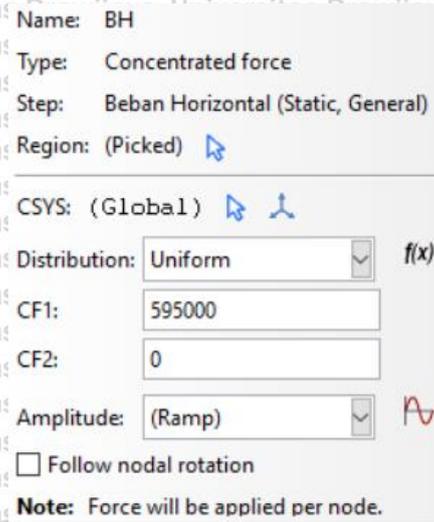


Gambar 3.10 Proses meshing



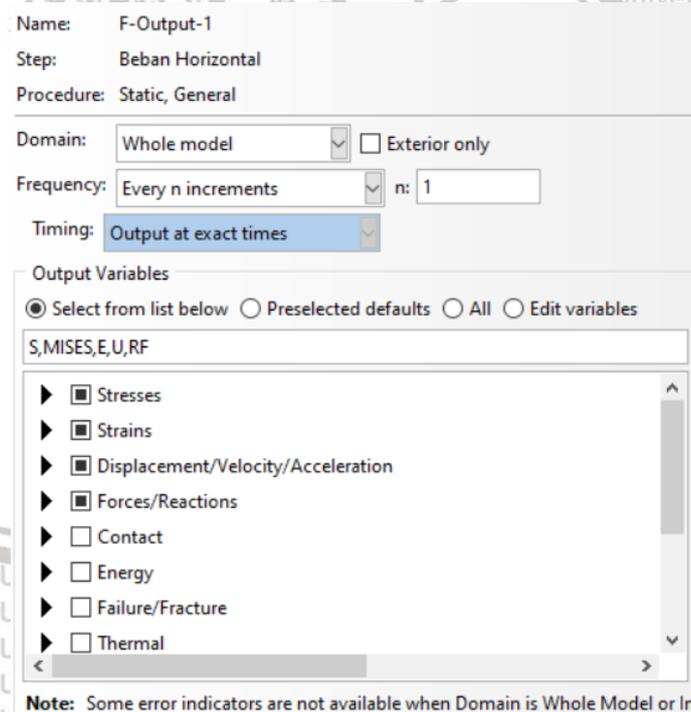
Gambar 3.11 Hasil mesh 4 portal konsentris

- Memasukkan data beban statis lateral sebesar 595.000 N.



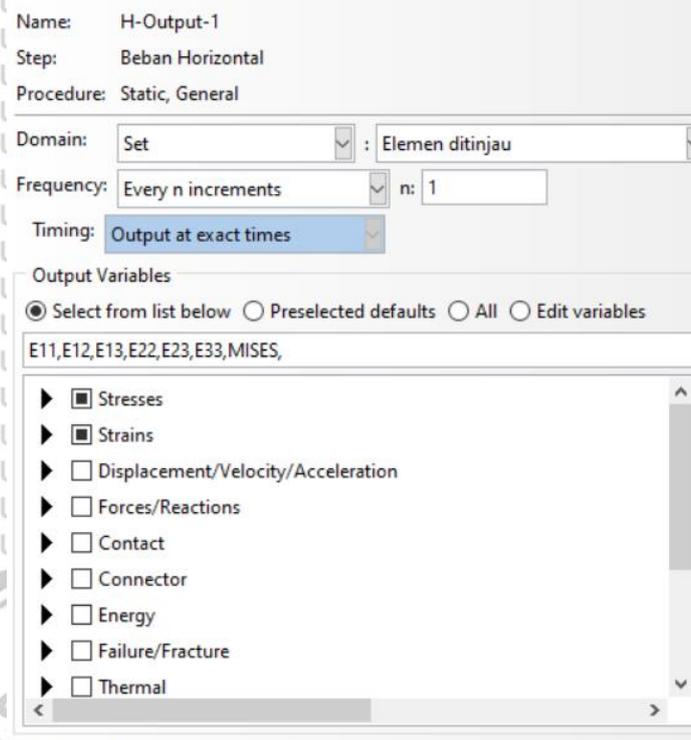
Gambar 3.12 Input beban statis lateral

8. Mengatur *field output request*. Pada bagian variabel *stresses* pilih S dan *misses*, bagian *strains* pilih E, bagian *displacement/velocity/acceleration* pilih U, dan bagian *forces/reaction* pilih RF.



Gambar 3.13 Pengaturan field output

9. Mengatur *history output request*. Pada bagian domain pilih set kemudian pilih elemen yang ditinjau. Pada bagian variabel pilih Mises dan E11.



Gambar 3.14 Pengaturan history output

10. Buat *job* kemudian jalankan analisisnya, kemudian lihat hasilnya seperti data-data mengenai tegangan dan regangan yang terjadi pada elemen struktur portal.
11. Dari data-data yang didapatkan dari tiga model struktur portal kemudian dibandingkan tegangan dan regangan yang terjadi dan ditarik kesimpulan berdasarkan hipotesis penelitian.

3.7 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan teori yang telah dipaparkan pada tinjauan pustaka sebelumnya dapat dibuat hipotesis sebagai berikut:

1. Tegangan maksimum paling besar terjadi pada struktur portal 2 lantai dengan eksentrisitas lebih kecil karena menerima beban lateral maksimum.
2. Regangan maksimum paling besar terjadi pada struktur portal 2 lantai dengan eksentrisitas lebih kecil karena beban lateral maksimum menyebabkan defleksi lebih besar.

BAB IV PEMBAHASAN

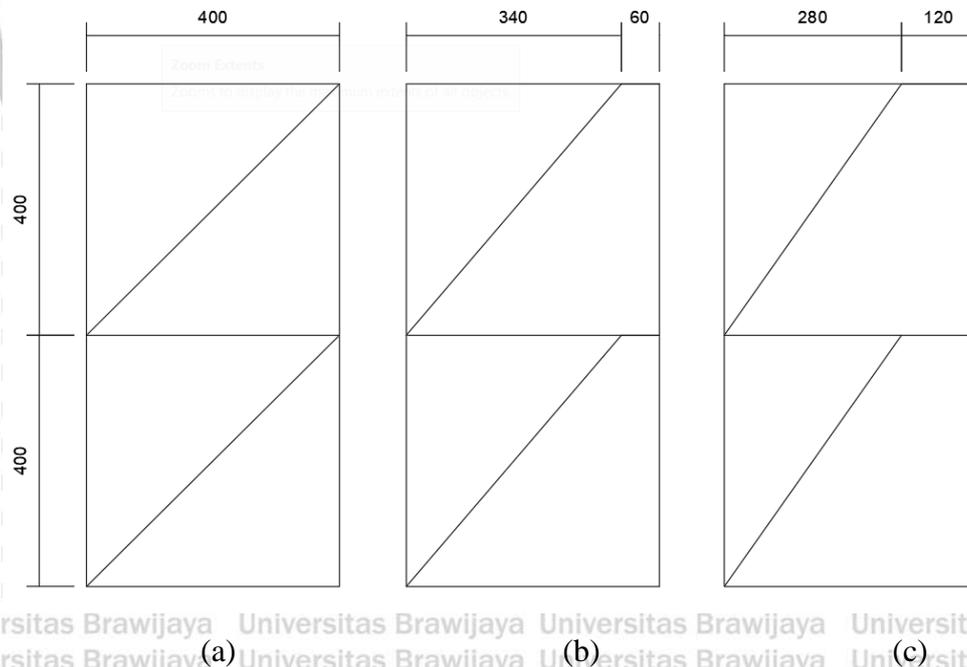
4.1 Pemodelan Struktur Portal 2 Lantai dengan *Bracing* Diagonal Eksentris Satu

Arah

Dalam menganalisis struktur portal 2 lantai digunakan variasi terhadap panjang *link beam* dimana *bracing* dipasang diagonal dengan eksentris satu arah. Eksentrisitas bervariasi yaitu 0 cm, 60 cm dan 120 cm. Untuk ukuran struktur portal didesain dengan dimensi 4 x 4 m tiap lantai. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ABAQUS CAE *Student Edition*.

4.1.1 Model dan Material

Model struktur yang dianalisis berjumlah 3 model, dimana model-model nya dibedakan berdasarkan variasi panjang *link beam* nya. Ketiga model tersebut diantaranya portal eksentris 0 cm (konsentris), portal eksentris 60 cm (*short link*), dan portal eksentris 120 cm (*long link*). Ketiga model tersebut digunakan untuk mempermudah dalam melihat perbedaan perilaku tegangan dan regangan, sehingga dalam proses membandingkannya terlihat perbedaan yang signifikan. Pemodelan struktur portal 2 lantai untuk setiap model sebagai berikut:



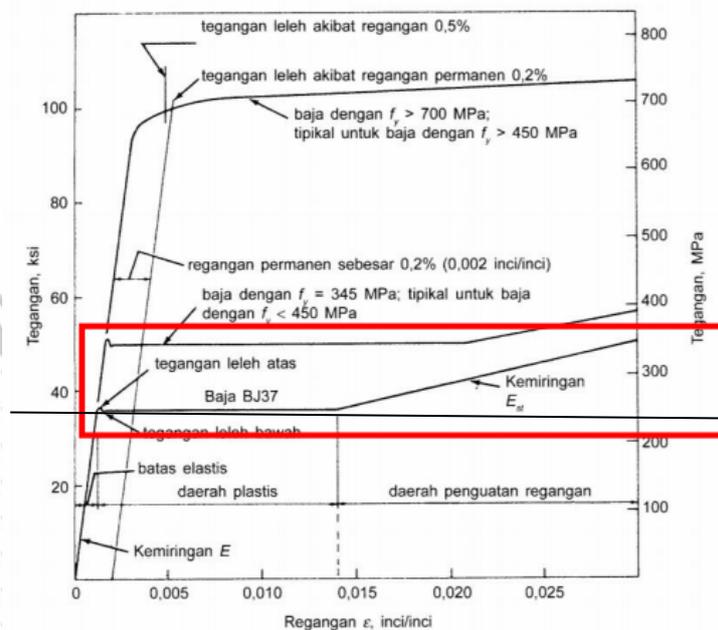
Gambar 4.1 (a) Portal konsentris, (b) Portal short-link, (c) Portal long-link. Satuan dalam centimeter (cm)

Material yang digunakan yaitu baja dengan spesifikasi mutu BJ-37, semua elemen pada portal menggunakan material yang sama. Spesifikasi material yang diinput dalam *software* ABAQUS CAE sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Material Baja BJ-37

No	Spesifikasi Material	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

Nilai *true stress* dan *true strain* yang digunakan berasal dari konversi dari *engineering stress* dan *engineering strain*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang tepat dengan kondisi struktur sebenarnya. Grafik tegangan dan regangan (*engineering*) seperti berikut ini:



Gambar 4.2 Grafik Tegangan dan Regangan (*engineering*)

Hasil konversi nilai tegangan dan regangan (*true*) sebagai berikut:

Tabel 4.2 True Stress dan True Strain

No	Regangan	Tegangan (Mpa)	True strain	True stress
1	0.0025	260	0.0000	260000000
2	0.005	260	0.0050	261300000
3	0.0075	260	0.0075	261950000
4	0.01	260	0.0100	262600000
5	0.0125	260	0.0124	263250000
6	0.015	270	0.0149	274050000
7	0.0175	280	0.0173	284900000
8	0.02	300	0.0198	306000000
9	0.025	310	0.0247	317750000
10	0.03	360	0.0296	370800000

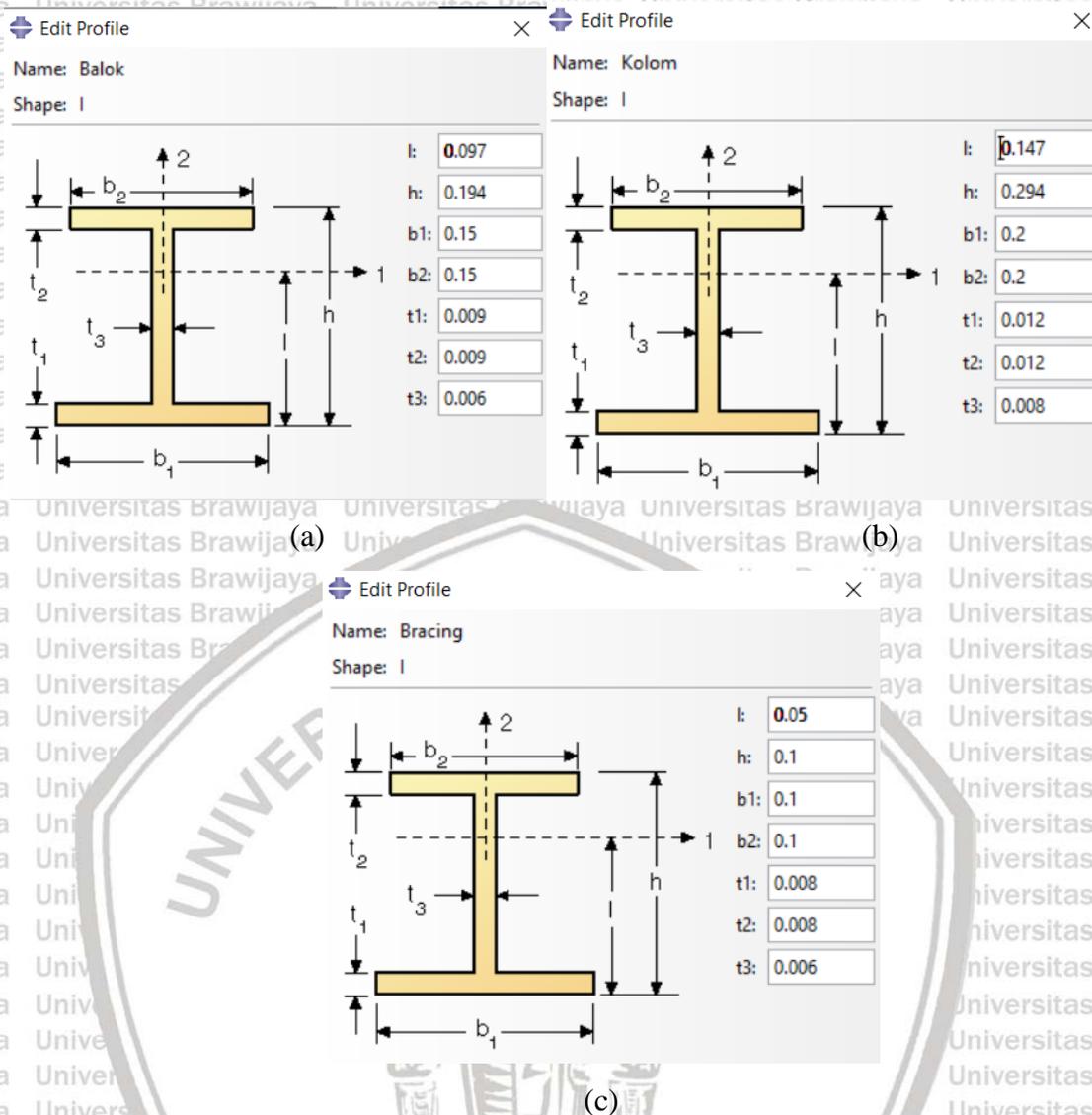
4.1.2 Profil Baja

Profil baja yang digunakan pada elemen struktur portal 2 lantai dengan bracing nya berdasar spesifikasi yang terdapat pada tabel Profil Konstruksi Baja Ir. Morisco, dalam pemilihan setiap dimensi pada elemen balok, kolom, dan bracing menggunakan prinsip *strong column weak beam*. Penggunaan profil pada elemen balok, kolom dan bracing memiliki dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.3 Dimensi profil setiap elemen

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

Dari dimensi profil setiap elemen diatas diinput ke *software* ABAQUS CAE yang ditampilkan seperti berikut:



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

4.2 Simulasi Numerik Struktur Portal 2 Lantai *Bracing* Diagonal Eksentris Satu Arah

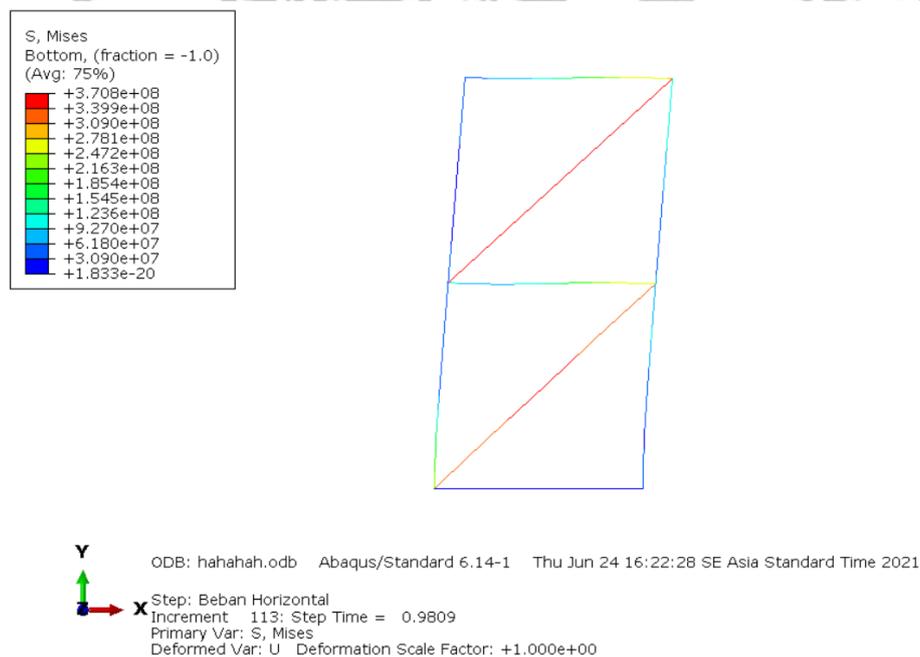
Penggunaan *software* ABAQUS CAE untuk analisis *finite element metode* (FEM) memiliki performa yang baik dengan hasil analisis yang akurat. Dimana analisis perilaku tegangan dan regangan pada pembahasan ini membutuhkan *output* sampai struktur pada kondisi fraktur atau *aborted*. Setiap model yang diinput dibagi menjadi 2 variasi *mesh* yaitu 4 dan 25 *meshing*. *Mesh* 4 dan 25 ini sudah cukup mewakili dalam pembagian setiap elemen renggang dan rapat.

Sangat penting untuk mengatur kenaikan *increment* dan mengaktifkan NLgeom pada tab *steps* dalam ABAQUS CAE. NLgeom harus diaktifkan agar analisis berhenti saat struktur sudah fraktur atau *aborted*. Kenaikan *increment* dan batasnya mempengaruhi terhadap hasil grafik tegangan-regangan, semakin besar *maximum increment* dan semakin kecil kenaikan

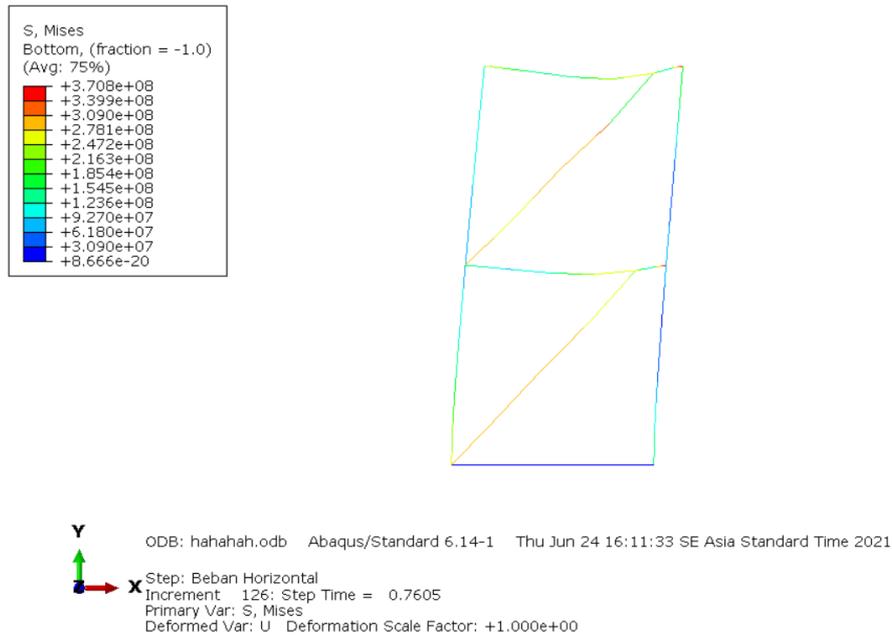
increment maka hasil grafik akan semakin detail. Untuk itu dalam pembahasan ini digunakan *maximum increment* sebesar 200, *initial increment size* 0.001, *minimum increment size* 0.00001 dan *maximum increment size* 0.01.

Simulasi dijalankan dengan menggunakan beban lateral statis sebesar 59,5 ton hasil dari *trial and error* pada struktur portal konsentris mesh 4 pada kondisi *aborted*. Kemudian beban lateral statis tersebut digunakan sebagai beban pada semua model portal. Kemudian ABAQUS CAE akan *running* analisis sampai kondisi *aborted* pada semua model portal, kemudian dapat diketahui berapa besar beban yang dapat ditahan struktur dengan mengalikan dengan *step time* pada output hasil serta perilaku tegangan dan tegangannya.

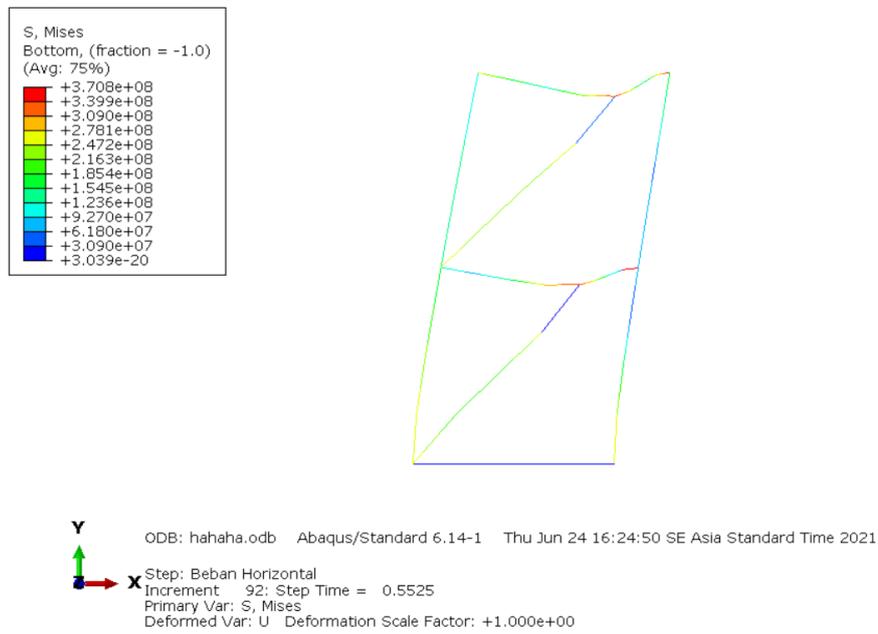
Hasil analisis dapat dilihat melalui tab *results* pada bagian *history output*, dimana pada bagian ini sebelumnya harus sudah dipilih elemen apa yang ditinjau dan data *output* apa saja yang akan dikeluarkan. Dalam pembahasan ini data yang dikeluarkan yaitu nilai Stresses Mises (*mises equivalent stress*) dan Strains E (*total strain components*) dalam hal ini E11 yaitu regangan arah x dan y. Hasil analisis tegangan mises pada seluruh elemen ketiga model portal sebagai berikut:



Gambar 4.4 Tegangan mises portal konsentris



Gambar 4.5 Tegangan mises portal eksentris 60 cm



Gambar 4.6 Tegangan mises portal eksentris 120 cm

4.3 Respon Struktur Portal Akibat Beban Statis Lateral

Dalam pembebanan terhadap portal diberikan sebesar 595.000 N pada semua model portal, semua model portal mengalami *aborted* atau keruntuhan dimana disetiap model memiliki nilai *step time* yang berbeda yang menandakan nilai maksimum beban yang dapat ditahan oleh portal. Berikut hasil perhitungan beban maksimum saat portal mengalami keruntuhan:

Tabel 4.4 Beban maksimum setiap model portal

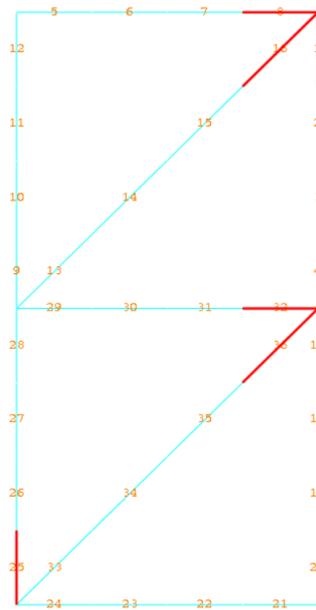
No	Model	Input Beban (N)	Step Time	Beban saat keruntuhan (N)
1	Konsentris Mesh 4	595.000	0,9809	583.635,5
	Konsentris Mesh 25		0,9978	593.691
2	Eksentris 60 cm Mesh 4	595.000	0,7605	452.497,5
	Eksentris 60 cm Mesh 25		0,6392	380.324
3	Eksentris 120 cm Mesh 4	595.000	0,5525	328.737,5
	Eksentris 120 cm Mesh 25		0,4207	250.316,5

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

Hasil analisis yang diambil hanya berfokus pada beberapa *mesh* elemen yang mengalami tegangan kritis dalam dua variasi yaitu *mesh* 25 (rapat) dan *mesh* 4 (renggang).

4.4.1 Portal Konsentris (eksentrisitas 0 cm)

A. Mesh 4



Gambar 4.7 Elemen kritis pada portal konsentris dengan mesh 4

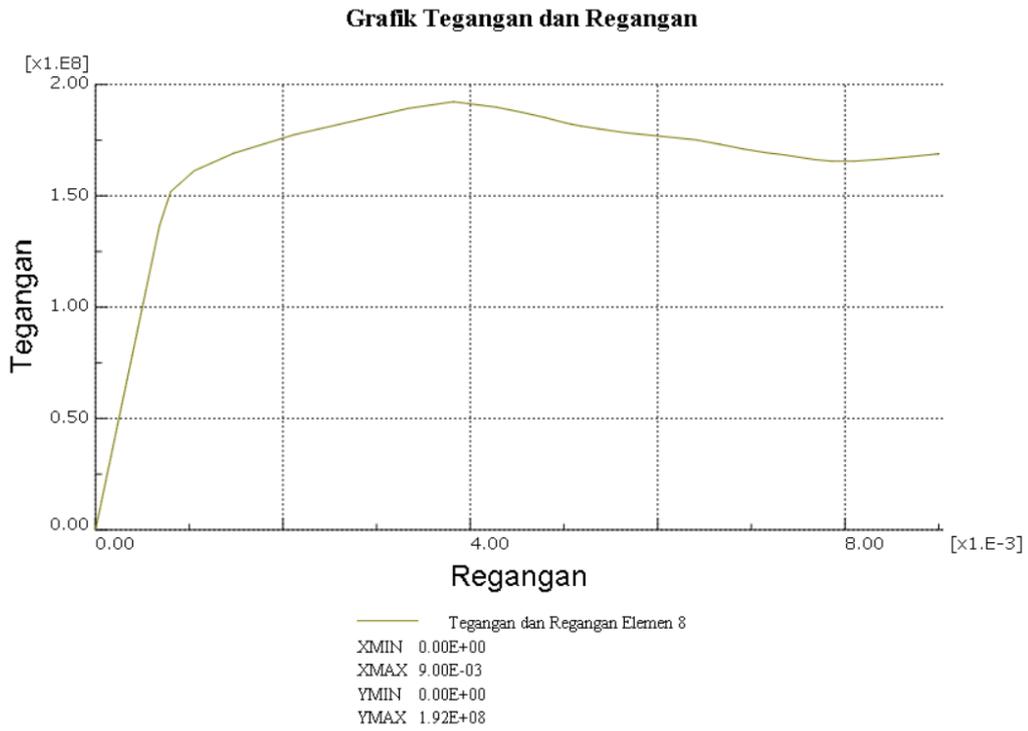
Elemen yang ditinjau dalam history output ABAQUS CAE diantaranya yaitu elemen balok (8 dan 32), elemen *bracing* (16 dan 36) dan elemen kolom (1 dan 25) seperti pada **Gambar 4.7**.

Hasil analisis *software* ABAQUS CAE menghasilkan nilai *step time* sebesar 0,9809 dengan beban maksimumnya yaitu 583.635,5 N. Sedangkan nilai tegangan dan regangan saat menerima beban maksimum seperti pada **Tabel 4.5**.

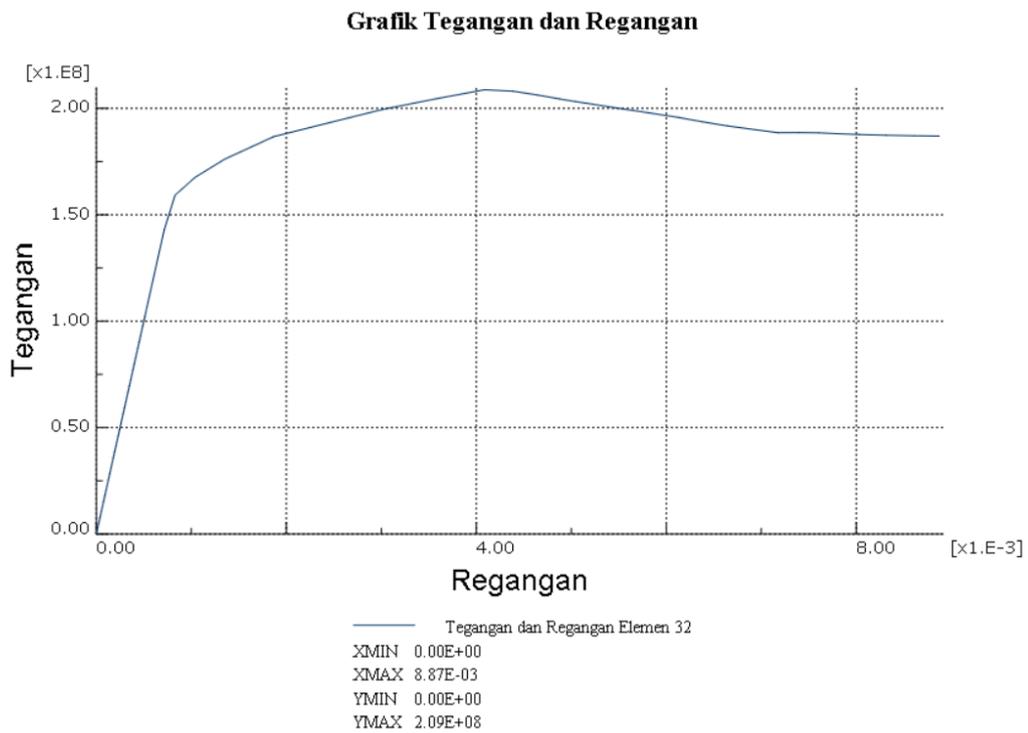
Tabel 4.5 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal konsentris dengan mesh 4

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	8	Balok	168,88	0,00900
2	32	Balok	186,97	0,00887
3	16	Bracing	370,79	0,03389
4	36	Bracing	342,12	0,02866
5	1	Kolom	79,89	0,00039
6	25	Kolom	264,24	0,00983

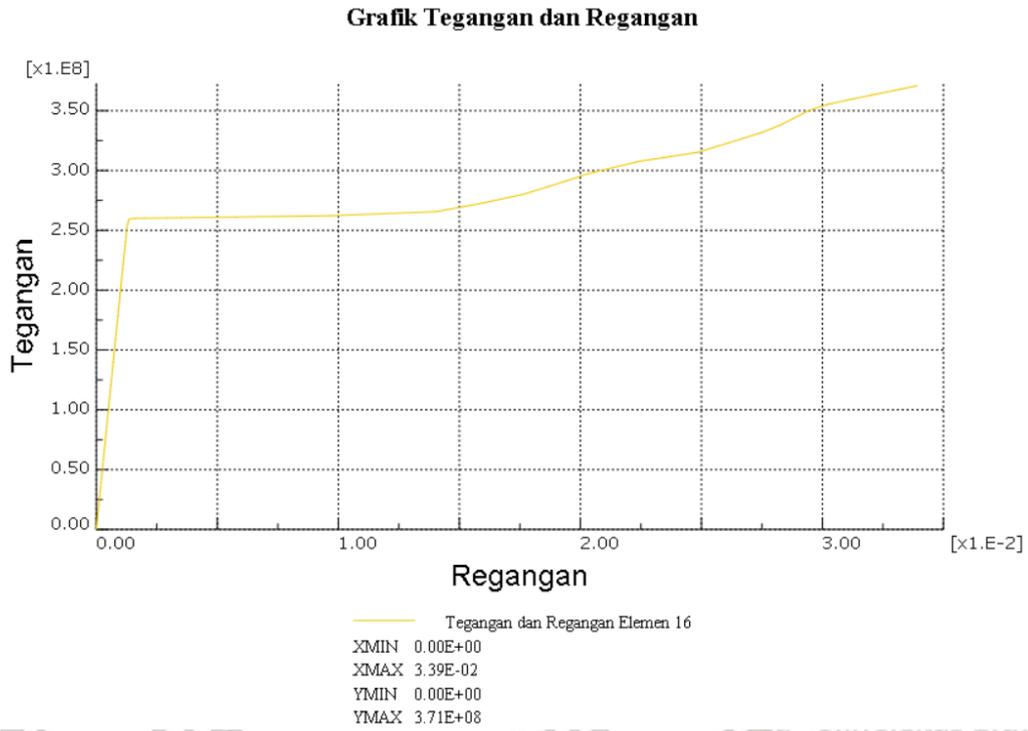
Dari hasil analisis pada **Tabel 4.5**, maka dapat diketahui bahwa pada beban maksimum sebesar 583.635,5 N yang ditahan oleh struktur portal konsentris dengan *mesh* 4 pada kondisi *aborted* menghasilkan tegangan terbesar pada bracing elemen 16 sebesar 370,79 MPa dan regangan sebesar 0,03389. Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan setiap elemen yang ditinjau dapat melihat grafik hubungan tegangan dan regangan sebagai berikut:



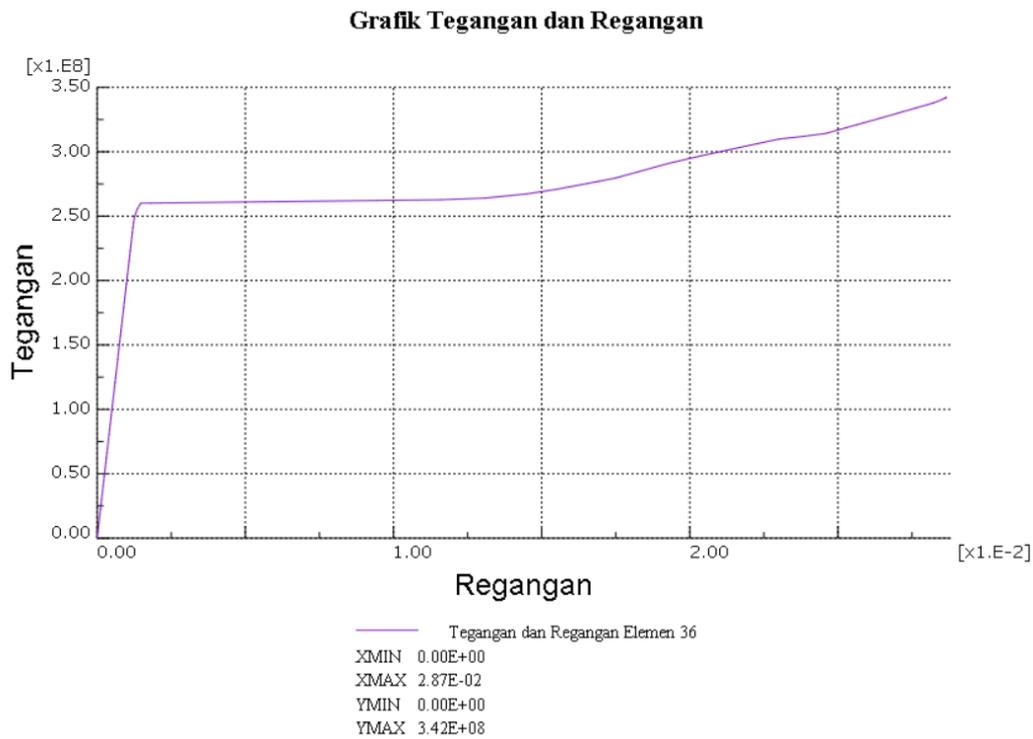
Gambar 4.8 Grafik tegangan dan regangan elemen 8



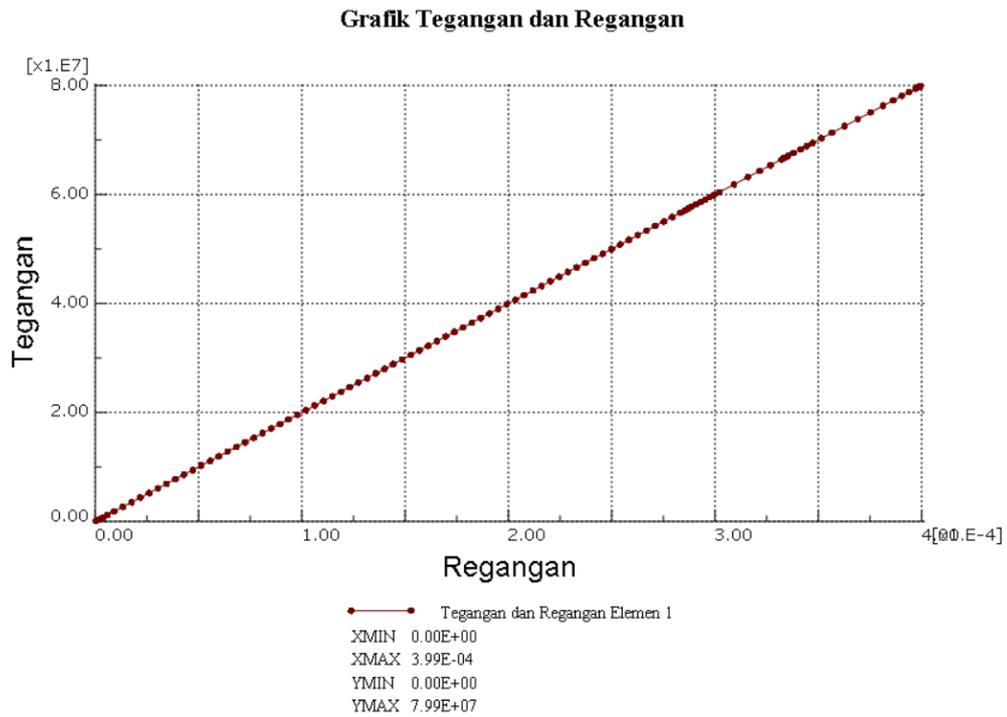
Gambar 4.9 Grafik tegangan dan regangan elemen 32



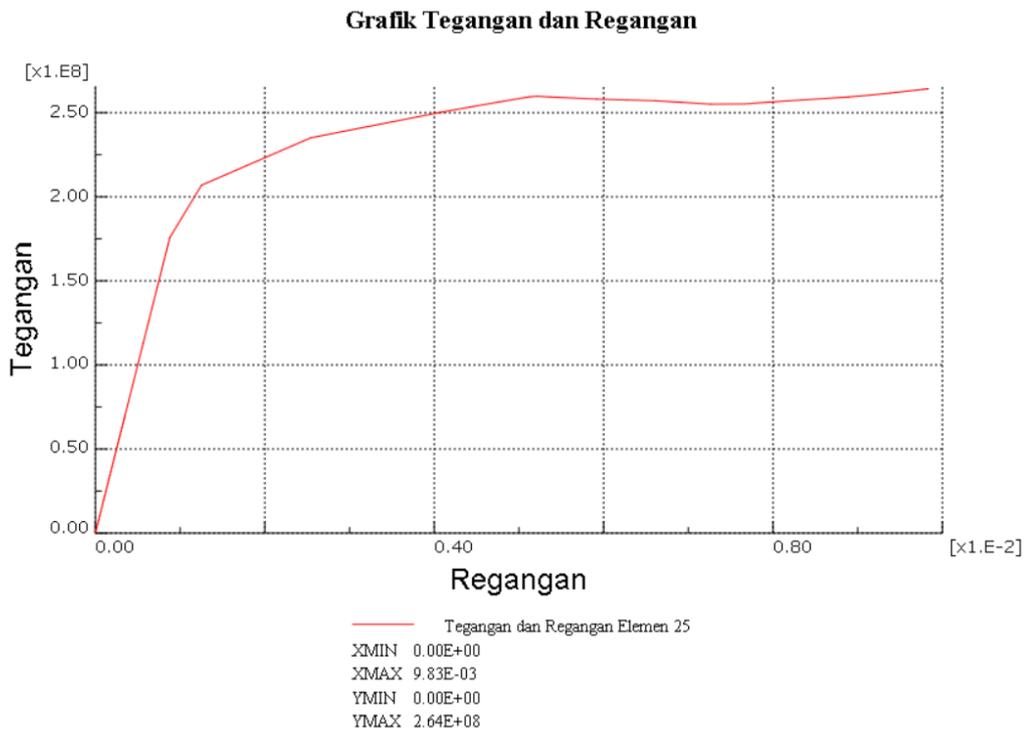
Gambar 4.10 Grafik tegangan dan regangan elemen 16



Gambar 4.11 Grafik tegangan dan regangan elemen 36



Gambar 4.12 Grafik tegangan dan regangan elemen 1

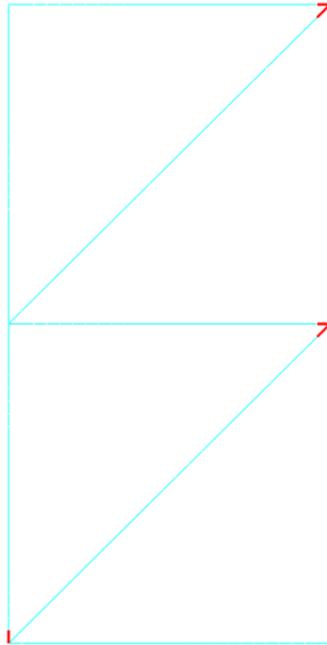


Gambar 4.13 Grafik tegangan dan regangan elemen 25

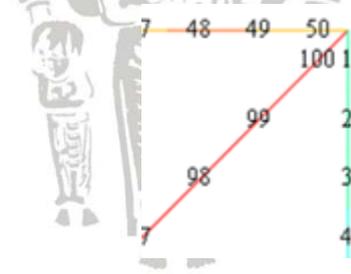


B. Mesh 25

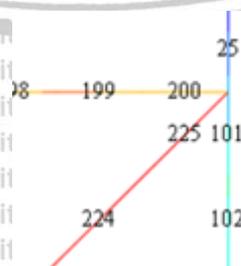
Elemen yang ditinjau dalam history output ABAQUS CAE diantaranya yaitu elemen balok (50 dan 200), elemen *bracing* (100 dan 225) dan elemen kolom (1 dan 151) seperti pada **Gambar 4.8**.



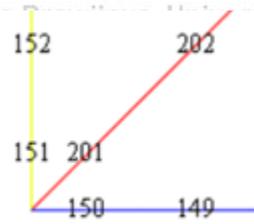
Gambar 4.14 Elemen kritis pada portal konsentris dengan mesh 25



Gambar 4.15 Elemen kritis 50, 100 dan 1



Gambar 4.16 Elemen kritis 200 dan 225



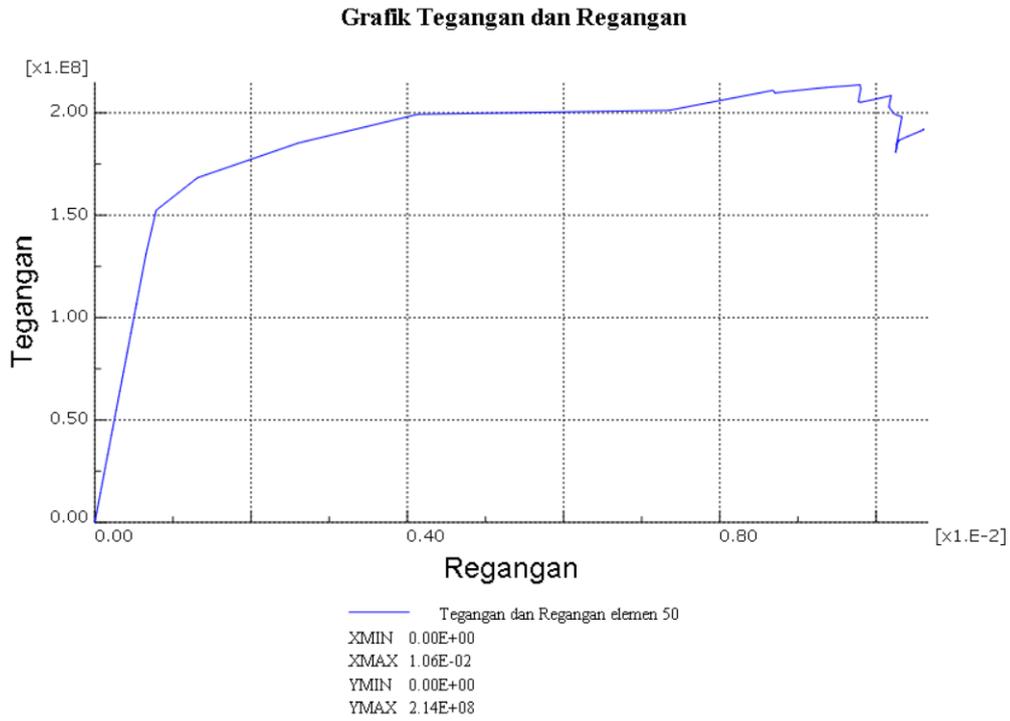
Gambar 4.17 Elemen kritis 151

Hasil analisis *software* ABAQUS CAE menghasilkan nilai *step time* sebesar 0,9978 dengan beban maksimumnya yaitu 593.691 N. Sedangkan nilai tegangan dan regangan saat menerima beban maksimum seperti pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal konsentris dengan mesh 25

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	50	Balok	191,94	0,01061
2	200	Balok	208,75	0,01133
3	100	Bracing	370,80	0,04872
4	225	Bracing	367,04	0,04592
5	1	Kolom	79,31	0,00039
6	151	Kolom	298,26	0,01824

Dari hasil analisis pada **Tabel 4.6**, maka dapat diketahui bahwa pada beban maksimum sebesar 593.691 N yang ditahan oleh struktur portal konsentris dengan *mesh* 25 pada kondisi *aborted* menghasilkan tegangan terbesar pada bracing elemen 100 sebesar 370,80 MPa dan regangan sebesar 0,04872. Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan setiap elemen yang ditinjau dapat melihat grafik hubungan tegangan dan regangan sebagai berikut:

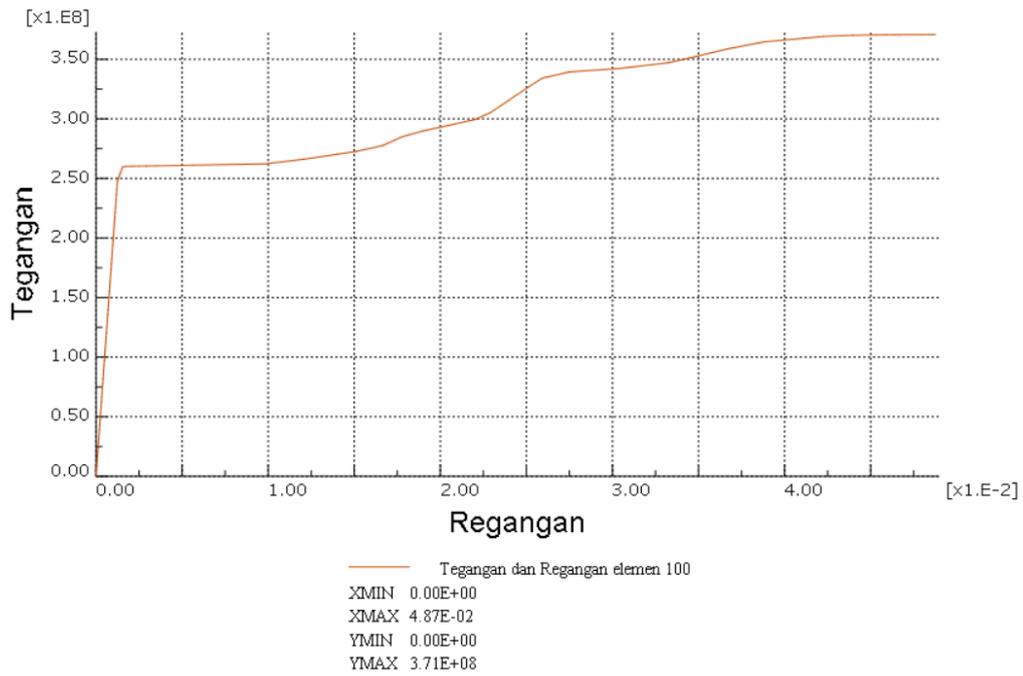


Gambar 4.18 Grafik tegangan dan regangan elemen 50



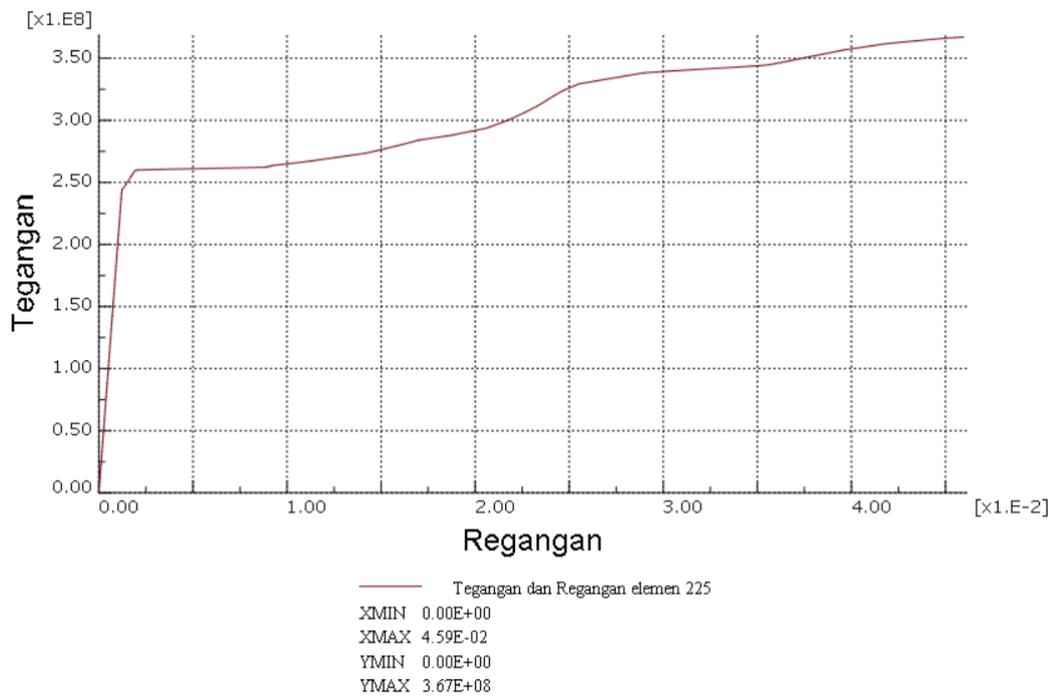
Gambar 4.19 Grafik tegangan dan regangan elemen 200

Grafik Tegangan dan Regangan



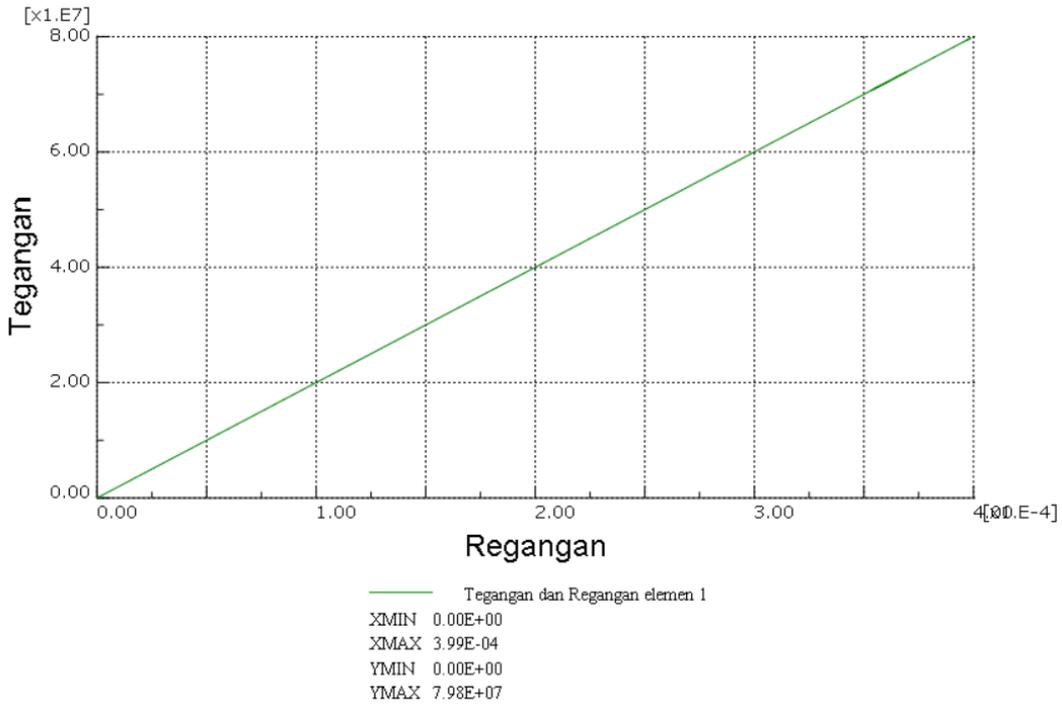
Gambar 4.20 Grafik tegangan dan regangan elemen 100

Grafik Tegangan dan Regangan



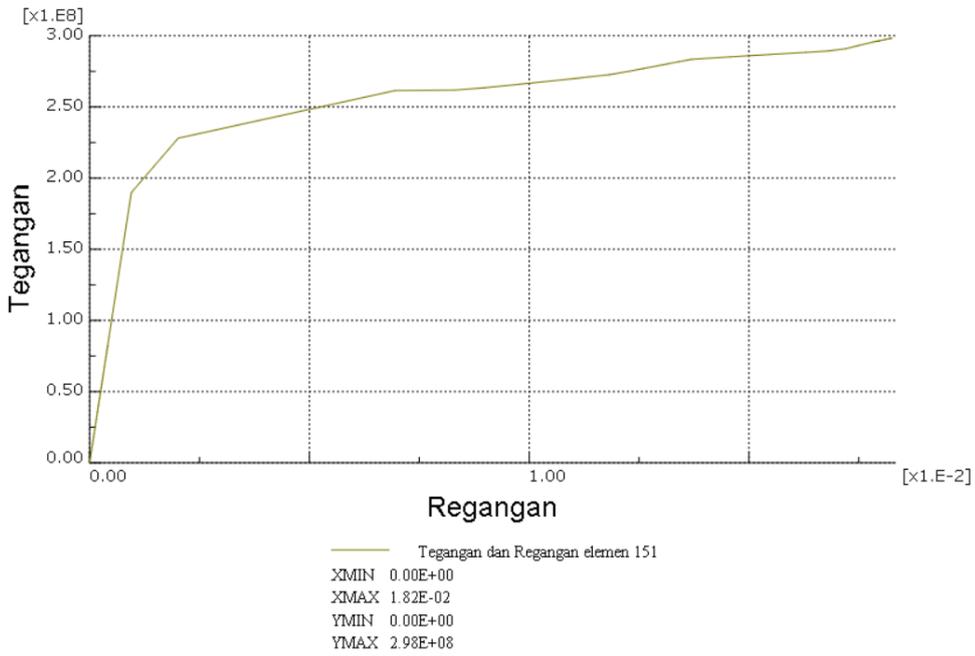
Gambar 4.21 Grafik tegangan dan regangan elemen 225

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.22 Grafik tegangan dan regangan elemen 1

Grafik Tegangan dan Regangan

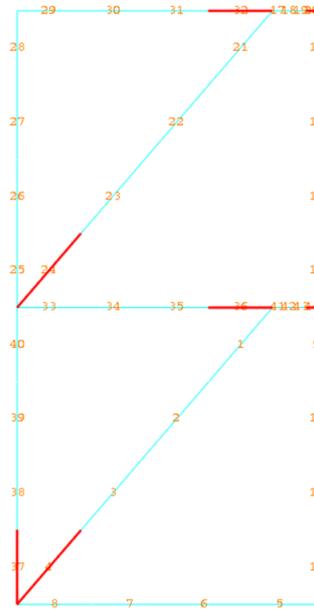


Gambar 4.23 Grafik tegangan dan regangan elemen 151

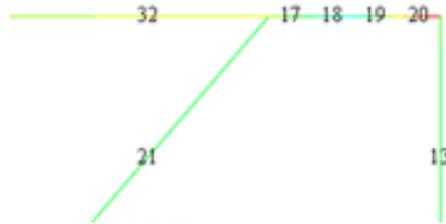
4.4.2 Portal Eksentrisitas 60 cm

A. Mesh 4

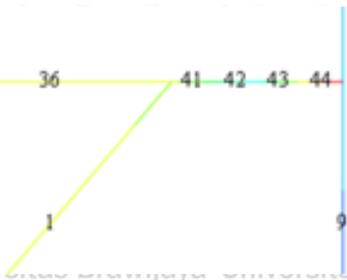
Elemen yang ditinjau dalam history output ABAQUS CAE diantaranya yaitu elemen balok (32 dan 36), elemen *link beam* (20 dan 44), elemen *bracing* (4 dan 24) dan elemen kolom (13 dan 37) seperti pada **Gambar 4.24**.



Gambar 4.24 Elemen kritis pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 4



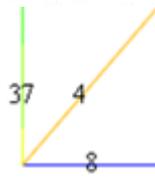
Gambar 4.25 Elemen kritis 32, 20 dan 13



Gambar 4.26 Elemen kritis 36 dan 44



Gambar 4.27 Elemen kritis 24



Gambar 4.28 Elemen kritis 37 dan 4

Hasil analisis *software* ABAQUS CAE menghasilkan nilai *step time* sebesar 0,7605 dengan beban maksimumnya yaitu 452.497,5 N. Sedangkan nilai tegangan dan regangan saat menerima beban maksimum seperti pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 4

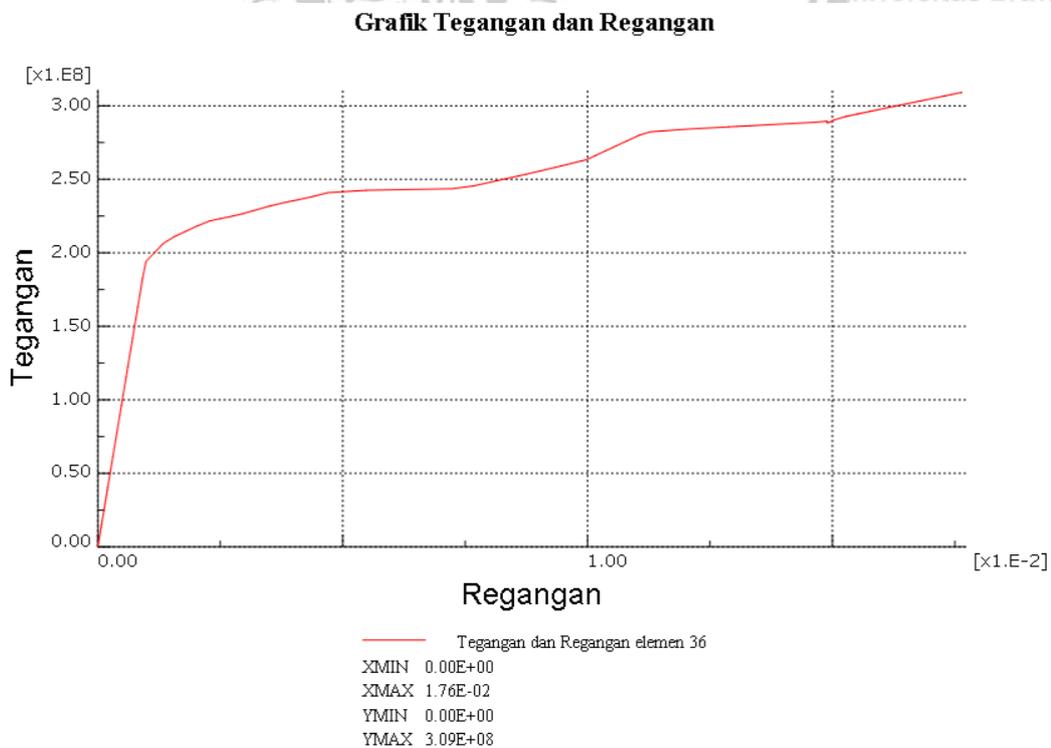
No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	32	Balok	312,73	0,02846
2	36	Balok	309,15	0,01764
3	4	<i>Bracing</i>	284,64	0,01736
4	24	<i>Bracing</i>	283,22	0,01826
5	13	Kolom	133,07	0,00066
6	37	Kolom	264,94	0,00979
7	20	<i>Link beam</i>	370,80	0,21599
8	44	<i>Link Beam</i>	370,80	0,150494

Dari hasil analisis pada **Tabel 4.7**, maka dapat diketahui bahwa pada beban maksimum sebesar 452.497,5 N yang ditahan oleh struktur portal eksentris 60 cm dengan *mesh* 4 pada kondisi *aborted* menghasilkan tegangan terbesar pada *link beam* elemen 20 dan 44 sebesar 370,80 MPa dan regangan terbesar sebesar 0,21599. Untuk

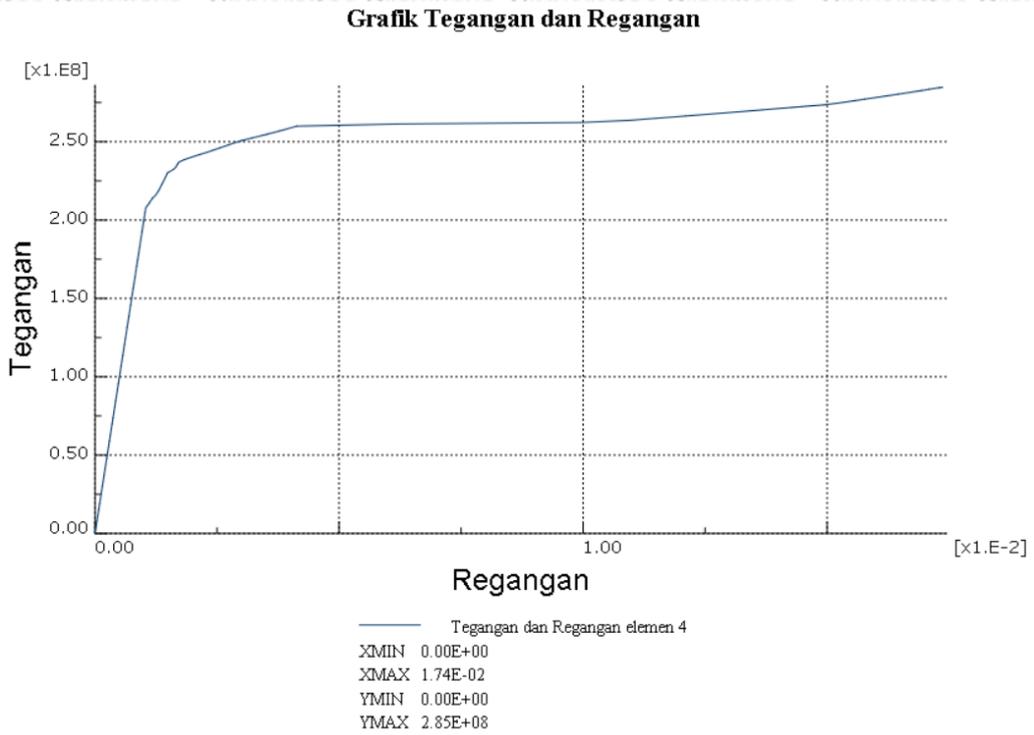
mengetahui perilaku tegangan dan regangan setiap elemen yang ditinjau dapat melihat grafik hubungan tegangan dan regangan sebagai berikut:



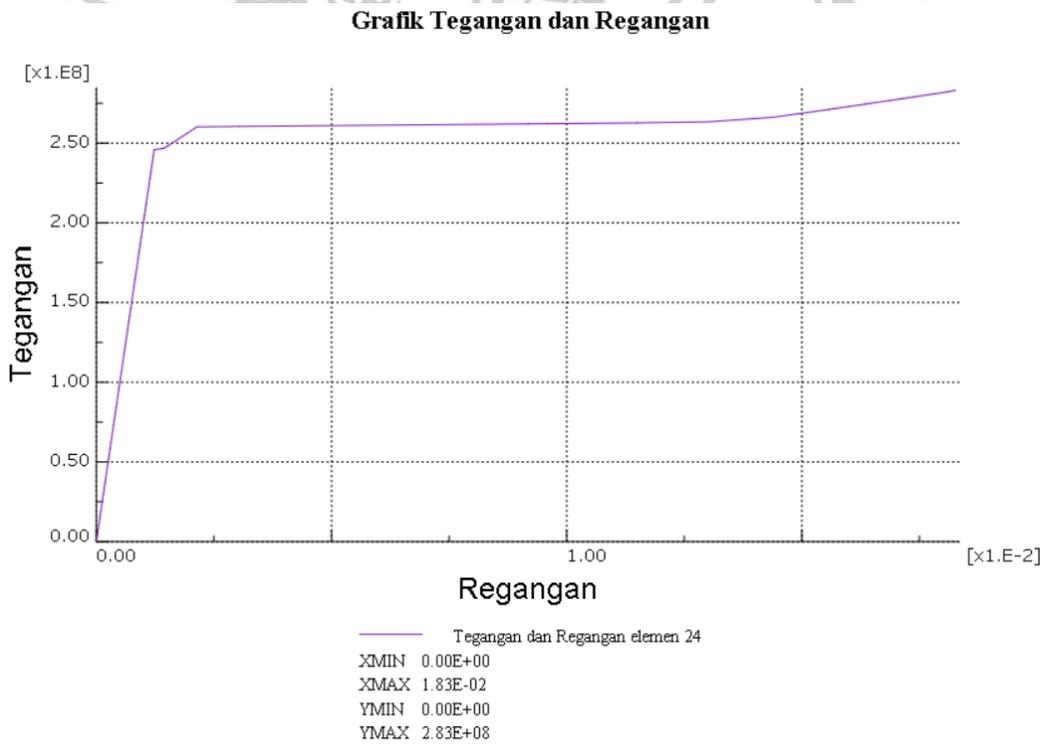
Gambar 4.29 Grafik tegangan dan regangan elemen 32



Gambar 4.30 Grafik tegangan dan regangan elemen 36

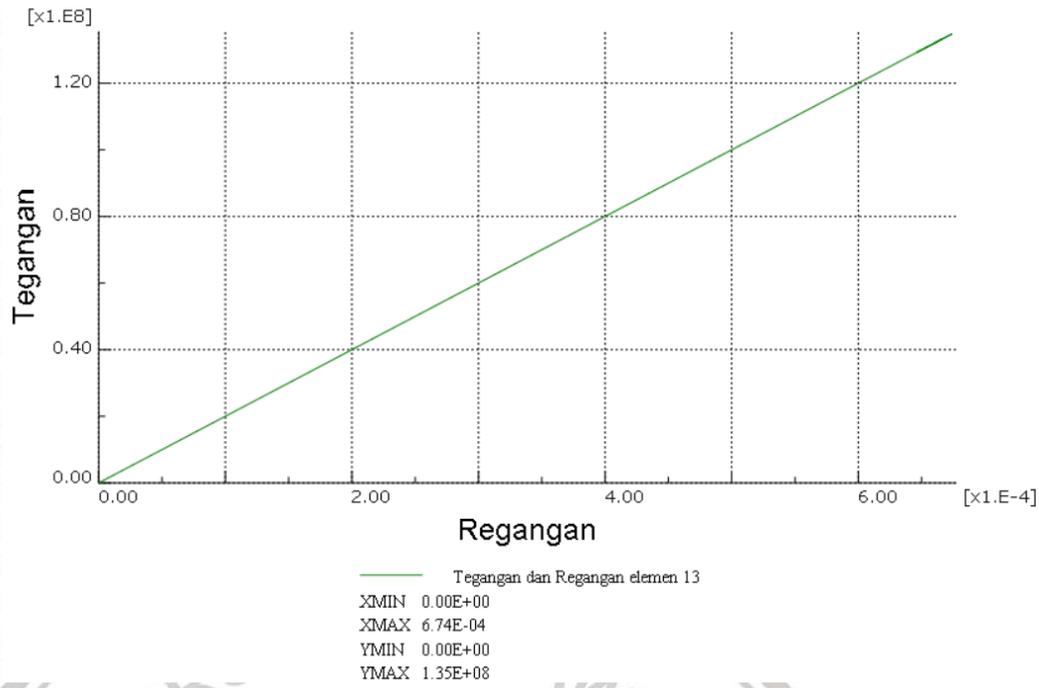


Gambar 4.31 Grafik tegangan dan regangan elemen 4



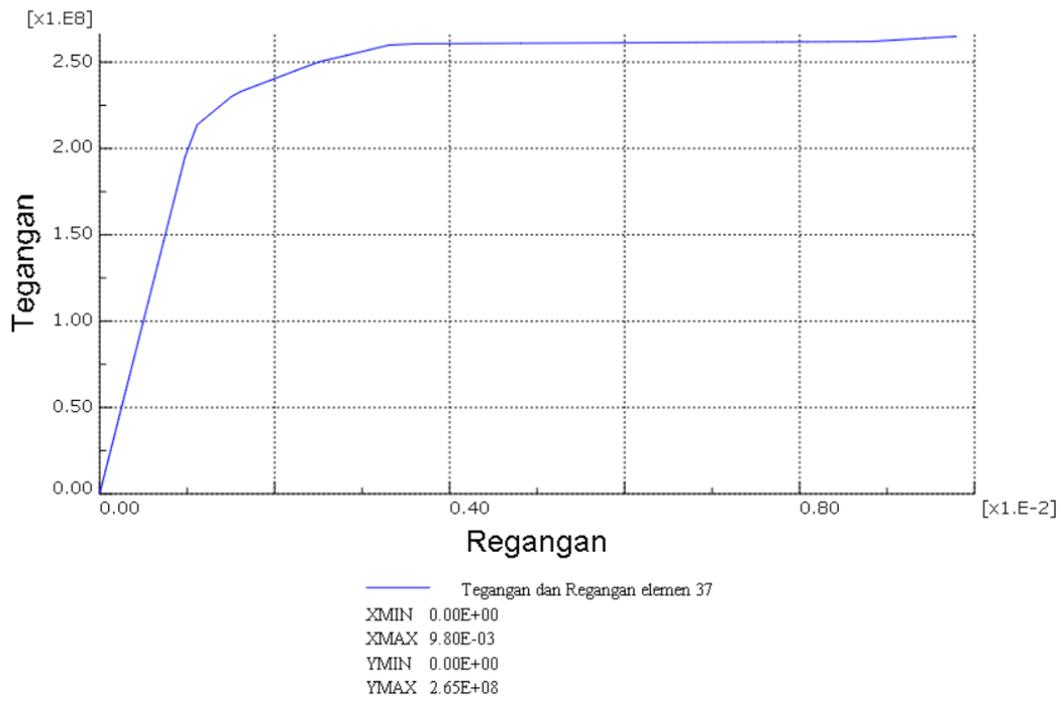
Gambar 4.32 Grafik tegangan dan regangan elemen 24

Grafik Tegangan dan Regangan

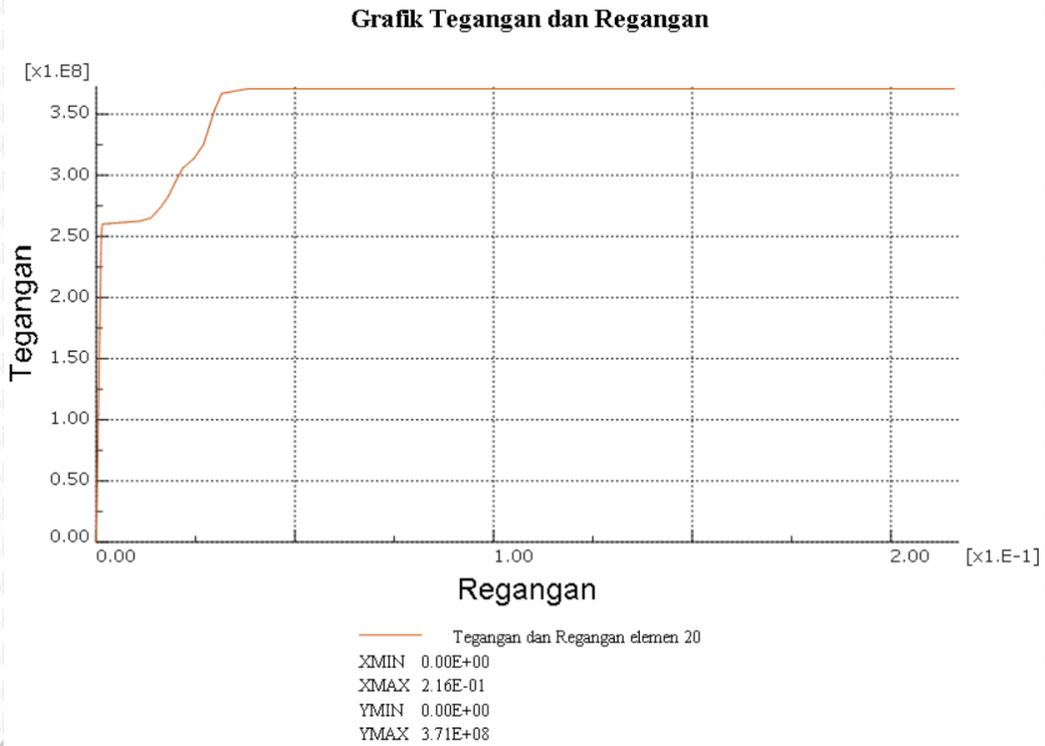


Gambar 4.33 Grafik tegangan dan regangan elemen 13

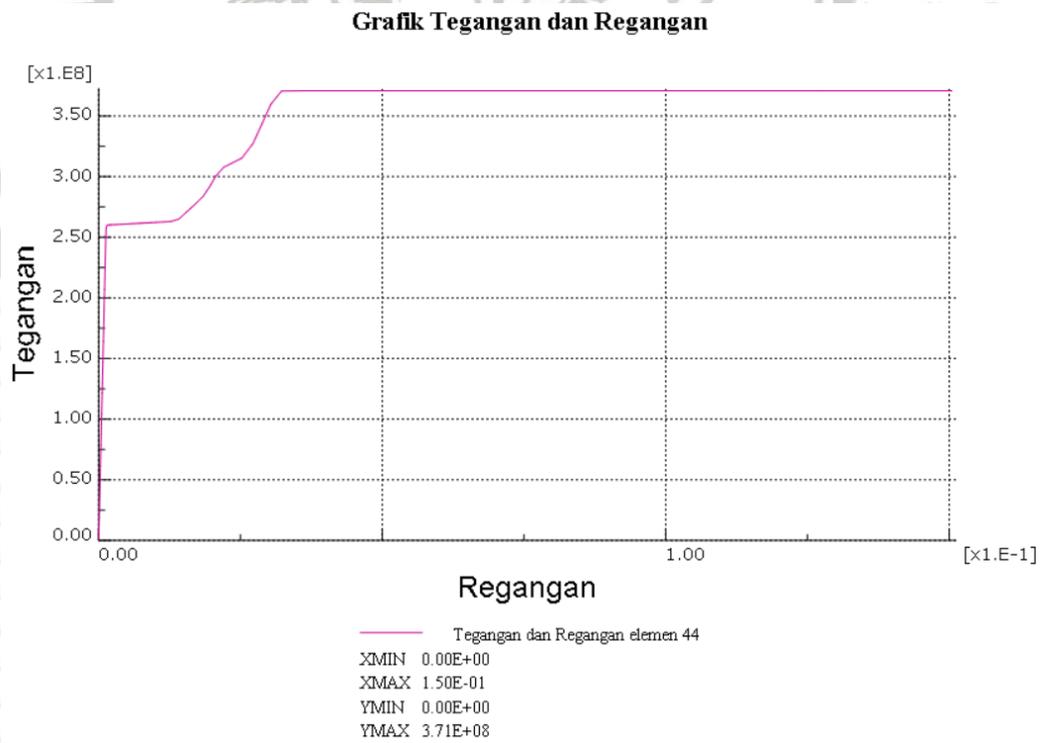
Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.34 Grafik tegangan dan regangan elemen 37

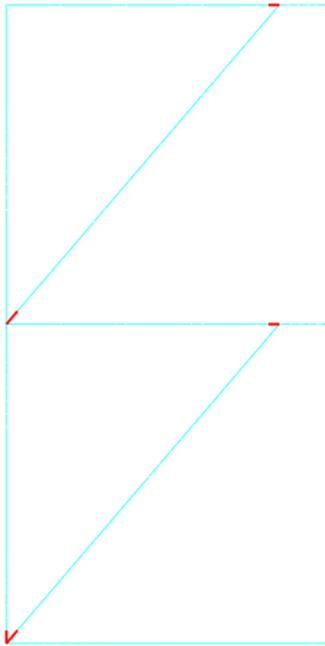


Gambar 4.35 Grafik tegangan dan regangan elemen 20



Gambar 4.36 Grafik tegangan dan regangan elemen 44

B. Mesh 25

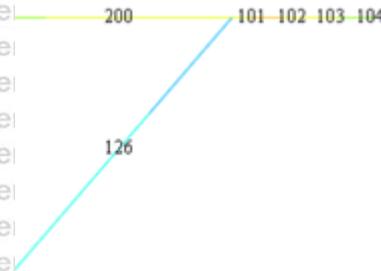


Gambar 4.37 Elemen kritis pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 25

Elemen yang ditinjau dalam history output ABAQUS CAE diantaranya yaitu elemen balok (200 dan 225), elemen *bracing* (25 dan 150), elemen *link beam* (125 dan 275) dan elemen kolom (76 dan 226) seperti pada **Gambar 4.37**.



Gambar 4.38 Elemen kritis 76 dan 125



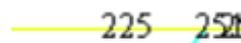
Gambar 4.39 Elemen kritis 200



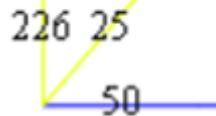
Gambar 4.40 Elemen kritis 150



Gambar 4.41 Elemen kritis 275



Gambar 4.42 Elemen kritis 225



Gambar 4.43 Elemen kritis 25 dan 226

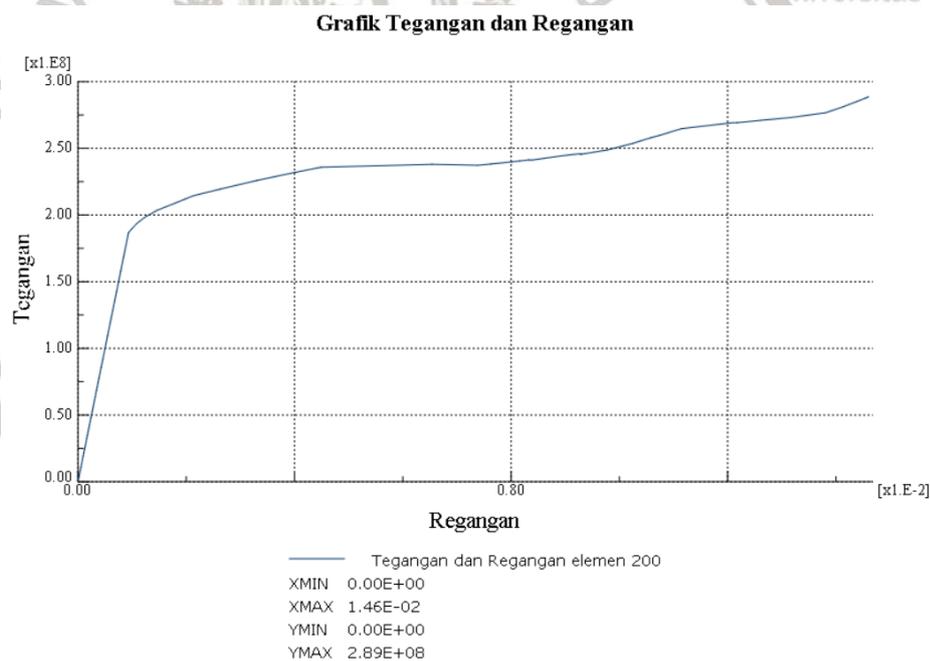
Hasil analisis *software* ABAQUS CAE menghasilkan nilai *step time* sebesar 0,6392 dengan beban maksimumnya yaitu 380.324 N. Sedangkan nilai tegangan dan regangan saat menerima beban maksimum seperti pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 60 cm dengan mesh 25

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	200	Balok	288,65	0,01460
2	225	Balok	274,92	0,01040
3	25	Bracing	210,70	0,00379

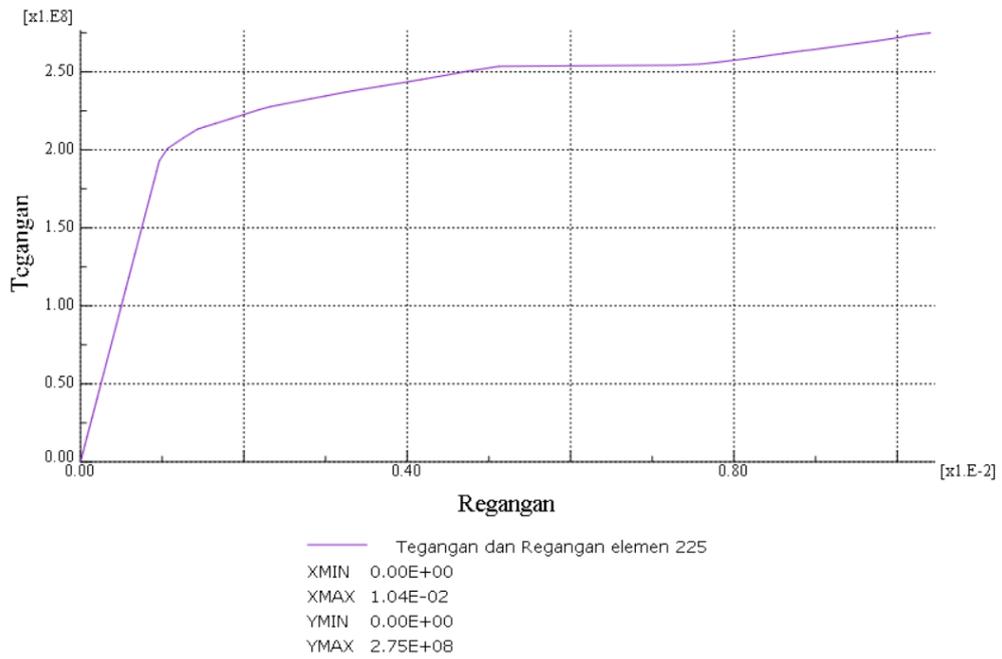
4	150	<i>Bracing</i>	233,26	0,00140
5	76	Kolom	141,79	0,00070
6	226	Kolom	259,98	0,00288
7	125	<i>Link beam</i>	370,82	0,42456
8	275	<i>Link Beam</i>	370,82	0,22676

Dari hasil analisis pada **Tabel 4.8**, maka dapat diketahui bahwa pada beban maksimum sebesar 380.324 N yang ditahan oleh struktur portal eksentris 60 cm dengan *mesh* 25 pada kondisi *aborted* menghasilkan tegangan terbesar pada *link beam* elemen 125 dan 275 sebesar 370,82 MPa dan regangan terbesar sebesar 0,42456. Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan setiap elemen yang ditinjau dapat melihat grafik hubungan tegangan dan regangan sebagai berikut:



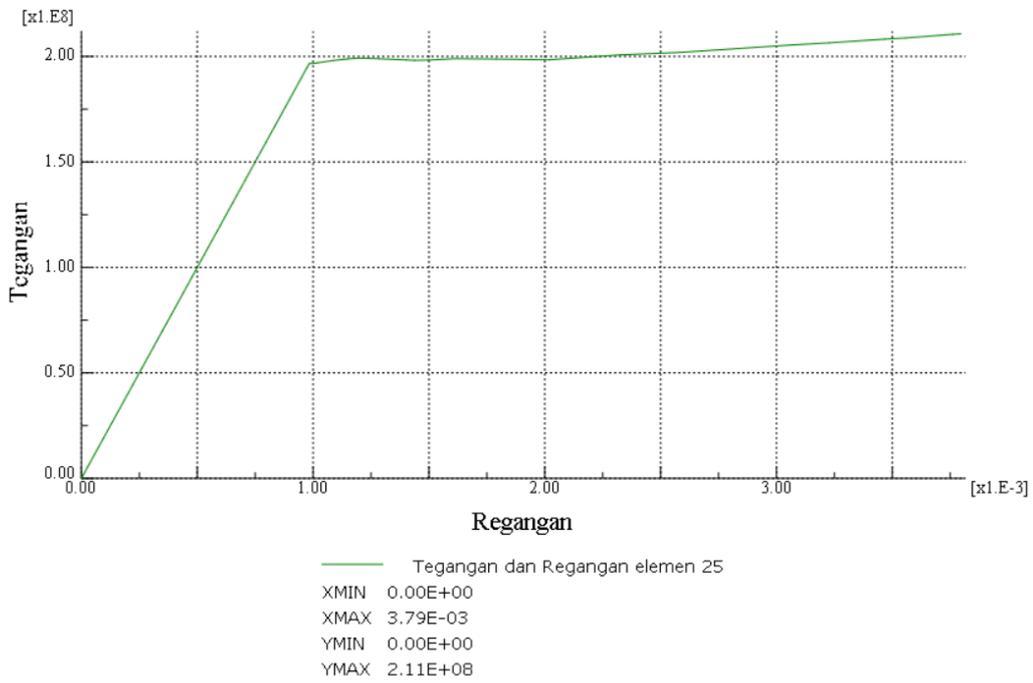
Gambar 4.44 Grafik tegangan dan regangan elemen 200

Grafik Tegangan dan Regangan



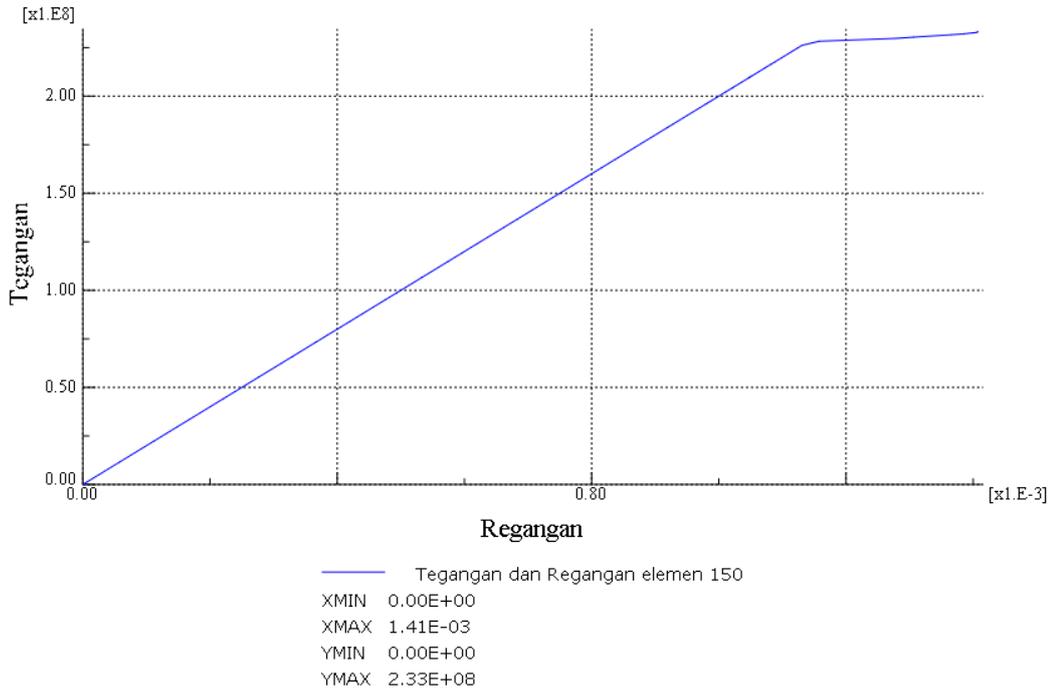
Gambar 4.45 Grafik tegangan dan regangan elemen 225

Grafik Tegangan dan Regangan



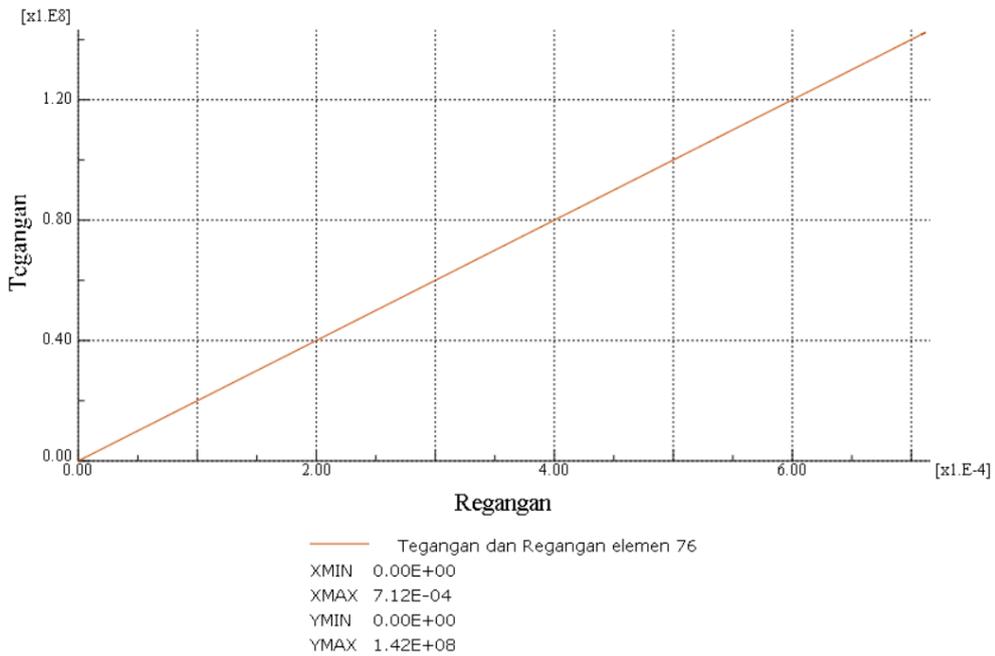
Gambar 4.46 Grafik tegangan dan regangan elemen 25

Grafik Tegangan dan Regangan

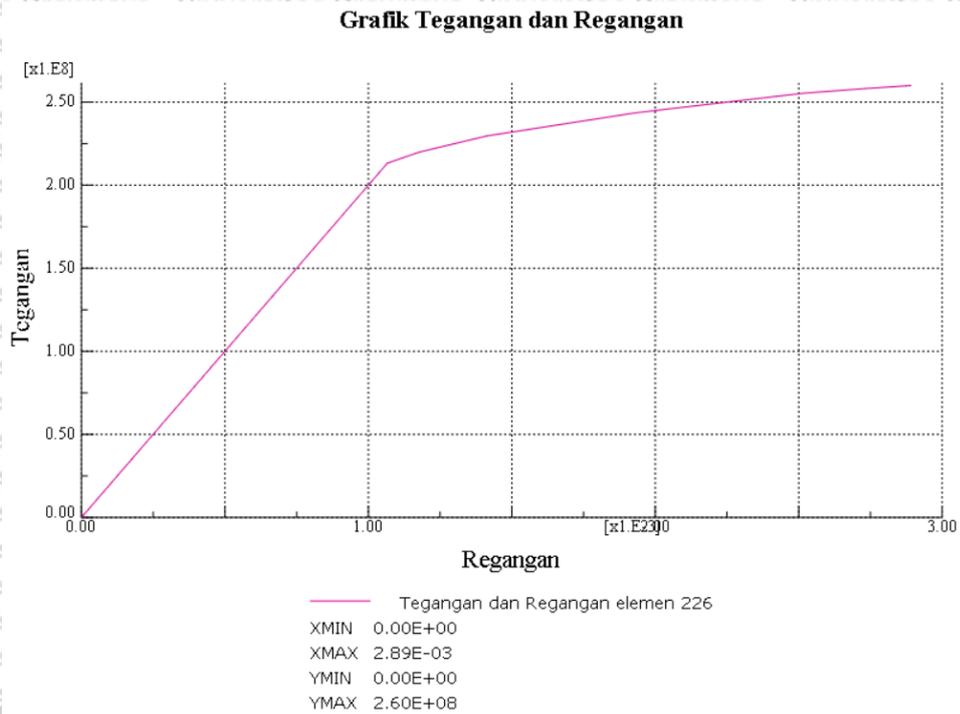


Gambar 4.47 Grafik tegangan dan regangan elemen 150

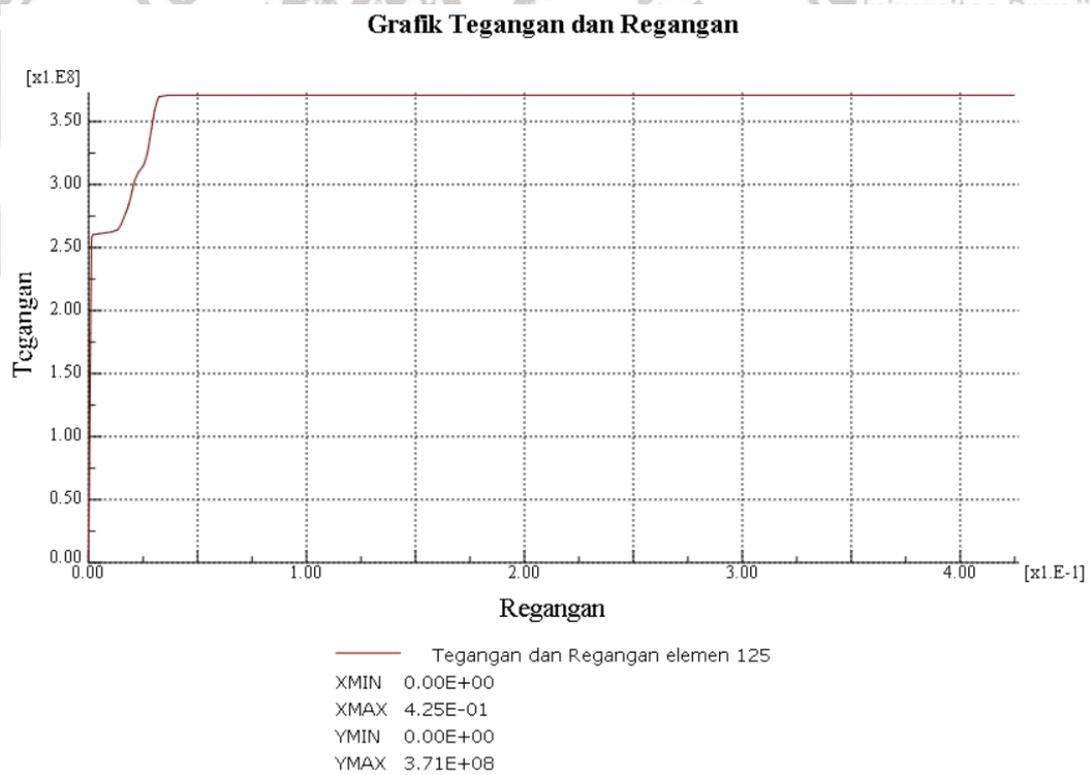
Grafik Tegangan dan Regangan



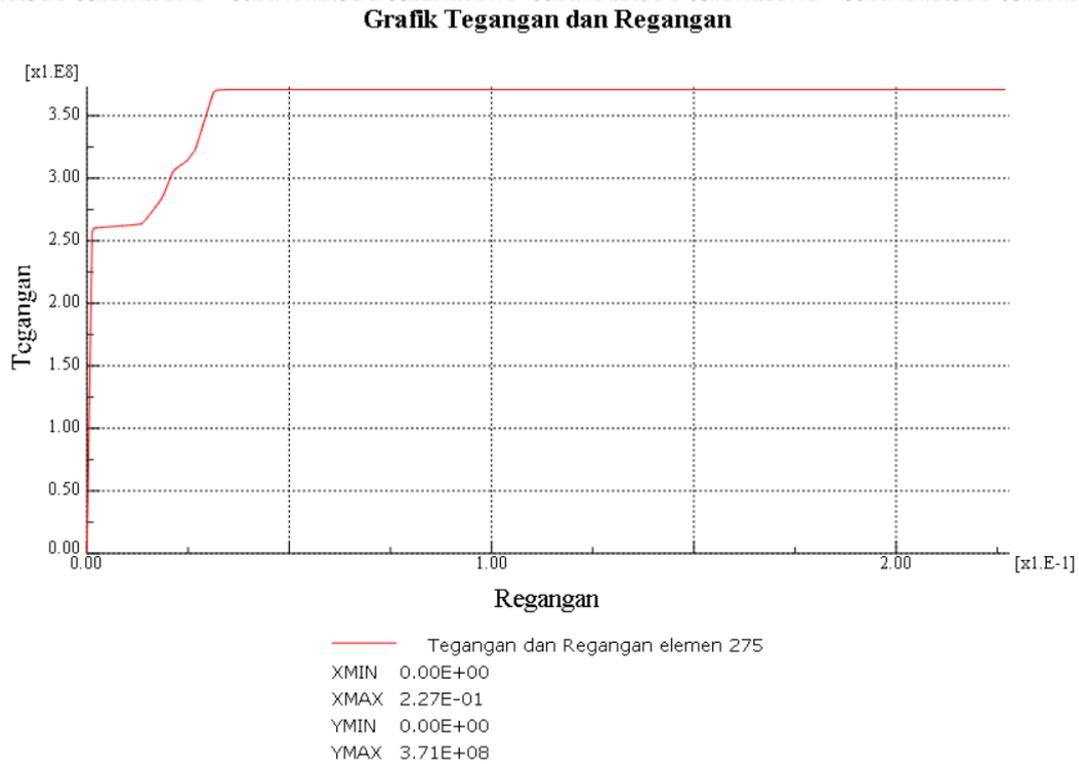
Gambar 4.48 Grafik tegangan dan regangan elemen 76



Gambar 4.49 Grafik tegangan dan regangan elemen 226



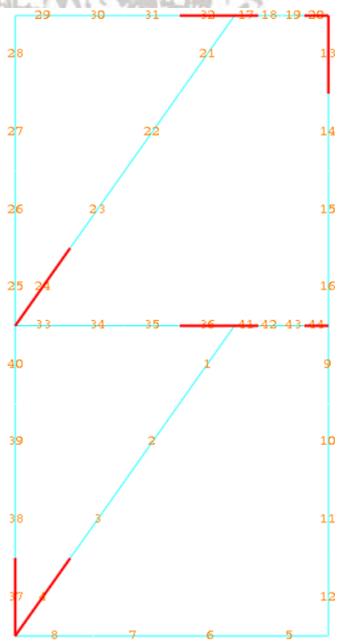
Gambar 4.50 Grafik tegangan dan regangan elemen 125



Gambar 4.51 Grafik tegangan dan regangan elemen 275

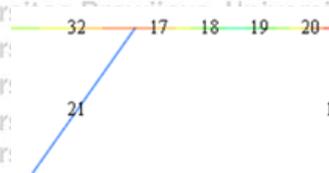
4.4.3 Portal Eksentrisitas 120 cm

A. Mesh 4



Gambar 4.52 Elemen kritis pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 4

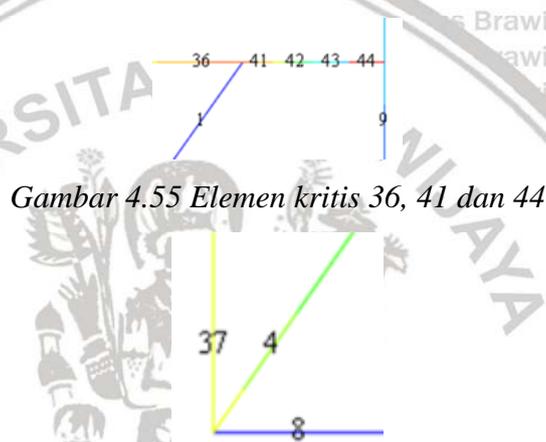
Elemen yang ditinjau dalam history output ABAQUS CAE diantaranya yaitu elemen balok (32 dan 36), elemen *link beam* (17, 20, 41 dan 44), elemen *bracing* (4 dan 24) dan elemen kolom (13 dan 37) seperti pada **Gambar 4.52**.



Gambar 4.53 Elemen kritis 32, 17, 20 dan 13



Gambar 4.54 Elemen kritis 24



Gambar 4.55 Elemen kritis 36, 41 dan 44

Gambar 4.56 Elemen kritis 37 dan 4

Hasil analisis *software* ABAQUS CAE menghasilkan nilai *step time* sebesar 0,5525 dengan beban maksimumnya yaitu 328.737,5 N. Sedangkan nilai tegangan dan regangan saat menerima beban maksimum seperti pada **Tabel 4.9**.

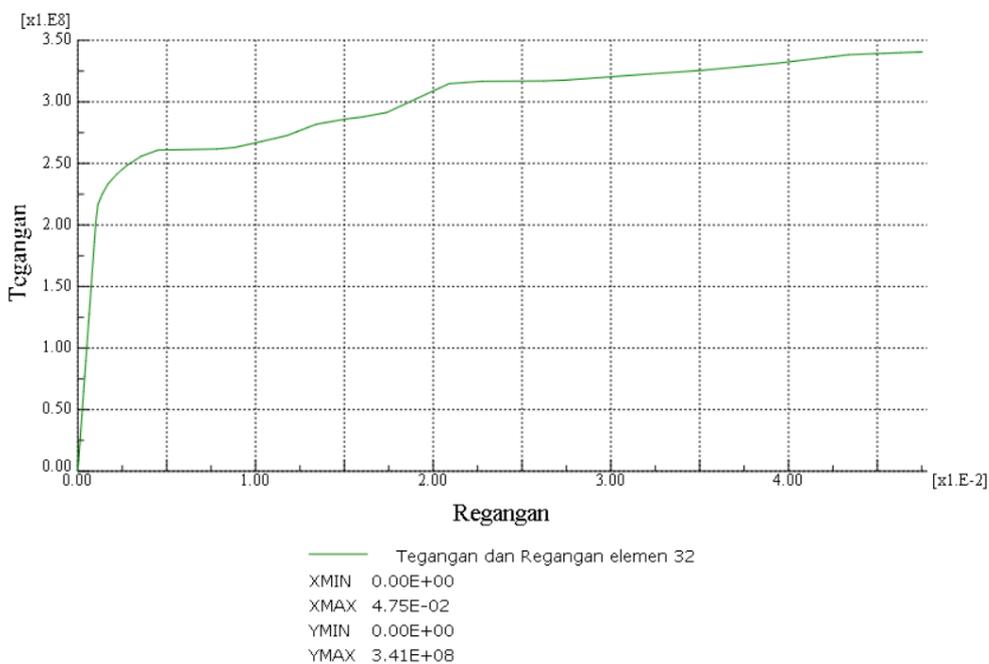
Tabel 4.9 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 4

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	32	Balok	340,56	0,04754
2	36	Balok	337,61	0,03612
3	4	<i>Bracing</i>	174,35	0,00727
4	24	<i>Bracing</i>	175,05	0,00128

5	13	Kolom	139,96	0,00069
6	37	Kolom	289,71	0,01955
7	20	Link beam	370,80	0,22037
8	44	Link Beam	370,80	0,15548
9	17	Link Beam	370,80	0,12664
10	41	Link Beam	370,80	0,07044

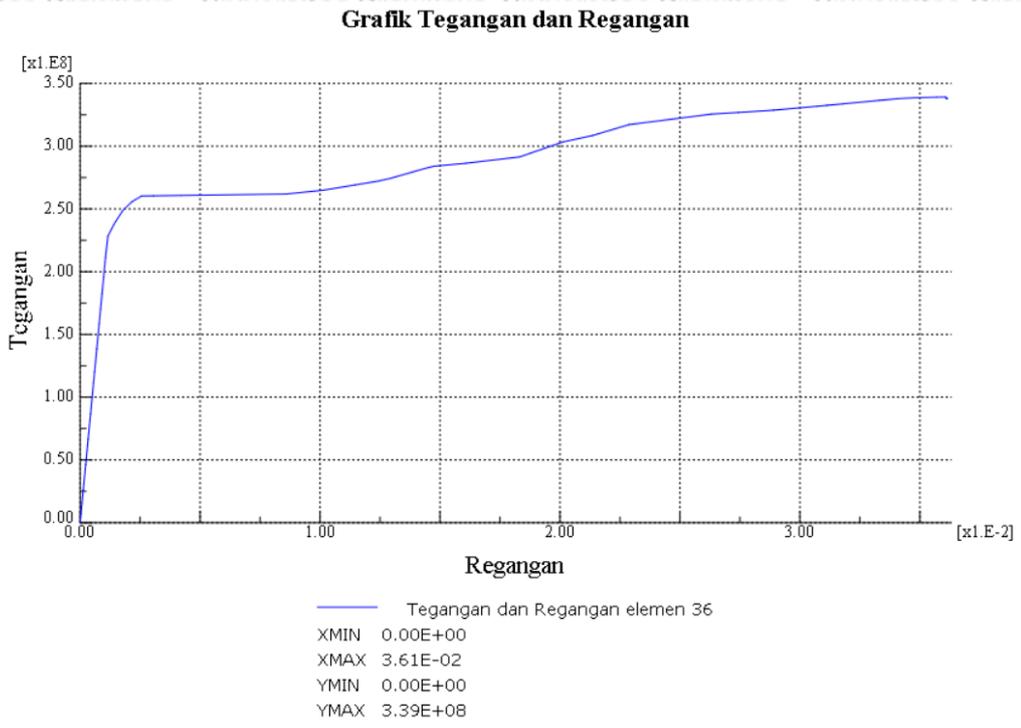
Dari hasil analisis pada **Tabel 4.7**, maka dapat diketahui bahwa pada beban maksimum sebesar 328.737,5 N yang ditahan oleh struktur portal eksentris 120 cm dengan *mesh* 4 pada kondisi *aborted* menghasilkan tegangan terbesar pada *link beam* elemen 20, 44, 17 dan 41 sebesar 370,80 MPa dan regangan terbesar sebesar 0,22037. Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan setiap elemen yang ditinjau dapat melihat grafik hubungan tegangan dan regangan sebagai berikut:

Grafik Tegangan dan Regangan

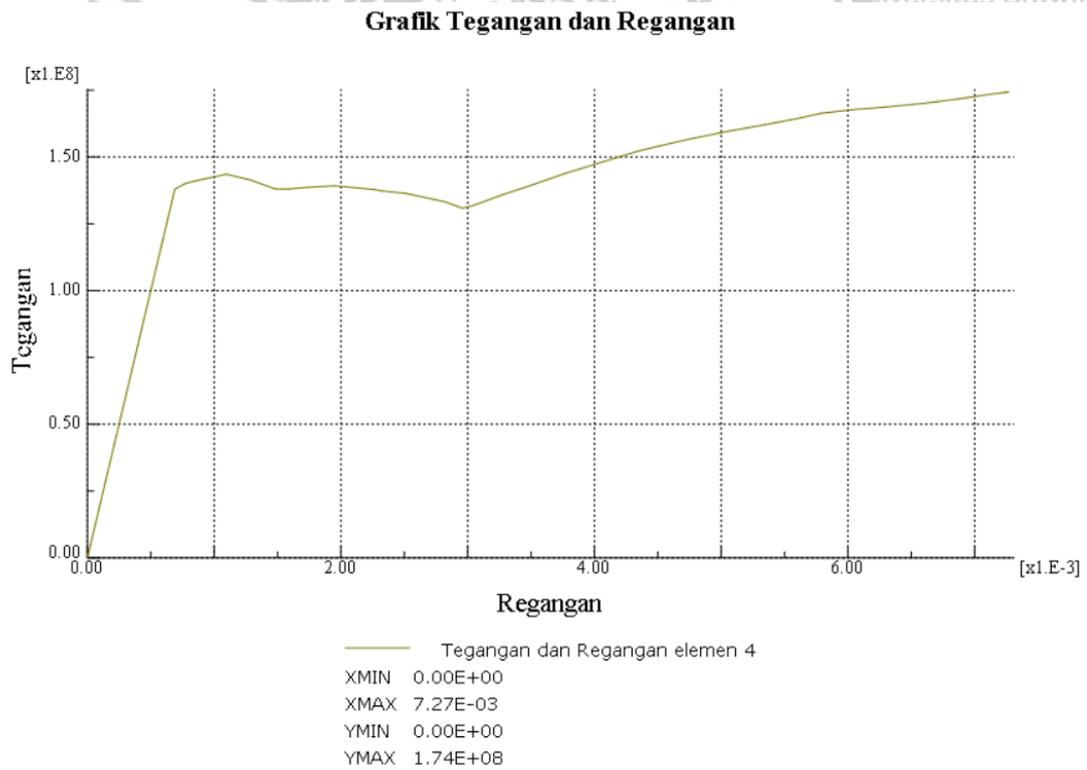


Gambar

4.57 Grafik tegangan dan regangan elemen 32

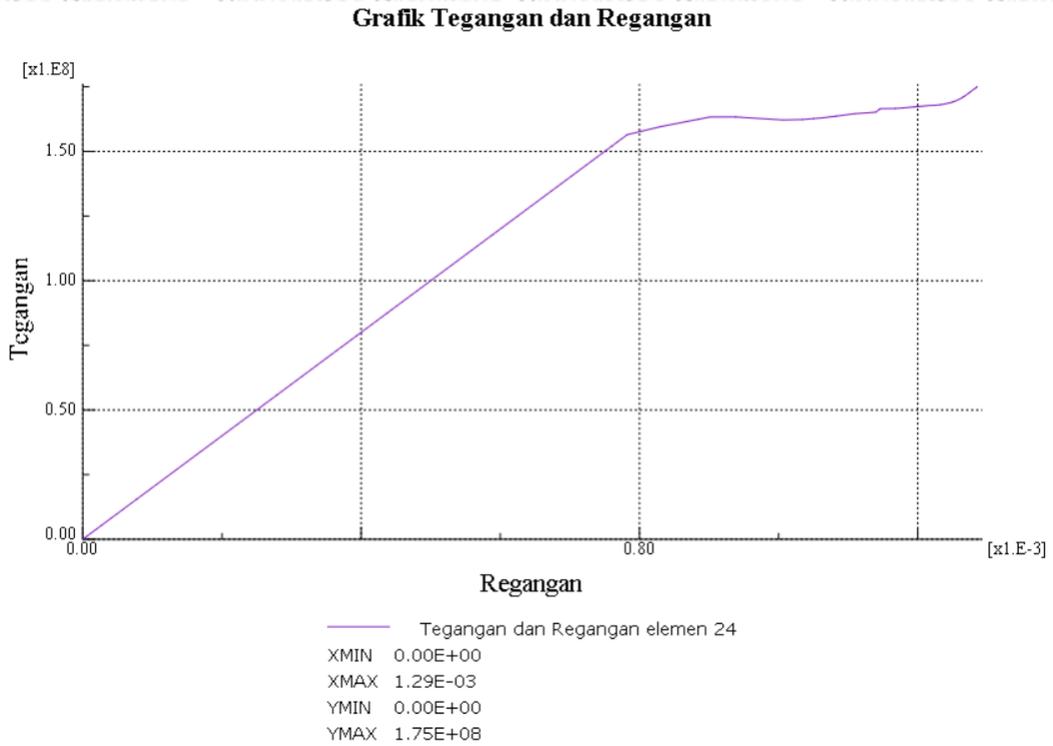


Gambar 4.58 Grafik tegangan dan regangan elemen 36

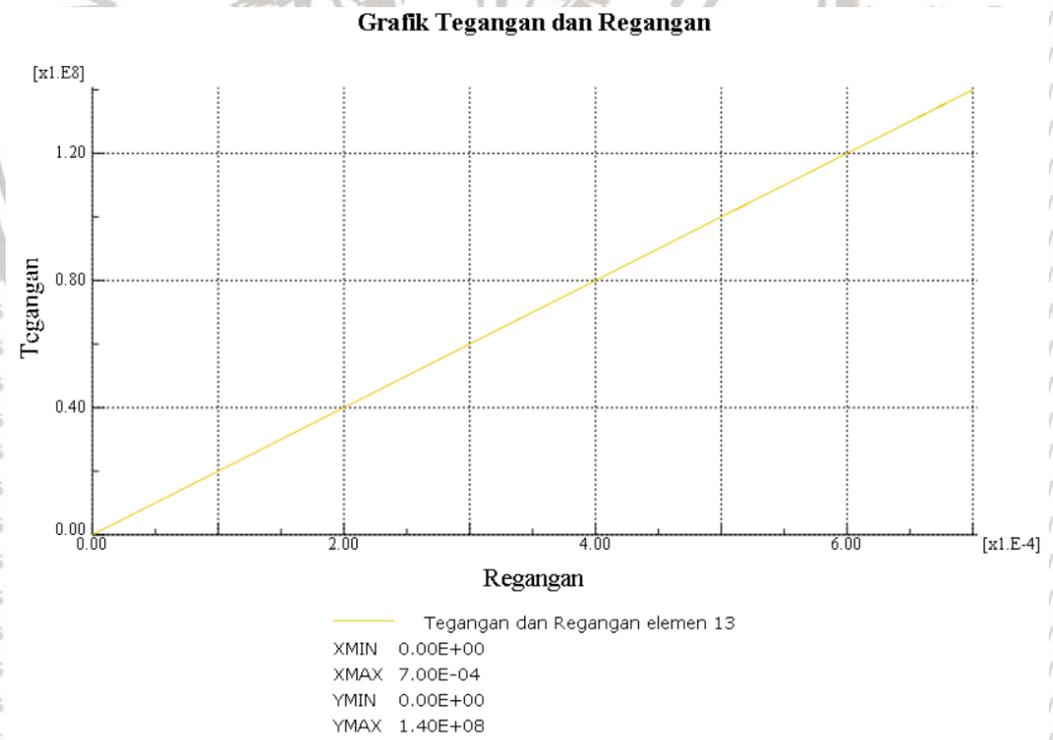


Gambar 4.59 Grafik tegangan dan regangan elemen 4



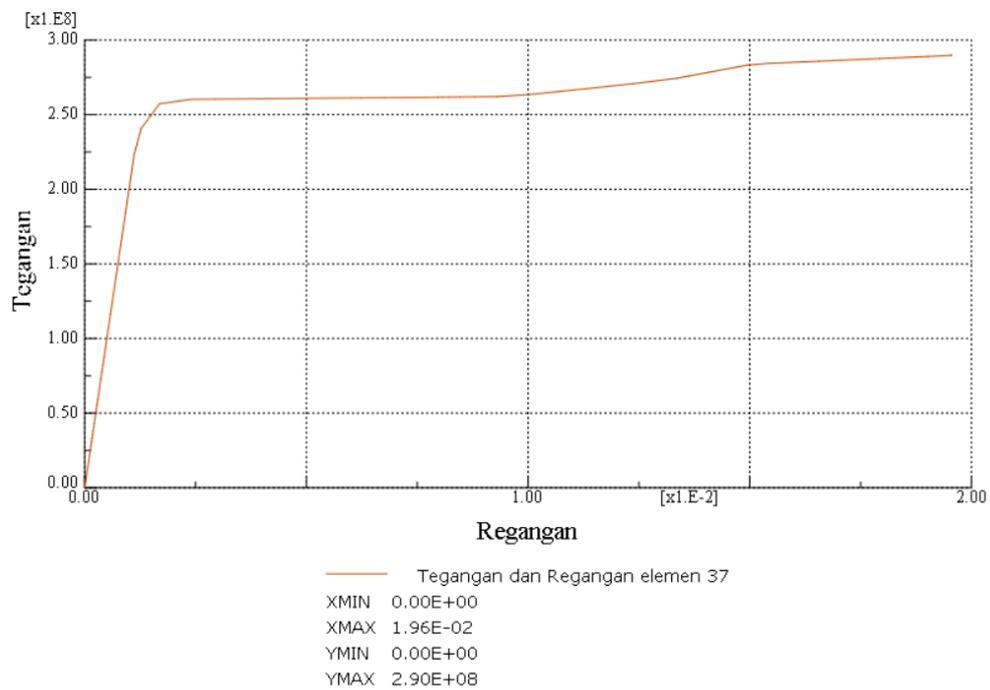


Gambar 4.60 Grafik tegangan dan regangan elemen 24



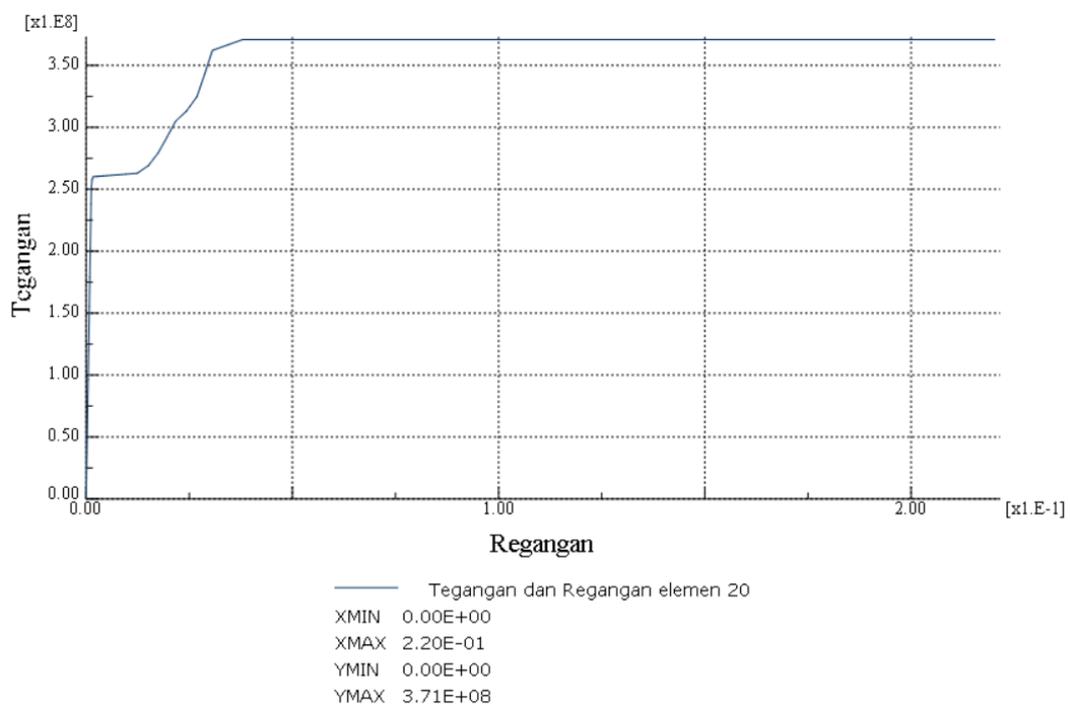
Gambar 4.61 Grafik tegangan dan regangan elemen 13

Grafik Tegangan dan Regangan



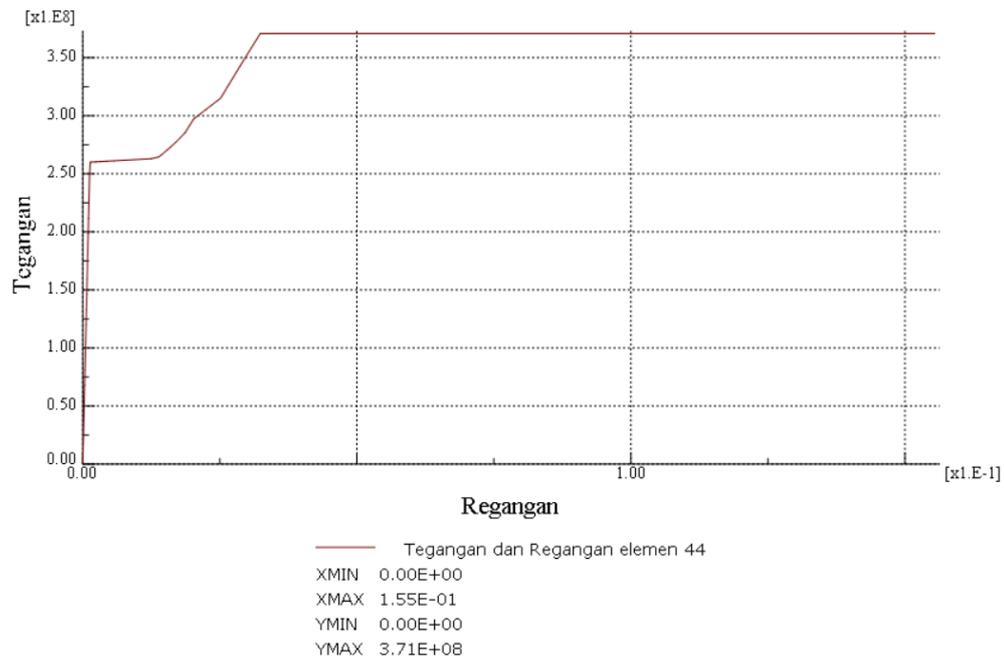
Gambar 4.62 Grafik tegangan dan regangan elemen 37

Grafik Tegangan dan Regangan



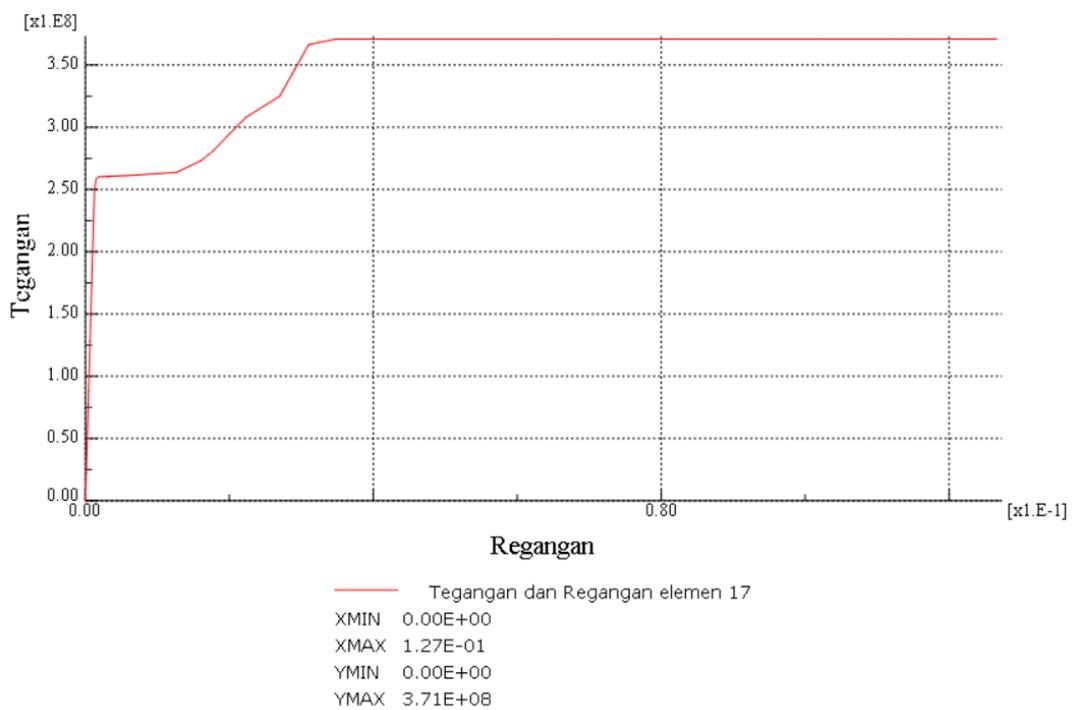
Gambar 4.63 Grafik tegangan dan regangan elemen 20

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.64 Grafik tegangan dan regangan elemen 44

Grafik Tegangan dan Regangan



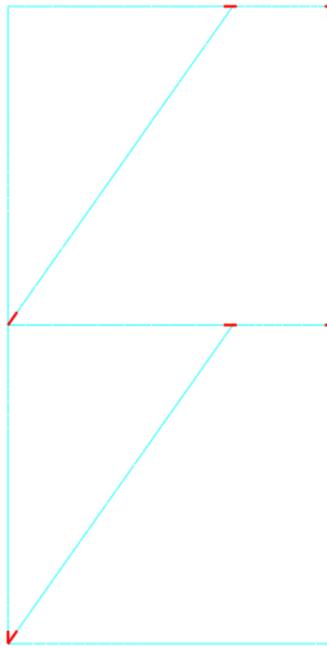
Gambar 4.65 Grafik tegangan dan regangan elemen 17



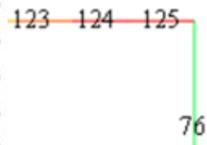
Gambar 4.66 Grafik tegangan dan regangan elemen 41

B. Mesh 25

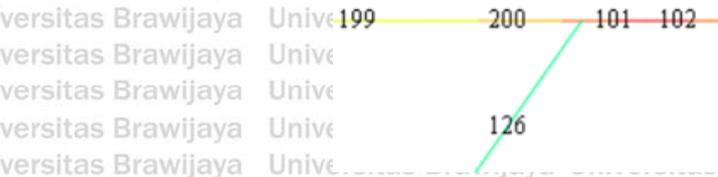
Elemen yang ditinjau dalam history output ABAQUS CAE diantaranya yaitu elemen balok (32 dan 36), elemen *link beam* (20 dan 44), elemen *bracing* (4 dan 24) dan elemen kolom (13 dan 37) seperti pada *Gambar 4.67*.



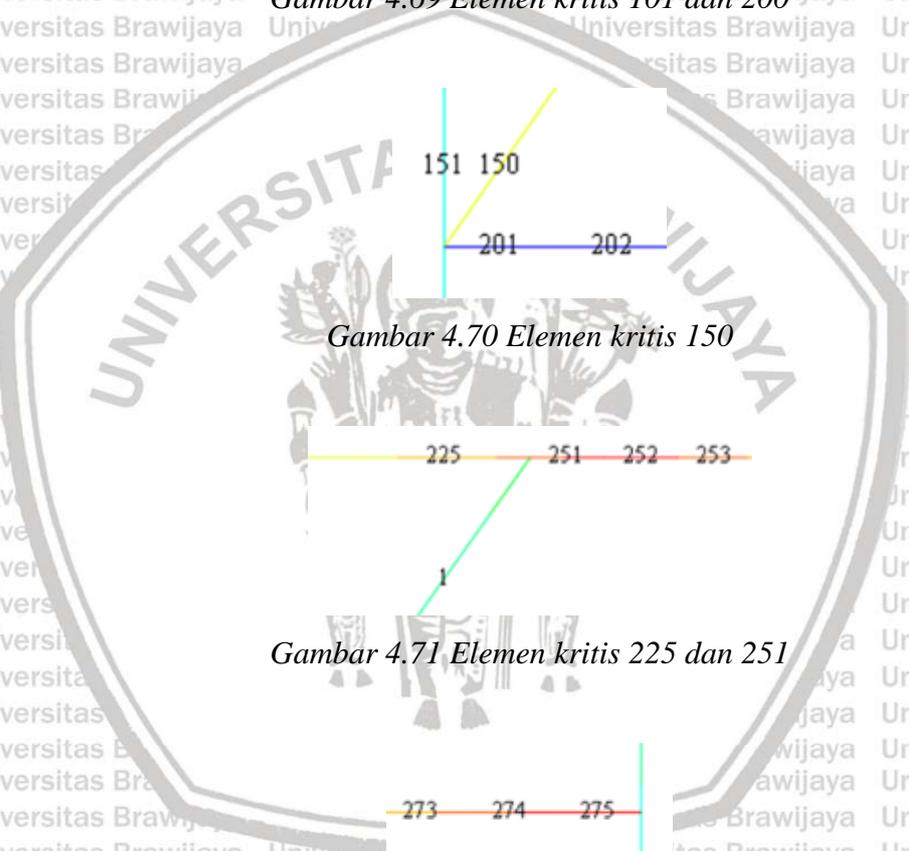
Gambar 4.67 Elemen kritis pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 25



Gambar 4.68 Elemen kritis 76 dan 125



Gambar 4.69 Elemen kritis 101 dan 200

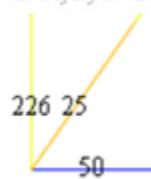


Gambar 4.70 Elemen kritis 150

Gambar 4.71 Elemen kritis 225 dan 251



Gambar 4.72 Elemen kritis 275



Gambar 4.73 Elemen kritis 25 dan 226



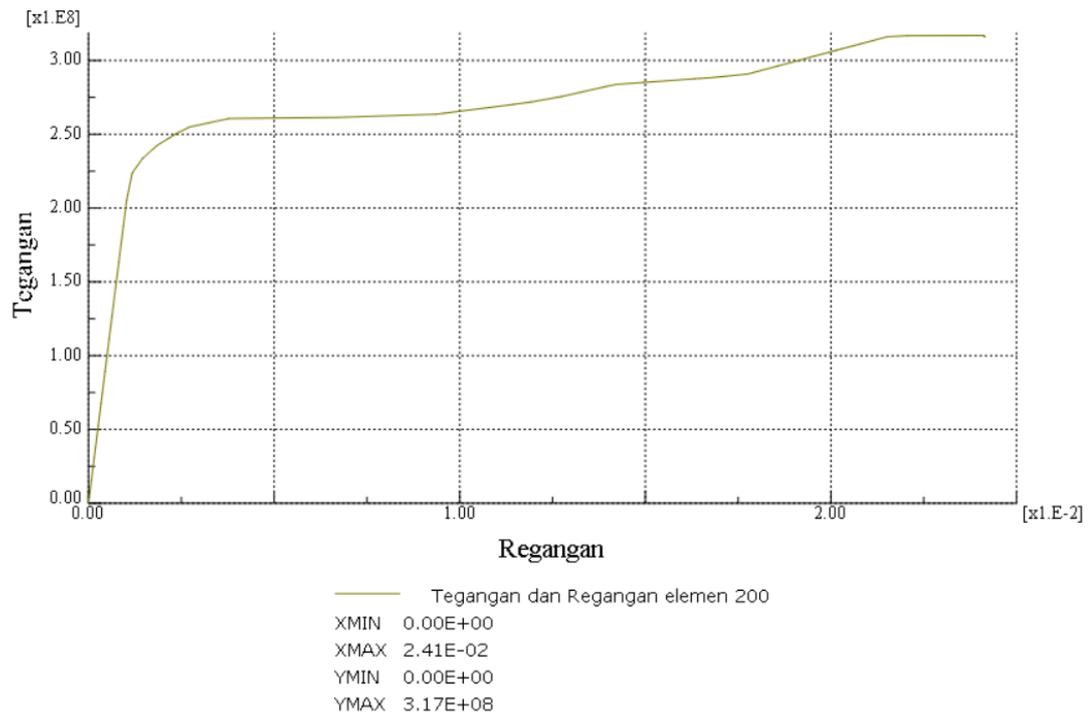
Hasil analisis *software* ABAQUS CAE menghasilkan nilai *step time* sebesar 0,4207 dengan beban maksimumnya yaitu 250.316,5 N. Sedangkan nilai tegangan dan regangan saat menerima beban maksimum seperti pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Nilai Tegangan dan Regangan pada portal eksentris 120 cm dengan mesh 25

No	Elemen	Struktur	Tegangan (MPa)	Regangan
1	200	Balok	315,77	0,02413
2	225	Balok	309,35	0,02220
3	25	<i>Bracing</i>	199,74	0,01071
4	150	<i>Bracing</i>	134,49	0,00067
5	76	Kolom	140,78	0,00070
6	226	Kolom	286,71	0,01837
7	101	<i>Link beam</i>	370,80	0,30329
8	125	<i>Link Beam</i>	370,80	0,52216
9	251	<i>Link Beam</i>	370,80	0,12027
10	275	<i>Link Beam</i>	370,80	0,37921

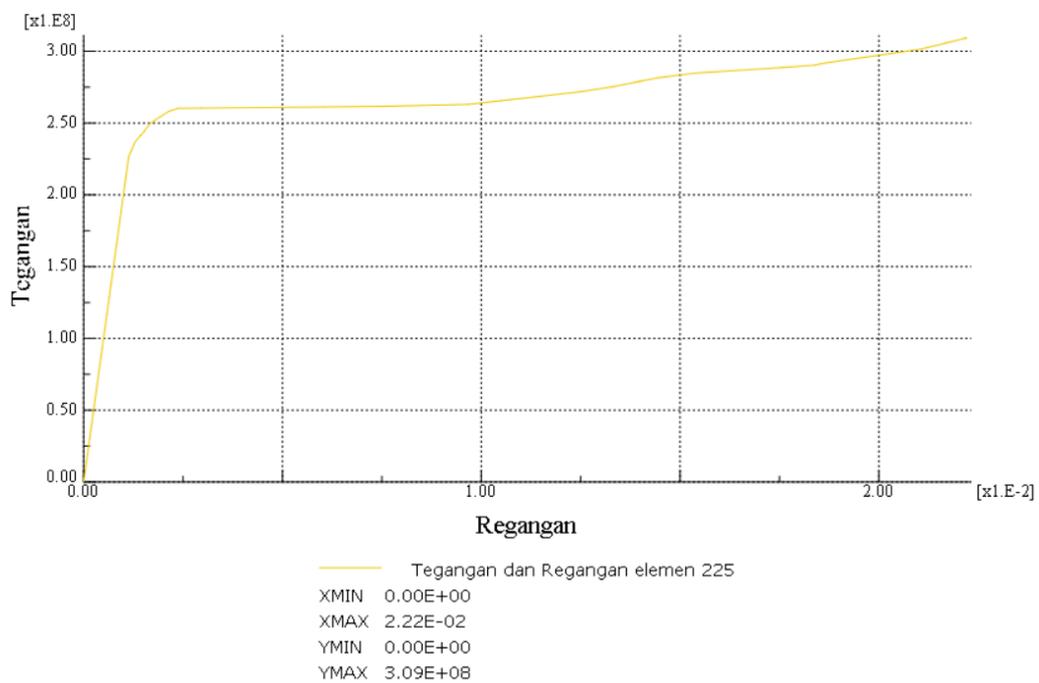
Dari hasil analisis pada **Tabel 4.10**, maka dapat diketahui bahwa pada beban maksimum sebesar 250.316,5 N yang ditahan oleh struktur portal eksentris 120 cm dengan *mesh* 25 pada kondisi *aborted* menghasilkan tegangan terbesar pada *link beam* elemen 101, 125, 251 dan 275 sebesar 370,80 MPa dan regangan terbesar sebesar 0,52216. Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan setiap elemen yang ditinjau dapat melihat grafik hubungan tegangan dan regangan sebagai berikut:

Grafik Tegangan dan Regangan



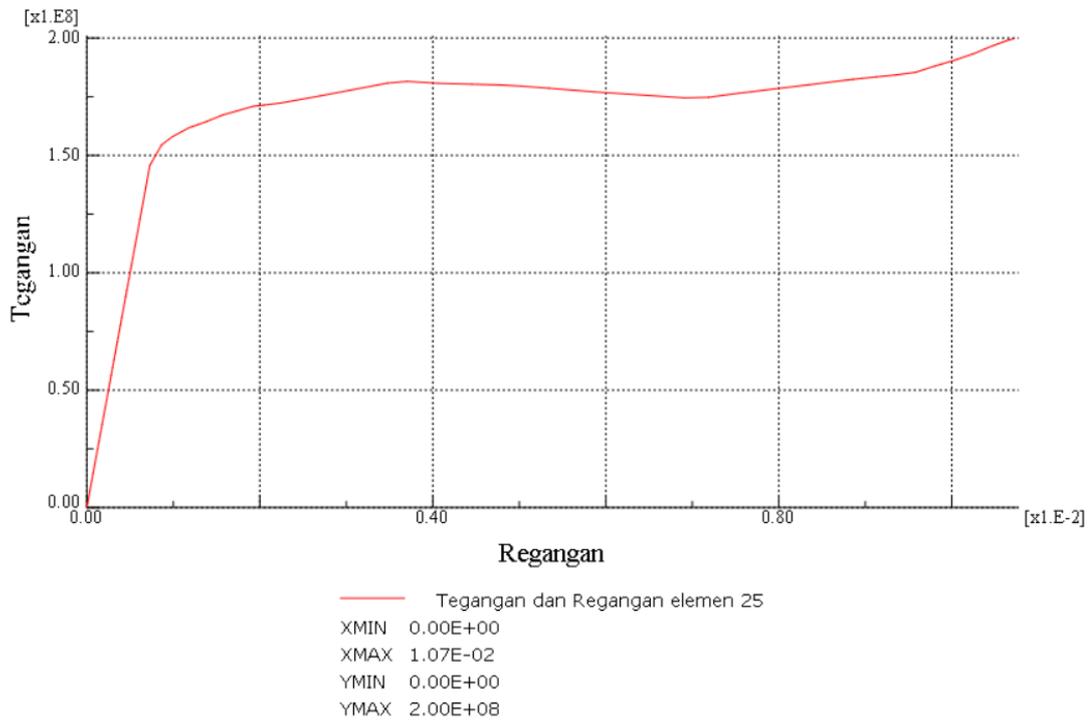
Gambar 4.74 Grafik tegangan dan regangan elemen 200

Grafik Tegangan dan Regangan



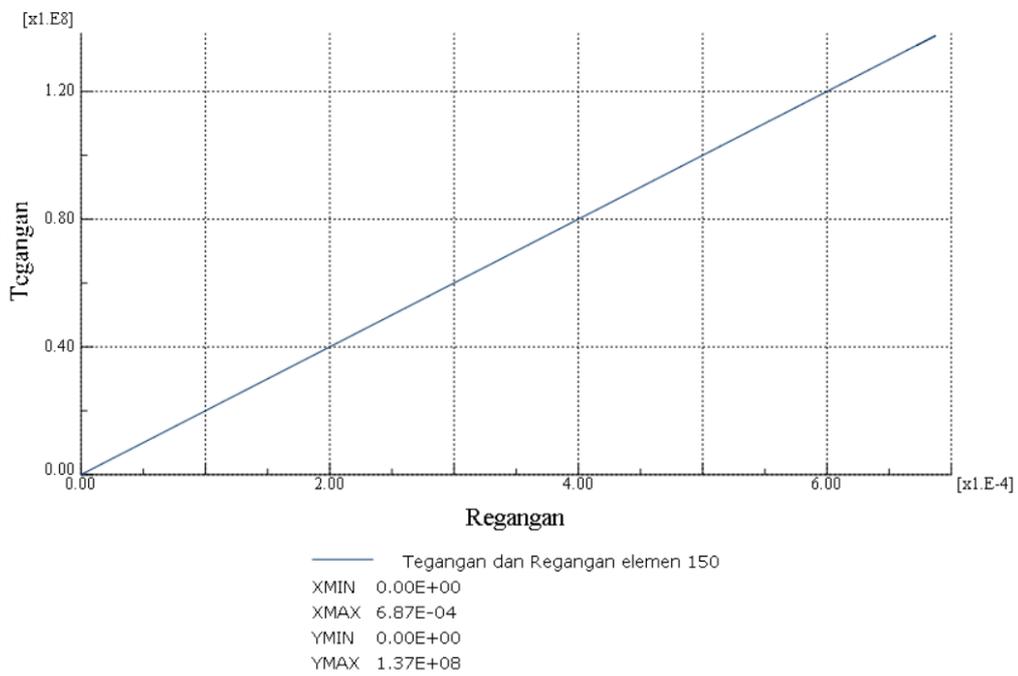
Gambar 4.75 Grafik tegangan dan regangan elemen 225

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.76 Grafik tegangan dan regangan elemen 25

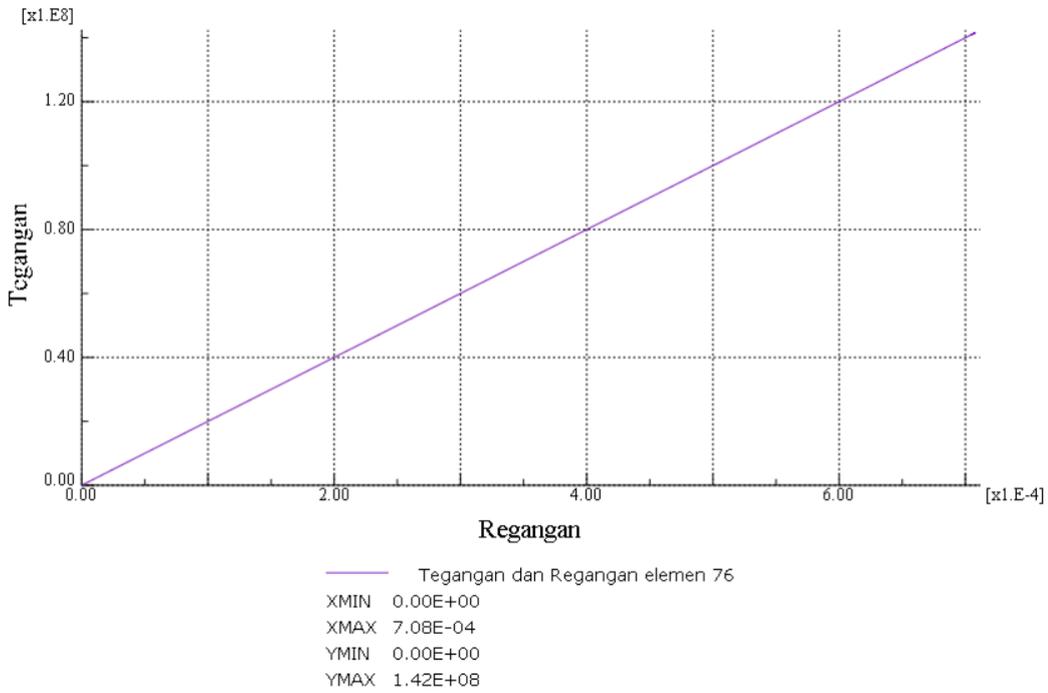
Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.77 Grafik tegangan dan regangan elemen 150

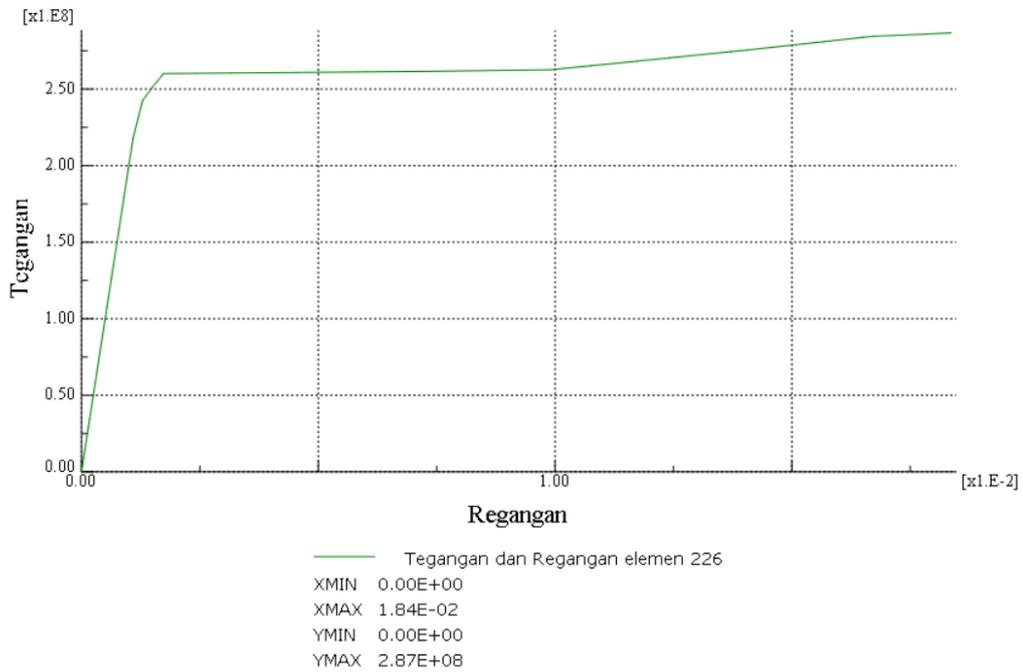


Grafik Tegangan dan Regangan



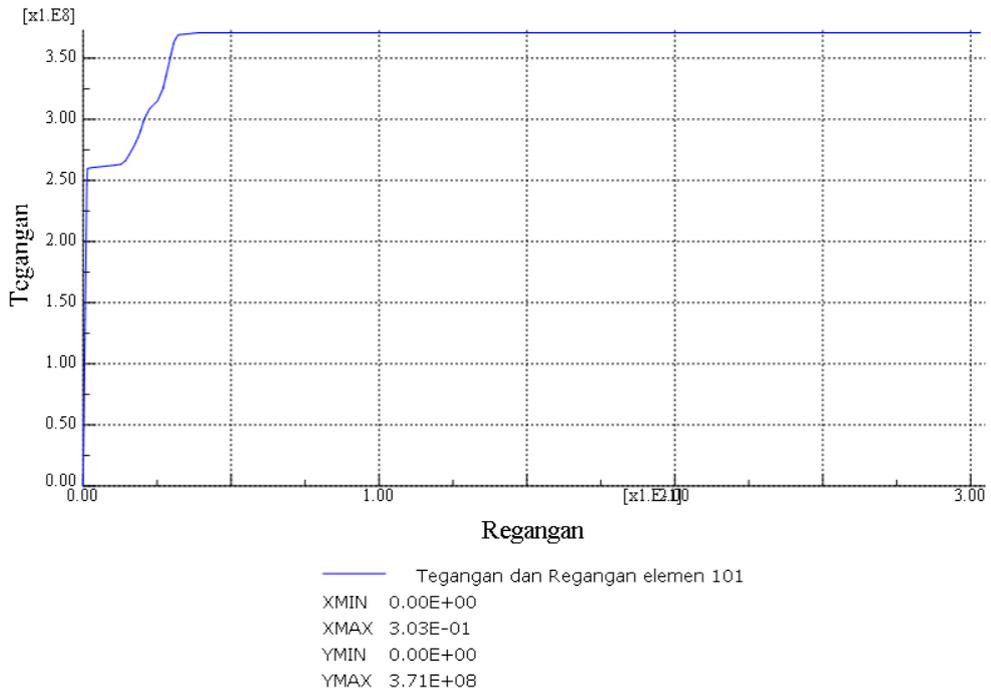
Gambar 4.78 Grafik tegangan dan regangan elemen 76

Grafik Tegangan dan Regangan



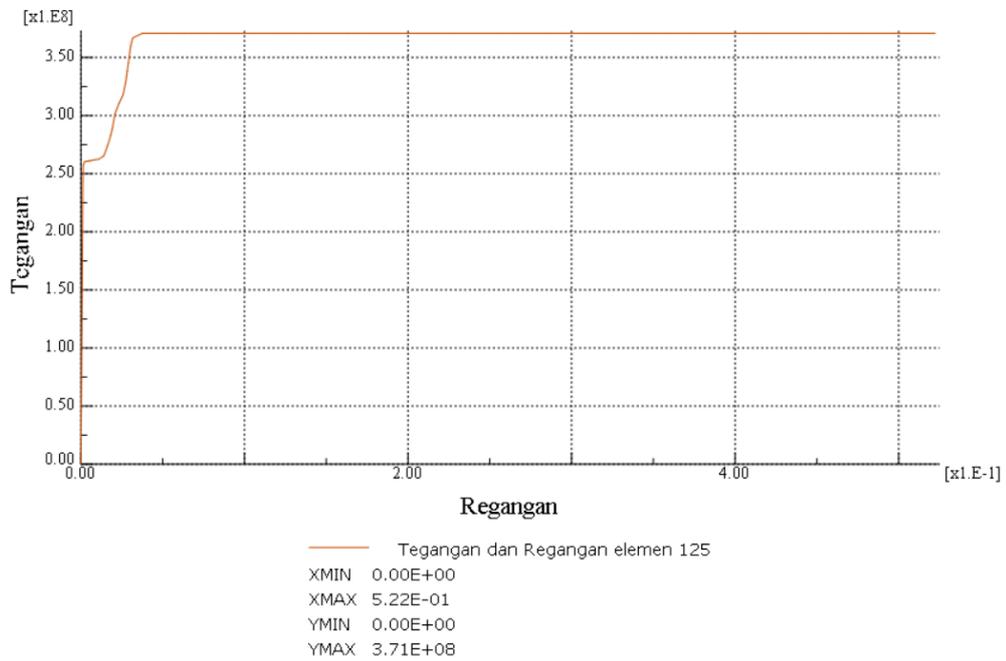
Gambar 4.79 Grafik tegangan dan regangan elemen 226

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.80 Grafik tegangan dan regangan elemen 101

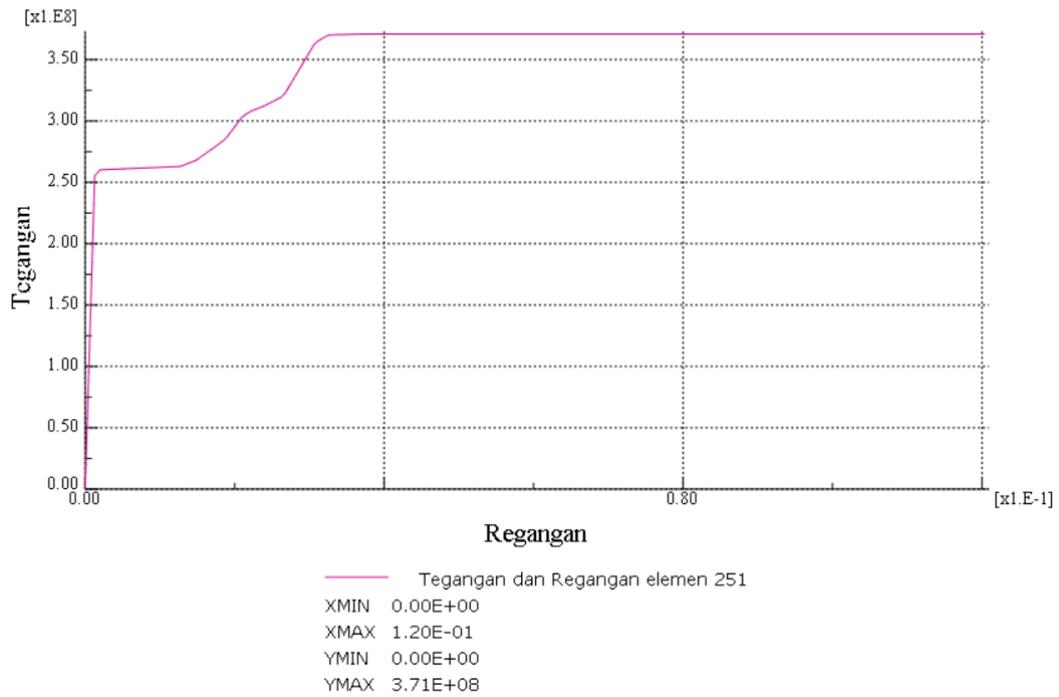
Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.81 Grafik tegangan dan regangan elemen 125

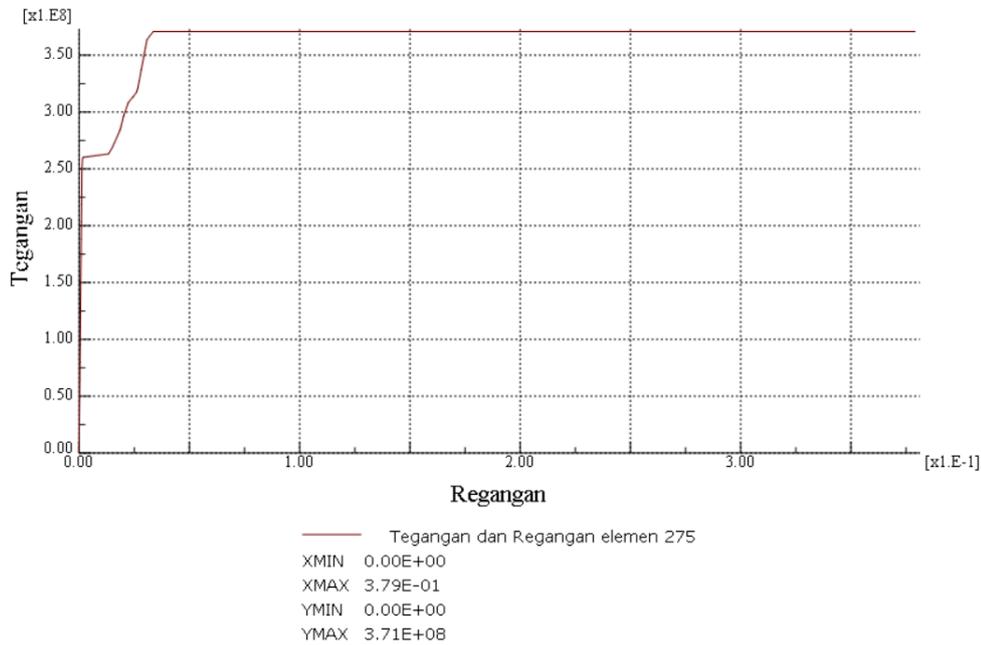


Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.82 Grafik tegangan dan regangan elemen 251

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.83 Grafik tegangan dan regangan elemen 275

4.5 Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal terhadap Tegangan dan Regangan

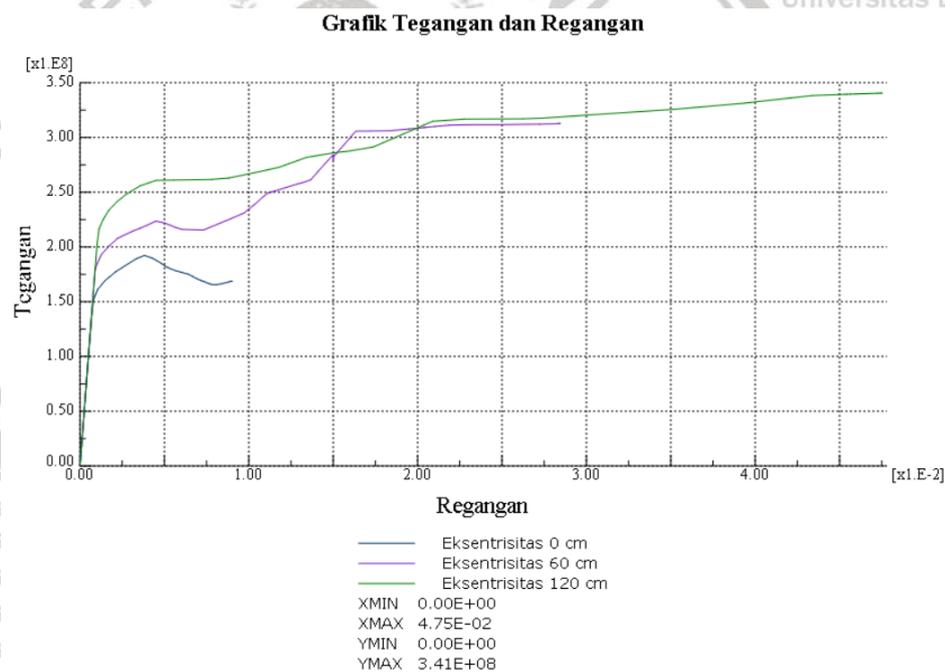
Variasi eksentrisitas pada model digunakan untuk melihat perbedaan perilaku pada struktur portal 2 lantai khususnya terkait perilaku tegangan dan regangan yang terjadi pada

elemen struktur. Perbedaan panjang *link beam* dibuat signifikan yaitu *short link* dan *long link* agar perbedaan perilaku tegangan dan regangan yang terjadi pada elemen struktur terlihat signifikan. Dengan hasil analisis sebelumnya menunjukkan bahwa perilaku tegangan dan regangan yang terjadi pada elemen struktur dipengaruhi oleh eksentrisitas dan *mesh* yang digunakan. Meskipun perbedaan perilaku akibat *mesh* tidak terlalu signifikan.

Dari hasil analisis sebelumnya akan dibandingkan berdasarkan perbedaan eksentrisitas pada jenis elemen dan *mesh* yang sama sebagai berikut:

A. Elemen Balok Mesh 4

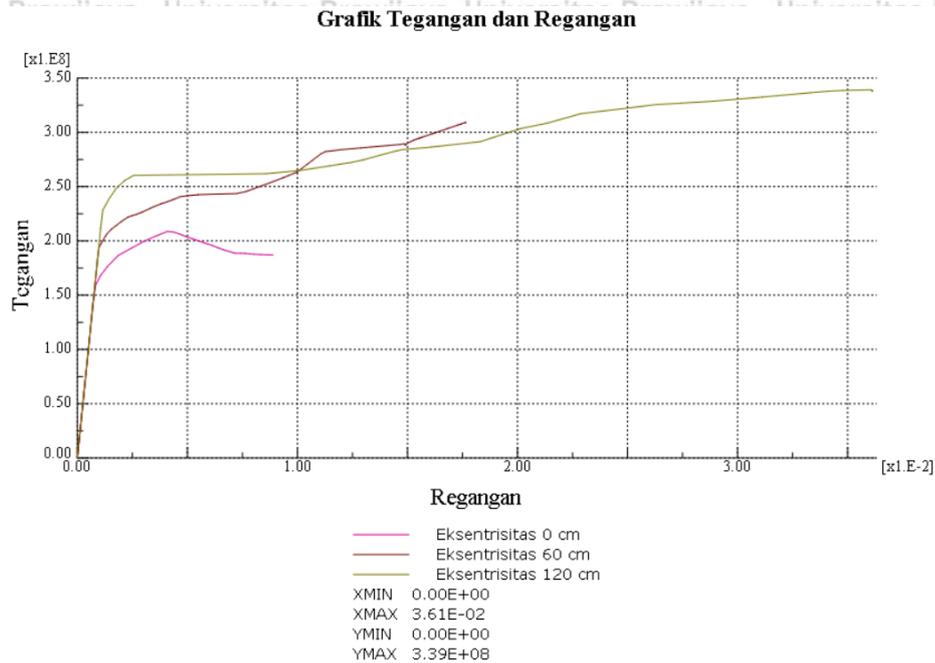
Elemen struktur balok bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 8 (eksentrisitas 0 cm), elemen 32 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 32 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal dengan eksentrisitas 0 cm memasuki daerah plastis sementara model portal dengan eksentrisitas 60 cm dan 120 cm berada pada daerah *strain hardening*.



Gambar 4.84 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok atas mesh 4

Elemen struktur balok bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 32 (eksentrisitas 0 cm), elemen 36 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 36 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal dengan eksentrisitas 0 cm memasuki daerah plastis

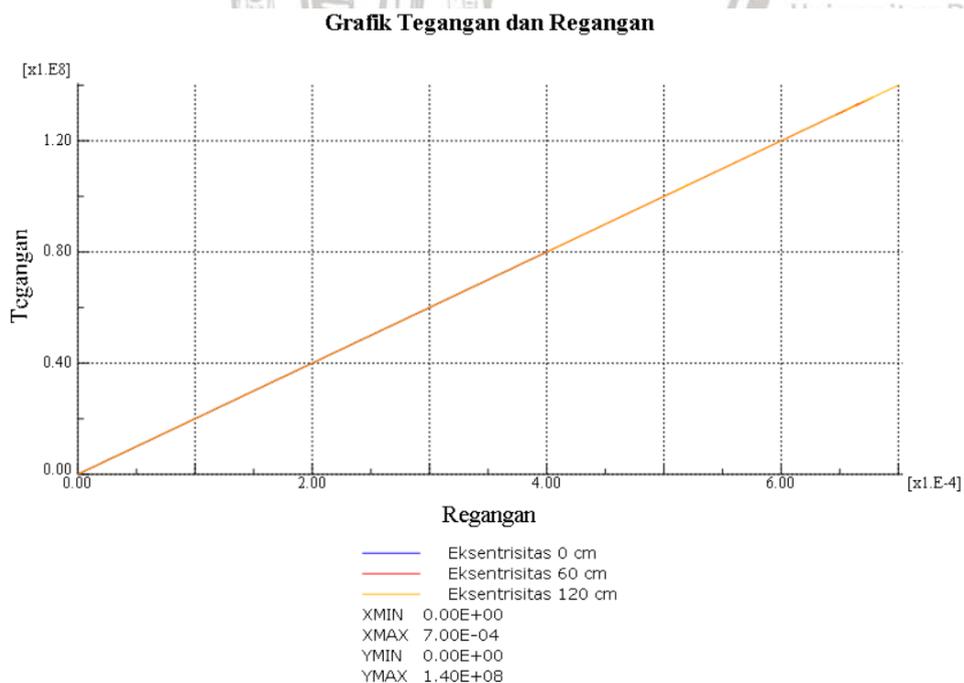
sementara model portal dengan eksentrisitas 60 cm dan 120 cm berada pada daerah *strain hardening*.



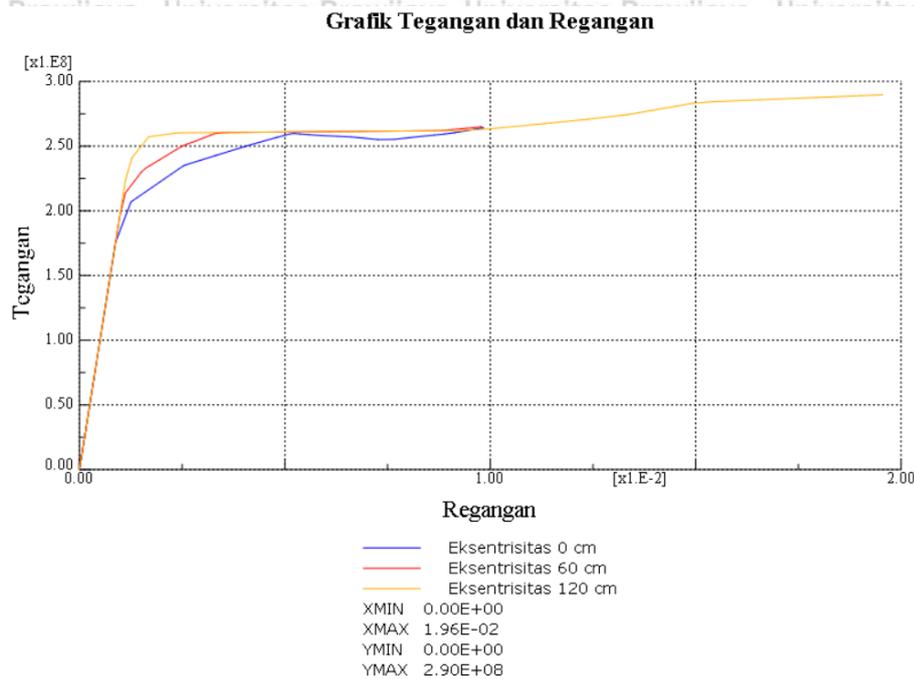
Gambar 4.85 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok bawah mesh 4

B. Elemen Kolom Mesh 4

Elemen struktur kolom bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 1 (eksentrisitas 0 cm), elemen 13 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 13 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa kolom masih berada pada daerah elastis.



Gambar 4.86 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom atas mesh 4

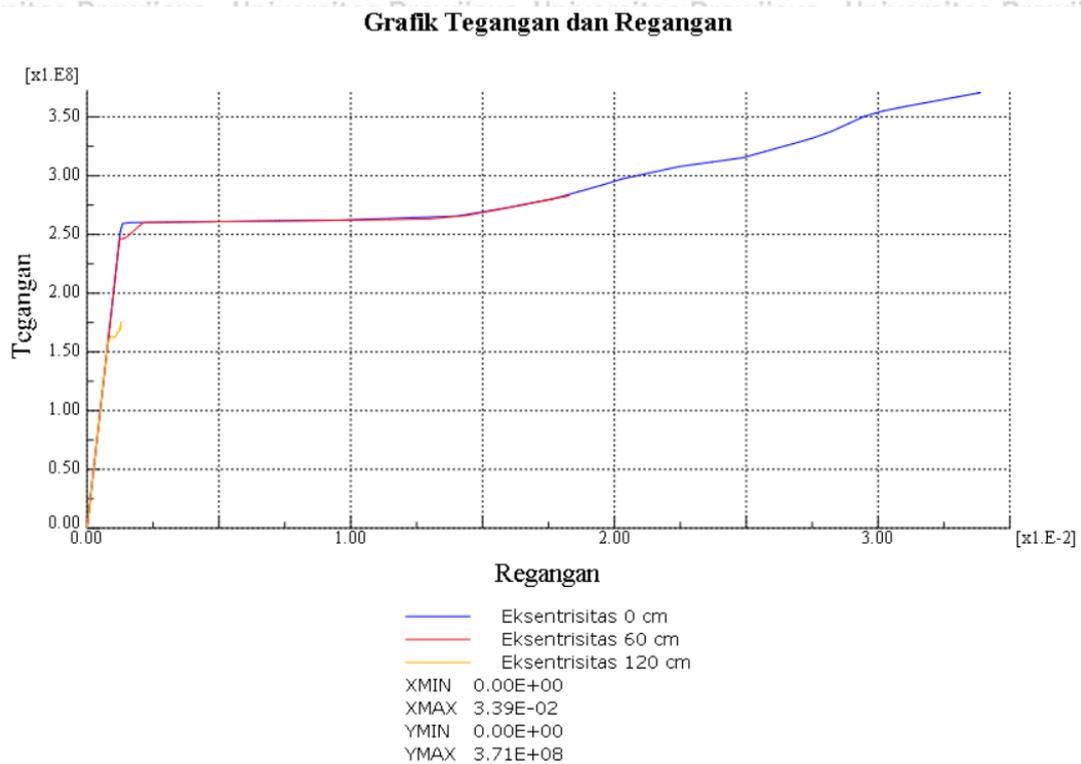


Gambar 4.87 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom bawah mesh 4

Elemen struktur kolom bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 25 (eksentrisitas 0 cm), elemen 37 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 37 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal eksentrisitas 0 cm dan 60 cm berada pada daerah plastis sementara model portal eksentrisitas 120 cm memasuki daerah *strain hardening*.

C. Elemen *Bracing Mesh 4*

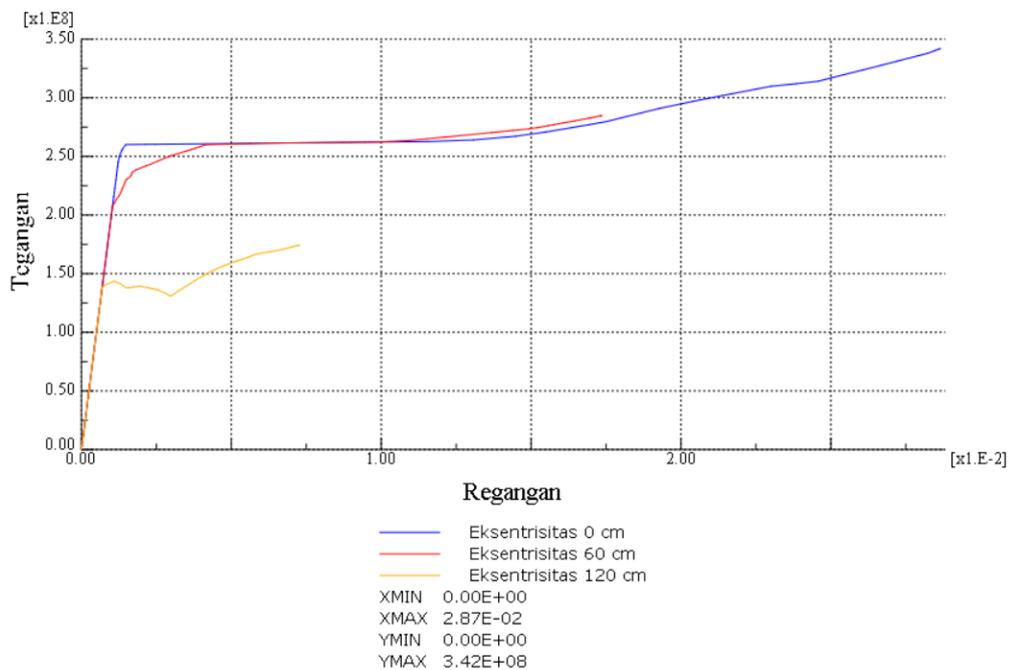
Elemen struktur *bracing* bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 16 (eksentrisitas 0 cm), elemen 24 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 24 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal eksentrisitas 0 cm berada pada titik tegangan *ultimate*, model portal eksentrisitas 60 cm memasuki daerah *strain hardening*, sedangkan model portal eksentrisitas 120 cm berada pada daerah elastis.



Gambar 4.88 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing atas mesh 4

Elemen struktur *bracing* bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 36 (eksentrisitas 0 cm), elemen 4 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 4 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal eksentrisitas 0 cm berada pada daerah *strain hardening*, model portal eksentrisitas 60 cm memasuki daerah *strain hardening*, sedangkan model portal eksentrisitas 120 cm berada pada daerah elastis.

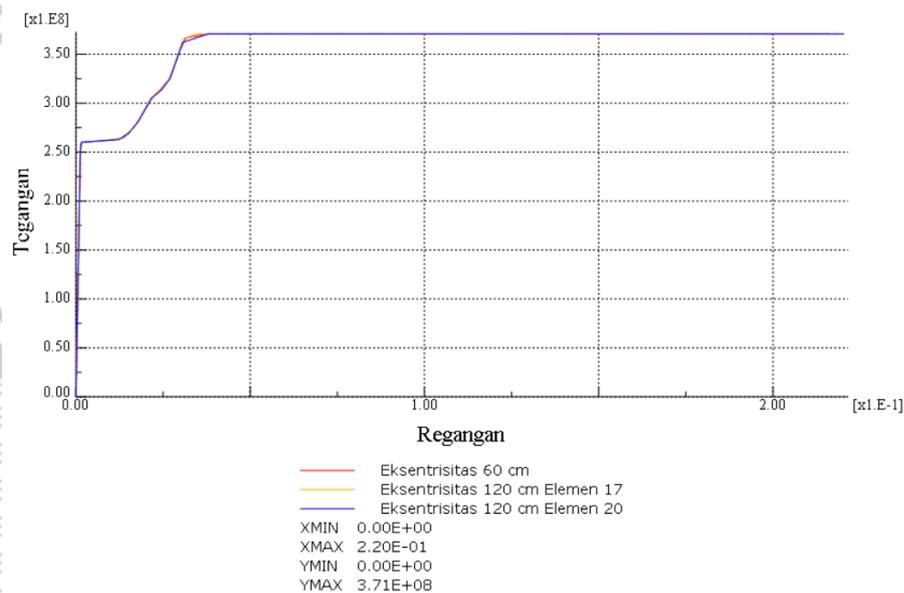
Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.88 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing bawah mesh 4

D. Elemen Link Beam Mesh 4

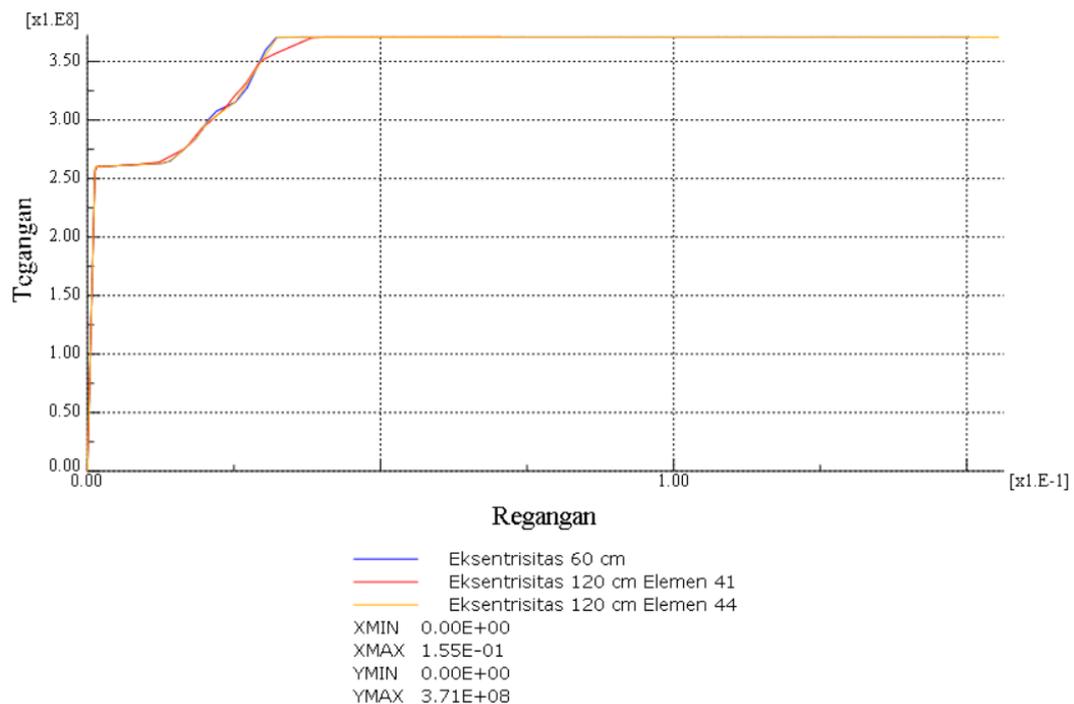
Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.89 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam atas mesh 4

Elemen struktur *link beam* bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 125 (eksentrisitas 60 cm), elemen 17 dan 20 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari kedua model dapat diketahui bahwa ketiga elemen yang ditinjau sudah berada pada titik tegangan *ultimate*.

Grafik Tegangan dan Regangan



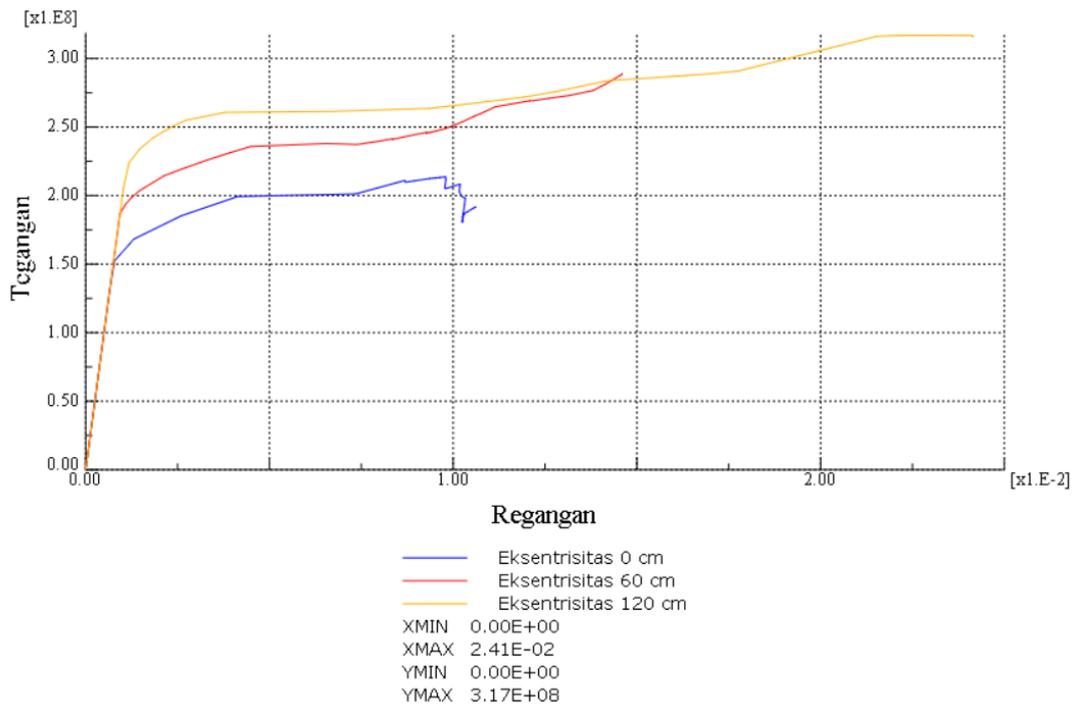
Gambar 4.90 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam bawah mesh 4

Elemen struktur *link beam* bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 44 (eksentrisitas 60 cm), elemen 41 dan 44 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari kedua model dapat diketahui bahwa ketiga elemen yang ditinjau sudah berada pada titik tegangan *ultimate*.

E. Elemen Balok Mesh 25

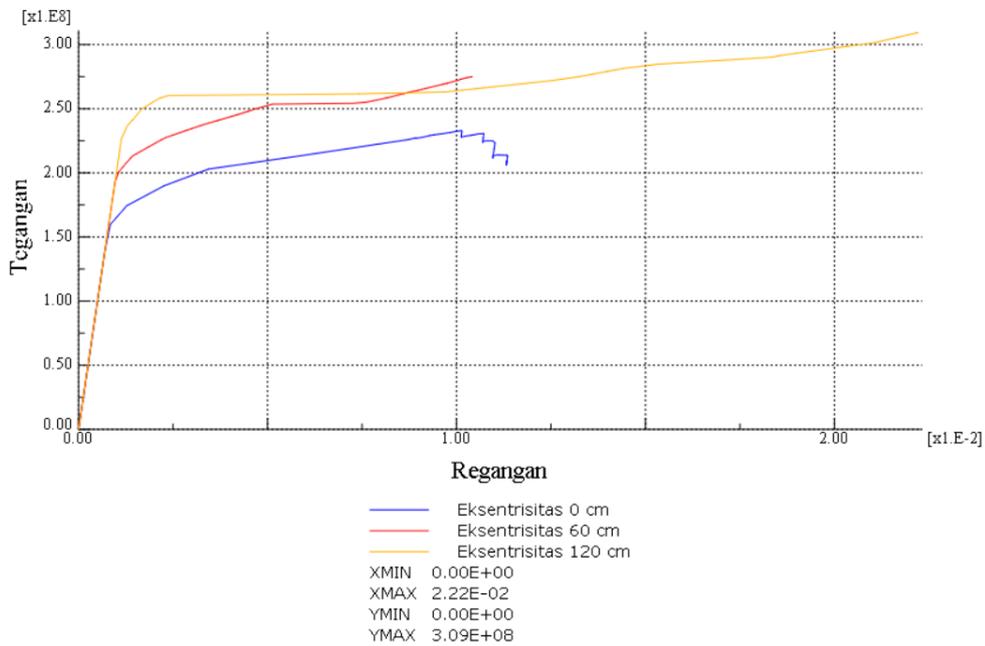
Elemen struktur balok bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 50 (eksentrisitas 0 cm), elemen 200 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 200 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal dengan eksentrisitas 0 cm berada pada daerah plastis, model portal dengan eksentrisitas 60 memasuki daerah *strain hardening*, sementara model portal dengan eksentrisitas 120 berada pada daerah *strain hardening*.

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.91 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok atas mesh 25

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.92 Perbandingan tegangan dan regangan pada balok bawah mesh 25

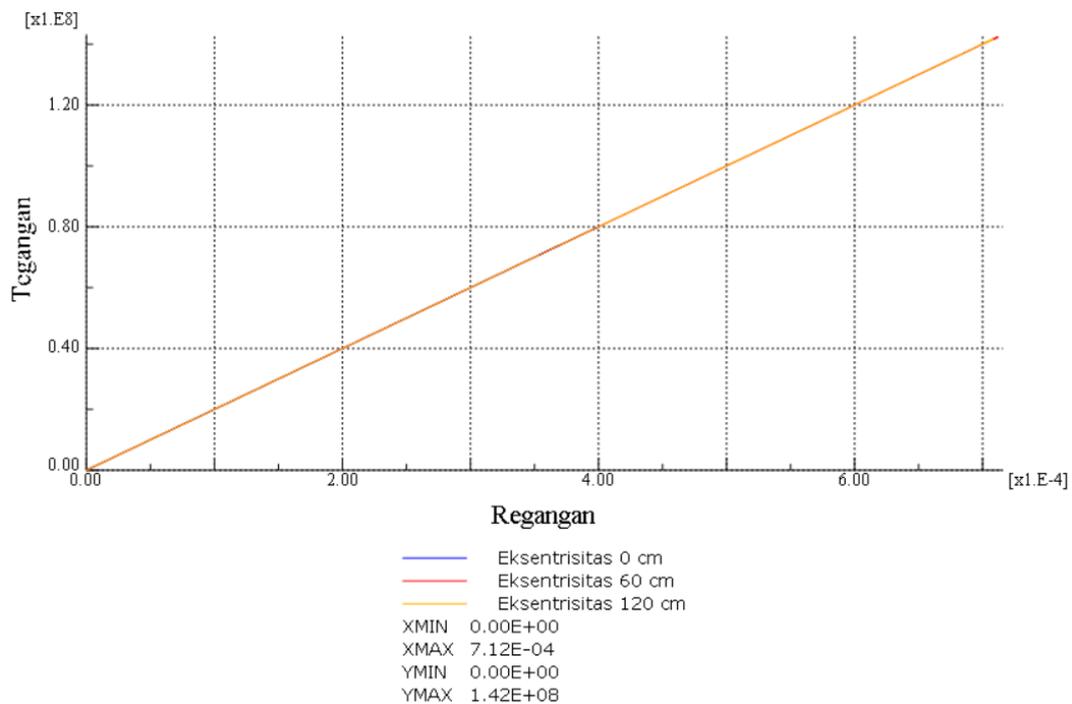
Elemen struktur balok bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 200 (eksentrisitas 0 cm), elemen 225 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 225 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model

dapat diketahui bahwa model portal dengan eksentrisitas 0 cm dan eksentrisitas 60 cm berada pada daerah plastis, sementara model portal dengan eksentrisitas 120 cm berada pada daerah *strain hardening*.

F. Elemen Kolom Mesh 25

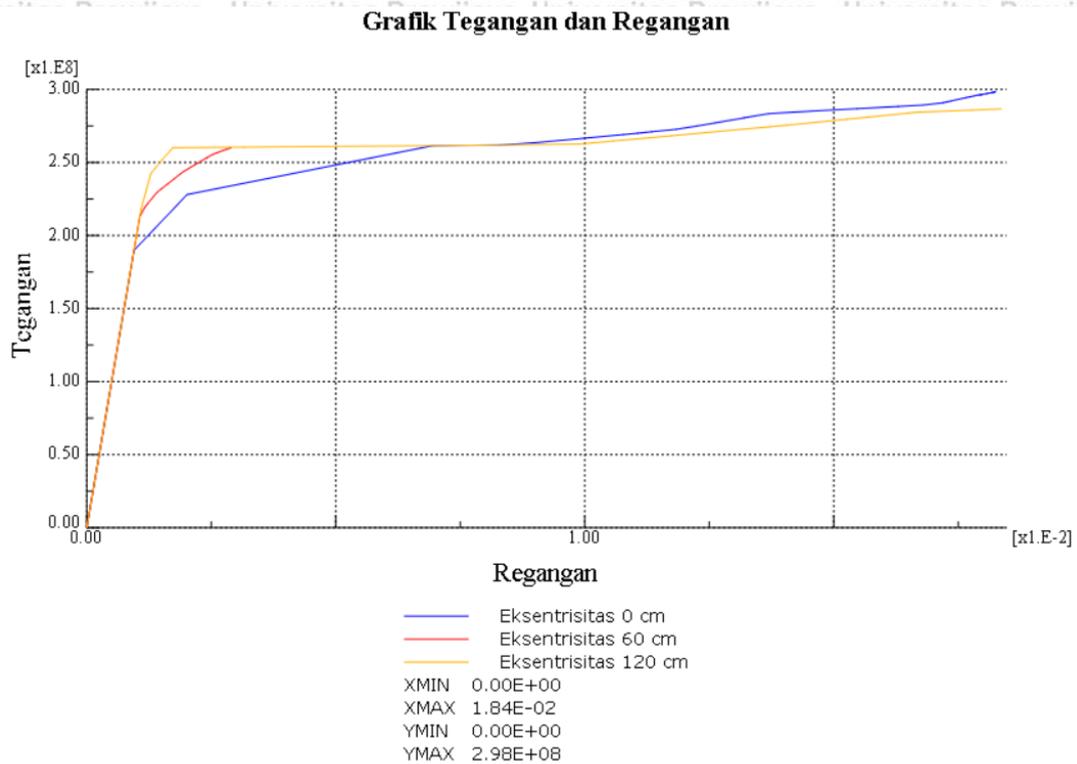
Elemen struktur kolom bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 1 (eksentrisitas 0 cm), elemen 76 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 76 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa kolom masih berada pada daerah elastis.

Grafik Tegangan dan Regangan



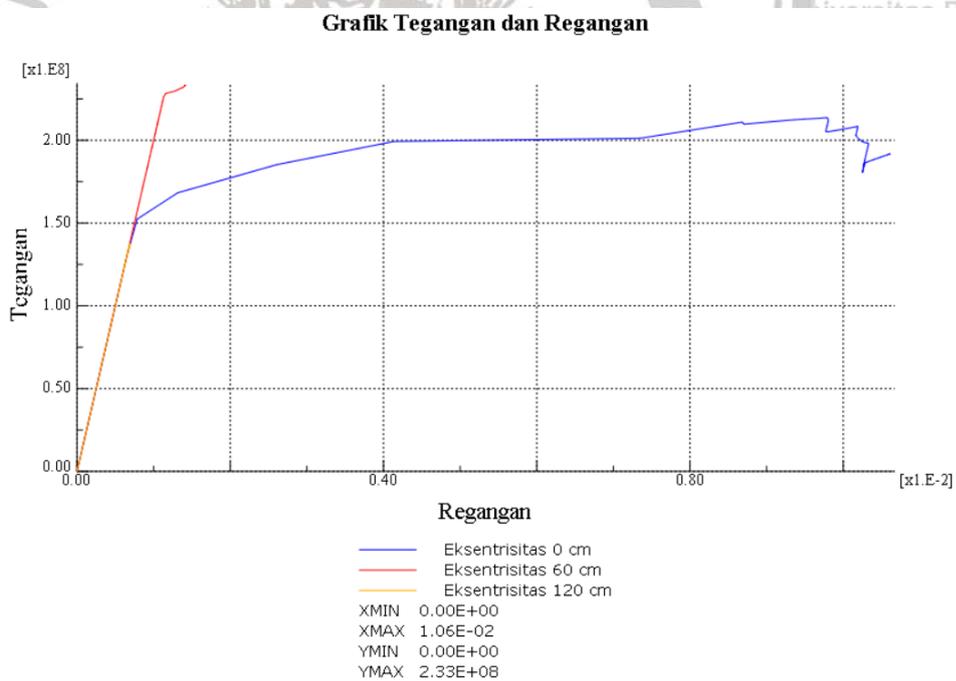
Gambar 4.93 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom atas mesh 25

Elemen struktur kolom bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 151 (eksentrisitas 0 cm), elemen 226 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 226 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa kolom masih berada pada daerah plastis.



Gambar 4.94 Perbandingan tegangan dan regangan pada kolom bawah mesh 25

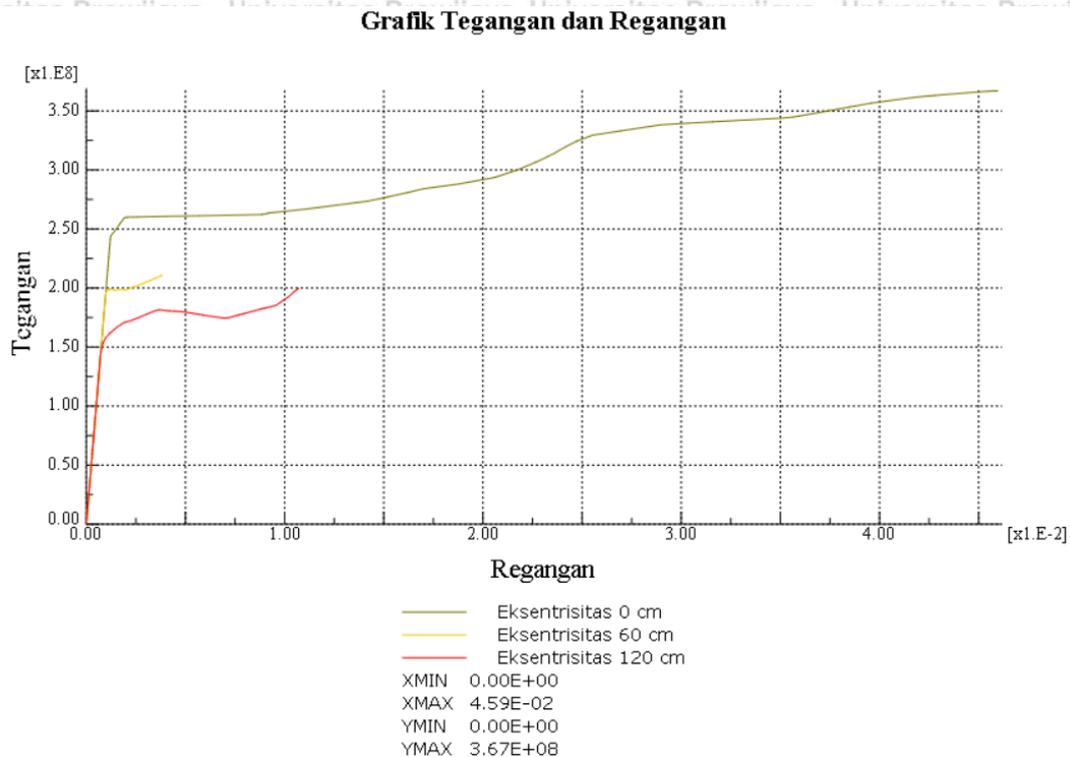
G. Elemen Bracing Mesh 25



Gambar 4.95 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing atas mesh 25

Elemen struktur *bracing* bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 100 (eksentrisitas 0 cm), elemen 150 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 150 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model

dapat diketahui bahwa model portal eksentrisitas 0 cm berada pada daerah plastis, model portal eksentrisitas 60 cm dan eksentrisitas 120 cm berada pada daerah elastis.



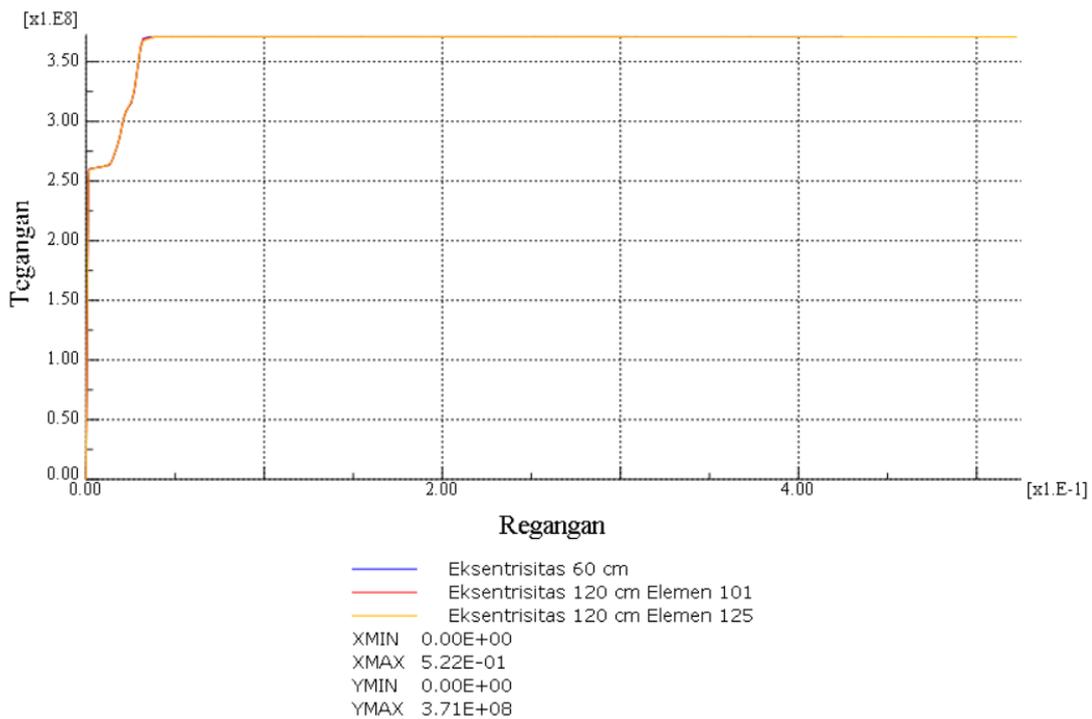
Gambar 4.96 Perbandingan tegangan dan regangan pada bracing bawah mesh 25

Elemen struktur *bracing* bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 225 (eksentrisitas 0 cm), elemen 25 (eksentrisitas 60 cm) dan elemen 25 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari ketiga model dapat diketahui bahwa model portal eksentrisitas 0 cm berada pada titik tegangan *ultimate*, model portal eksentrisitas 60 cm dan eksentrisitas 120 cm memasuki daerah plastis.

H. Elemen *Link Beam* Mesh 25

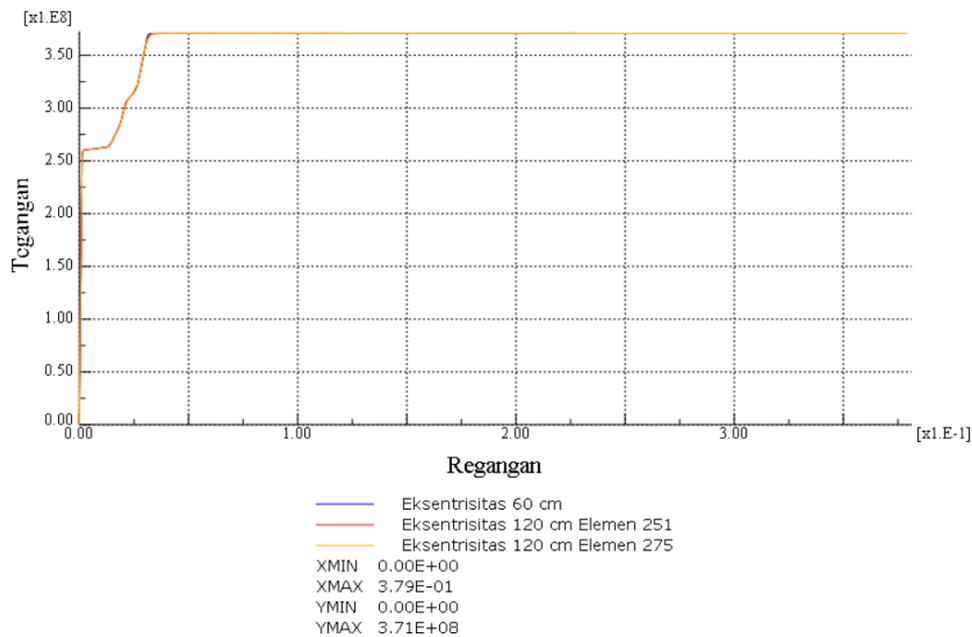
Elemen struktur *link beam* bagian atas yang ditinjau yaitu elemen 125 (eksentrisitas 60 cm), elemen 101 dan 125 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari kedua model dapat diketahui bahwa ketiga elemen yang ditinjau sudah berada pada titik tegangan *ultimate*.

Grafik Tegangan dan Regangan



Gambar 4.97 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam atas mesh 25

Grafik Tegangan dan Regangan



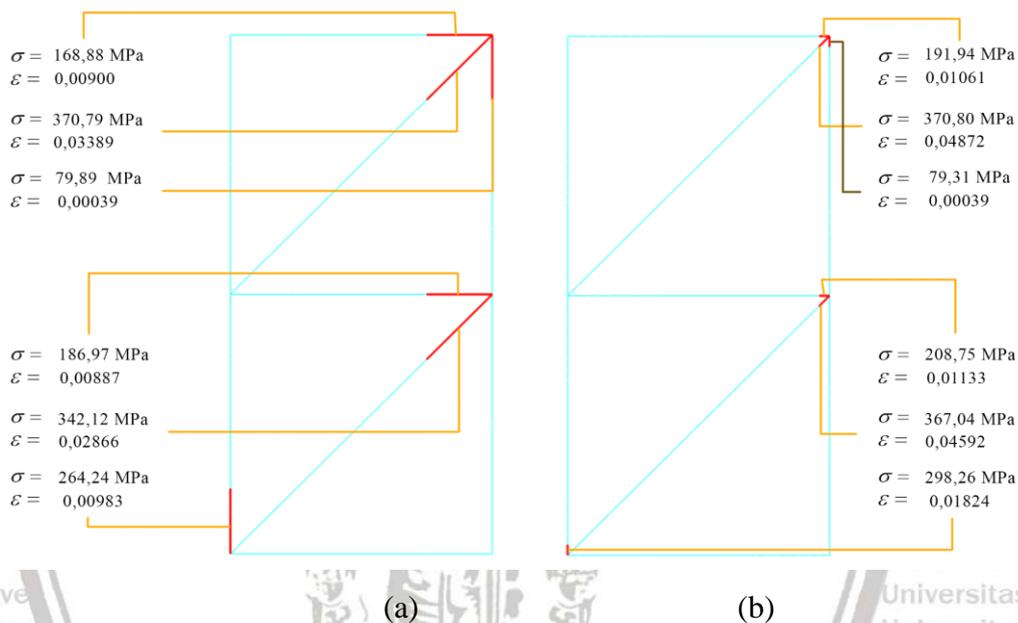
Gambar 4.98 Perbandingan tegangan dan regangan pada link beam bawah mesh 25

Elemen struktur *link beam* bagian bawah yang ditinjau yaitu elemen 275 (eksentrisitas 60 cm), elemen 251 dan 275 (eksentrisitas 120 cm) karena ketiga elemen

tersebut mengalami tegangan terbesar. Dari kedua model dapat diketahui bahwa ketiga elemen yang ditinjau sudah berada pada titik tegangan *ultimate*.

4.6 Perbandingan Respon Struktur Portal 2 Lantai dengan Bracing Diagonal Eksentris Satu Arah antara Mesh Besar dan Mesh Kecil

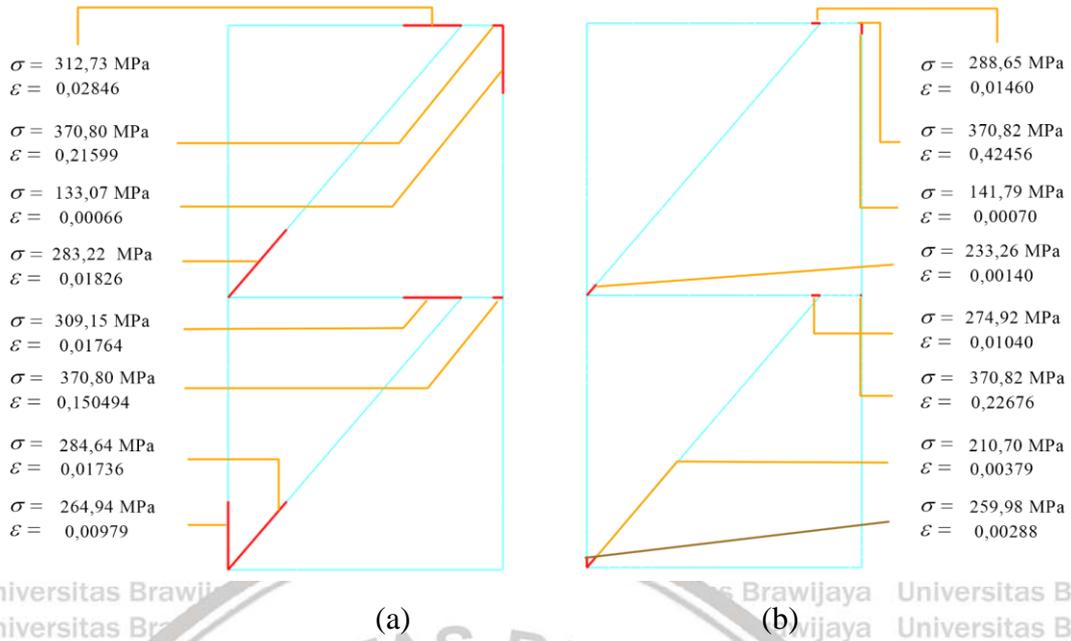
Pada prinsipnya penggunaan mesh besar dan mesh kecil bertujuan untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang lebih tepat mendekati kondisi nyata, oleh karena itu perbandingan antara kedua variasi *mesh* diberikan sebagai berikut:



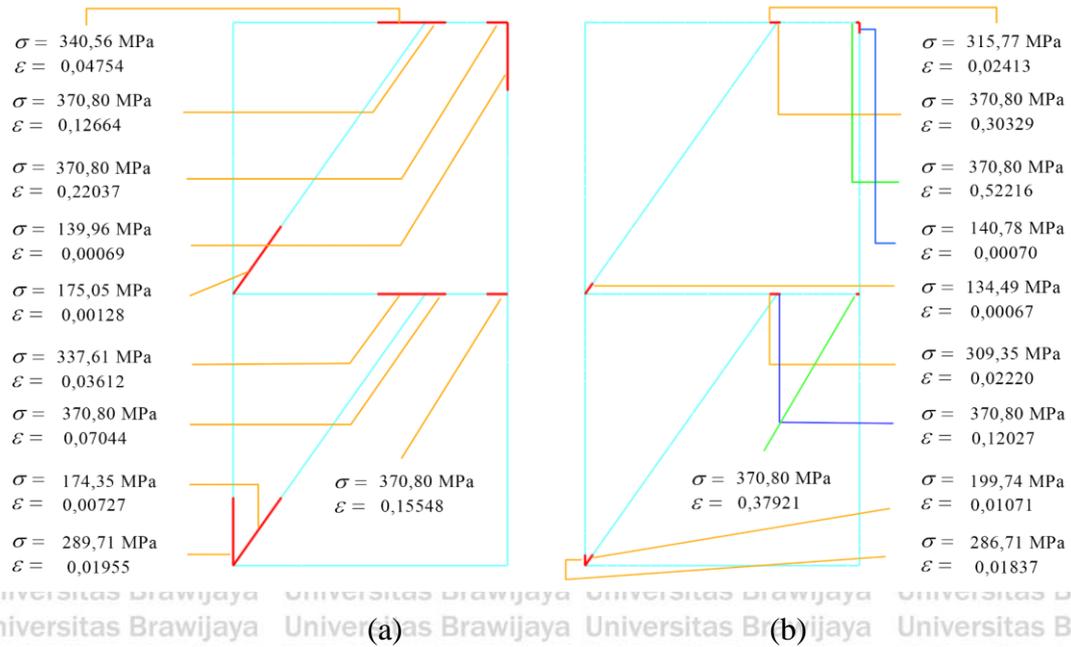
Gambar 4.99 (a) Portal eksentris 0 cm mesh 4, (b) Portal eksentris 0 cm mesh 25

Dalam Gambar 4.99 menunjukkan bahwa variasi *mesh* 25 menghasilkan nilai tegangan dan regangan lebih besar daripada *mesh* 4, pada kedua variasi *mesh* memang memiliki perbedaan beban pada saat *aborted* dimana beban pada portal eksentris 0 cm *mesh* 25 lebih besar daripada beban pada portal eksentris 0 cm *mesh* 4. Perbedaan beban pada saat *aborted* tersebut juga dipengaruhi jumlah *mesh* pada portal eksentris 0 cm, dimana *mesh* 25 pada portal eksentris 0 cm menunjukkan nilai *step time* 0,9979 lebih besar daripada nilai *step time* 0,9809 pada *mesh* 4 nya.

Namun portal eksentris 60 cm dan 120 cm menunjukkan kebalikannya, dimana nilai *step time* pada *mesh* 4 lebih besar daripada *mesh* 25, dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hal ini tentunya mengakibatkan nilai tegangan dan regangan setiap elemen pada *mesh* 25 bervariasi (tidak selalu lebih besar) daripada nilai tegangan dan regangan pada *mesh* 4, selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.100 dan Gambar 4.101.



Gambar 4.100 (a) Portal eksentris 60 cm mesh 4, (b) Portal eksentris 60 cm mesh 25



Gambar 4.101 (a) Portal eksentris 120 cm mesh 4, (b) Portal eksentris 120 cm mesh 25



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dalam penelitian yang sudah dilakukan menggunakan beban statis lateral sebesar 595.000 N pada semua model portal, terdapat dua poin tujuan dalam penelitian yaitu mengetahui perilaku tegangan dan regangan akibat adanya variasi eksentrisitas satu arah pada portal 2 lantai dengan *bracing* diagonal yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Struktur mengalami keruntuhan (*aborted*) ketika tegangan ultimate sebesar 370 MPa tercapai. Dari 3 model variasi eksentrisitas menunjukkan perbedaan beban maksimum pada saat terjadi *aborted*, dengan bertambahnya jarak eksentrisitas menunjukkan kemampuan struktur menahan beban maksimum semakin kecil. Pada model portal konsentris terjadi keruntuhan pada elemen *bracing*, sementara model portal dengan eksentrisitas terjadi keruntuhan pada elemen *link beam*. Eksentrisitas yang semakin besar mengakibatkan tegangan yang terjadi bertambah besar pada bagian balok atas dan balok tengah, sementara tegangan semakin mengecil pada bagian *bracing*. Sedangkan tegangan pada *link beam* akan selalu mencapai *ultimate* terlebih dahulu yang menunjukkan perilaku inelastis daripada bagian lainnya.
2. Model dengan eksentrisitas 60 cm dan 120 cm terjadi *aborted* pada bagian *link beam* atas dan *link beam* bawah, namun terdapat perbedaan nilai regangannya. Regangan pada bagian *bracing* atas (lantai 2) dan *link beam* atas (lantai 2) selalu lebih besar daripada bagian bawah (lantai 1). Model portal eksentrisitas 120 cm mengalami keruntuhan pada kedua ujung *link beam*, dimana nilai regangan terbesar terjadi pada elemen *link beam* ujung kanan. Sedangkan pada model portal konsentris regangan terbesar terjadi pada bagian *bracing* atas. Regangan terbesar terjadi pada bagian elemen yang mengalami keruntuhan seperti *bracing* (portal konsentris) dan *link beam* (portal dengan eksentrisitas). Dengan bertambah besar eksentrisitas dan semakin rapat *mesh* yang digunakan maka regangan yang terjadi pada elemen yang runtuh semakin besa

5.2 Saran

1. Untuk model portal eksentrisitas 2 lantai dengan bracing diagonal satu arah dengan beban statis lateral ternyata kolom lantai bawah (lantai 1) mengalami kondisi plastis bahkan ada yang memasuki daerah *strain hardening*, diharapkan terdapat penelitian lebih lanjut dengan jumlah lantai lebih banyak untuk melihat perilaku keruntuhan yang terjadi.
2. Gunakan dimensi profil yang sama pada semua elemen kolom, balok dan bracing untuk melihat apakah perilaku struktur tetap mengalami keruntuhan sesuai dengan konsep *strong column weak beam*.



DAFTAR PUSTAKA

Abaqus Analysis User's Manual 6.9. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA.

Ali, G. (2016). *Comparison of the Behavior of Steel Structures with Concentric and Eccentric Bracing Systems*. Cyprus Utara: Universitas Mediterania Timur.

ASCE 7-10. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures"

Faridmehr, Iman. Osman, Mohd Hanim. Adnan, Azlan B. Nejad, Ali Farokhi. Hodjati, Reza.

Azimi, Mohammadamin. 2014. *Corelation between Engineering Stress-Strain and True Stress-Strain Curve. American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2(1): 53-59. Johor: Universiti Teknologi Malaysia.

Gere, J. M. & Timoshenko, S.P. 1996. *Mekanika Bahan Jilid I edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga

Gunawan, R., Morisco. 1998. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Kanisius.

Gioncu, Victor dan Mazzolani, Federico M. 2014. *Seismic Design of Steel Structures*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Hjelmstad, Keith D. dan Popov, Egor P. 1988. *Characteristic of Eccentrically Braced Frames*.

Mohan, M.S. (2017). *Comparative Analysis of Concenrically Braced Frame, Eccentrically Braced Frame and Moment Resisting Frame of Steel. International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(5)

SNI 03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.

SNI 1729:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.

Torunbalci, N. 2003. *Earthquake protective systems in civil engineering structures: Evolution and application. In Earthquake Resistant Engineering Structures IV*.

Wiryanto Dewobroto, 2016. *Struktur Baja: Perilaku, Analisis & Desain - AISC 2010 Edisi ke-*

2. Tangerang: Jurusan Teknik Sipil UPH.