

**ANALISIS PEMODELAN PERILAKU BEBAN DAN PERPINDAHAN  
PADA PORTAL DENGAN BRACING TIPE DIAGONAL EKSENTRIS  
SATU ARAH**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FEBBI AYU NURIANI VIRGIANTI**  
**NIM. 175060107111020**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**

**2021**





**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS PEMODELAN PERILAKU BEBAN DAN PERPINDAHAN**  
**PADA PORTAL DENGAN BRACING TIPE DIAGONAL EKSENTRIS**  
**SATU ARAH**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK SIPIL**

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



**FEBBI AYU NURIANI VIRGIANTI**  
**NIM. 175060107111020**

Dosen Pembimbing I

**Dr. Eng. Ming Narto W., ST, M.Sc.**

NIP. 201102 840705 1 001

Dosen Pembimbing II

**Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT.**

NIP. 19850221 201903 2 003

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

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

NIP. 19810220 200604 1 002





## HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

### JUDUL SKRIPSI :

Analisis Pemodelan Perilaku Beban dan Perpindahan pada Portal dengan *Bracing Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah*

Nama Mahasiswa : Febbi Ayu Nuriani Virgianti

NIM : 175060107111020

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

### TIM DOSEN PENGUJI :

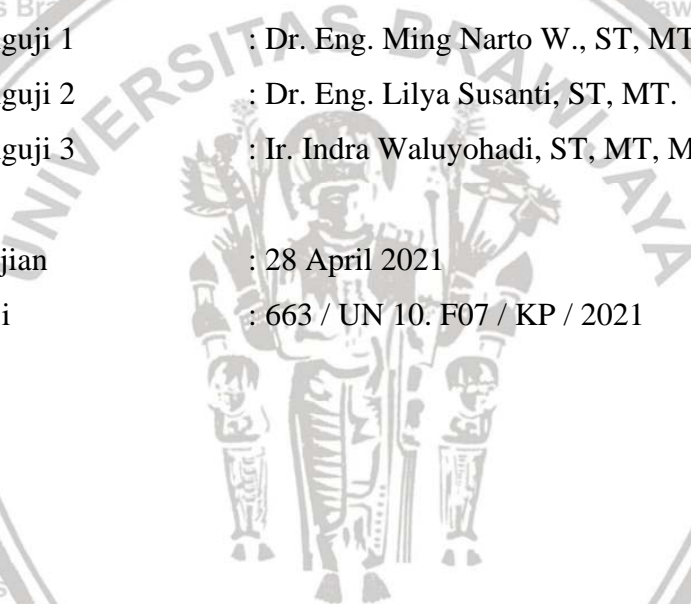
Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc.

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

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

Tanggal Ujian : 28 April 2021

SK Penguji : 663 / UN 10. F07 / KP / 2021







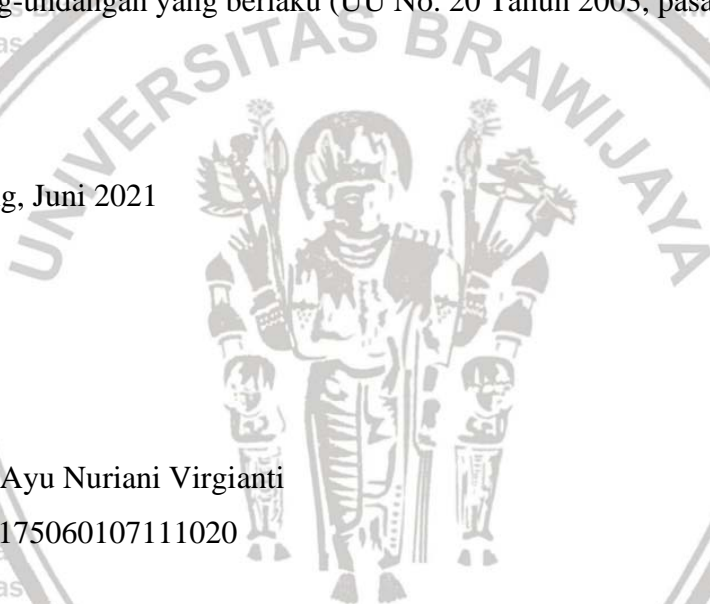
## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

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

Malang, Juni 2021

Febbi Ayu Nuriani Virgianti  
NIM. 175060107111020







## RIWAYAT HIDUP

Febbi Ayu Nuriani Virgianti, lahir di Bandung, 15 Februari 2000, anak pertama dari Ayah Tatto Virgianto, SH. dan Ibu Wiwit Fitri Mariani, SH. Mengawali bangku sekolah di SD Negeri Soka 34/1 Bandung sejak tahun 2005 dan lulus pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 14 Bandung dan lulus pada tahun 2014. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 20 Bandung dan lulus pada tahun 2017. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2021 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

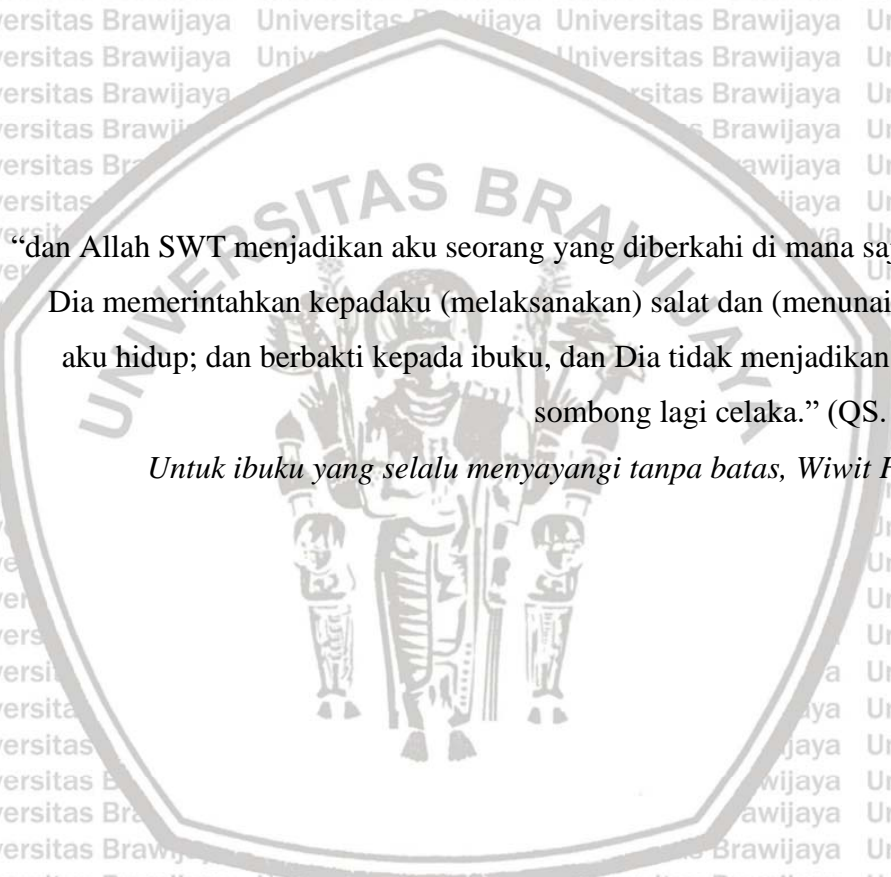
Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi kampus. Aktif sebagai anggota PROBIN Teknik Sipil Universitas Brawijaya, anggota *Civil Camp* Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2017/2018, anggota Himpunan Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2018/2019, ketua divisi kesejahteraan mahasiswa Departemen Infokasi periode 2019/2020, bendahara umum *Civil Camp* 2019, anggota *liaison officer* dan pembawa acara *Asia Bridge Competition* 2019, asisten tugas besar Mekanika Bahan Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2019/2020, asisten Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2020/2021, serta berbagai kepanitiaan lainnya di lingkup Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Juni 2021

Penulis







“dan Allah SWT menjadikan aku seorang yang diberkahi di mana saja aku berada, dan Dia memerintahkan kepadaku (melaksanakan) salat dan (menunaikan) zakat selama aku hidup; dan berbakti kepada ibuku, dan Dia tidak menjadikan aku seorang yang sombong lagi celaka.” (QS. Maryam : 31-32).

*Untuk ibuku yang selalu menyayangi tanpa batas, Wiwit Fitri Mariani., SH.*





## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat, rahmat, karunia, dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis dan sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Pemodelan Perilaku Beban dan Perpindahan pada Portal dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah**” dengan tepat waktu.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh oleh Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan yang diberikan oleh banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST.,MT.,** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko., ST, M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak **Dr. Eng. Ir. Ming Narto W., ST., MT., M.Sc.,** selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan saran, arahan, dan bimbingannya dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu **Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.,** selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran, arahan, dan bimbingannya dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.,** selaku KKJF Struktur.
6. Bapak **Dr. Ir. Roland Martin Simatupang, ST., MT., Msc.,** selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, dan arahan yang sangat berpengaruh bagi penulis selama masa perkuliahan.
7. Ibu **Wiwit Fitri Mariani, SH.,** dan Bapak **Tatto Virgianto, SH.,** selaku orang tua yang telah mengasih dan mendukung secara moral, materil, serta doa yang selalu dipanjatkan bagi penulis sejak lahir.
8. (Alm.) **H. Sumedi** dan **Hj. Tini Sartini,** selaku kakek dan nenek yang telah menyayangi, menginspirasi, dan mengasih penulis sejak kecil.
9. **Aditya Dwi Rahman Virgianto** dan **Qiran Kaffah Daima Virgianto,** selaku adik kandung penulis yang telah menjadi motivasi penulis menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu.





10. **Adi Agung Wibisana, ST.**, dan **Aprila Mirnanda, SE.**, selaku om dan tante yang telah senantiasa membantu, memberi arahan, dan memotivasi penulis.

11. **Muhammad Zaki Pradipta**, yang telah membantu dan menemani saya selama kuliah.

12. **Alan, Raissa, Pramitari, dan Wan**, selaku teman senasib sepenanggungan tim skripsi EBS.

13. **Dias, Dini K., Qisthina, dan Nabila**, selaku teman dekat yang telah membantu, mendampingi, dan memberi dukungan kepada penulis sejak awal perkuliahan.

14. Kelompok PKL Proyek Tol Kunciran-Cengkareng-Batu Ceper yaitu **Khalda, Mila, Catur, dan Irfan** selaku teman senasib sepenanggungan dalam menimba ilmu lapangan ketekniksipilan.

15. Seluruh mahasiswa Teknik Sipil Universitas Brawijaya angkatan 2017 dan KBMS yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan tidak sempurna, sehingga diperlukan saran dan kritik yang membangun untuk penelitian di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan teknik sipil.

Malang, Juni 2021

Penulis,

Febbi Ayu Nuriani Virgianti



DAFTAR ISI

**KATA PENGANTAR** ..... i

**DAFTAR ISI** ..... iii

**DAFTAR TABEL** ..... v

**DAFTAR GAMBAR** ..... vii

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... ix

**RINGKASAN** ..... x

**SUMMARY** ..... xii

**BAB I PENDAHULUAN** ..... 1

    1.1 Latar Belakang ..... 1

    1.3 Rumusan Masalah ..... 2

    1.4 Maksud dan Tujuan ..... 2

    1.5 Batasan Masalah ..... 2

    1.6 Manfaat Kegiatan ..... 3

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... 5

    2.1 Baja ..... 5

    2.2 Sistem Struktur Portal Baja Tahan Gempa ..... 7

        2.2.1 *Braced Frame (BF)* ..... 7

        2.2.2 *Shear Wall* ..... 12

        2.2.3 *Moment Resisting Frame (MRF)* ..... 13

    2.3 Gempa Bumi ..... 14

    2.4 Analisis Statik Ekuivalen ..... 15

    2.5 Load Application Control ..... 16

        2.5.1 Load Control ..... 16

        2.5.2 Displacement Control ..... 16

    2.6 Perpindahan ..... 16

    2.7 Kriteria Leleh ..... 17

        2.7.1 Kriteria Von Mises ..... 17

    2.8 Elastisitas ..... 18

    2.9 Plastisitas ..... 19

        2.9.1 *Engineering Stress dan True Stress* ..... 19

        2.9.2 *Engineering Strain dan True Strain* ..... 19

        2.9.3 Kurva Tegangan-Regangan ..... 20

    2.10 *Software ABAQUS Student Version* ..... 22

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN** ..... 23

    3.1 Rancangan Penelitian ..... 23

    3.2 Tahapan Penelitian ..... 23

    3.3 Variabel Penelitian ..... 24

    3.4 Pemodelan Struktur dengan *Software ABAQUS* ..... 25

    3.5 Hipotesis Penelitian ..... 38

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN** ..... 39



4.1	Pemodelan Struktur Portal Dengan Eksentrisitas <i>Bracing</i> .....	39
4.1.1	Gambaran Umum .....	39
4.1.2	Spesifikasi Pemodelan .....	40
4.2	Analisis Pemodelan Struktur Portal dengan <i>Bracing</i> Tipe Diagonal Satu Arah .....	41
4.3	Analisis Respon Struktur Portal Akibat Beban Statis .....	44
4.4	Hasil Analisis Struktur Portal <i>Bracing</i> Eksentris Tipe Diagonal Satu Arah .....	45
4.4.1	Meshing 4 .....	45
4.4.2	Meshing 25 .....	53
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		66
5.1	Kesimpulan .....	66
5.2	Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		70
<b>LAMPIRAN</b> .....		71





**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Baja Struktural.....	6
Tabel 2.2 Hubungan Magnitudo dan Intensitas Gempa Bumi (Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Pusat).....	15
Tabel 4.1 Data Dimensi Profil Baja.....	40
Tabel 4.2 Nilai True Stress dan True Strain.....	41
Tabel 4.3 Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing Node Kiri Meshing 4.....	61
Tabel 4.4 Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing Node Kanan Meshing.....	61
Tabel 4.5 Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing RF Kumulatif Meshing 4.....	61
Tabel 4.6 Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing Node Kiri Meshing 25.....	63
Tabel 4.7 Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing Node Kanan Meshing 25.....	63
Tabel 4.8 Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing RF Kumulatif Meshing 25.....	63





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lempeng Gempa Indonesia ..... 1

Gambar 2. 1 Hubungan Tegangan-Regangan Baja ..... 6

Gambar 2. 2 Idealisasi Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja ..... 7

Gambar 2. 3 Grafik Keefektifan Lateral Force Resisting System ..... 8

Gambar 2. 4 Variasi Jenis Eccentrically Braced Frame (AISC (2002). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL)..... 9

Gambar 2. 5 Eccentrically Braced Frames ..... 9

Gambar 2. 6 Elemen Eccentrically Braced Frame ..... 10

Gambar 2. 7 Variasi Bentuk Eccentrically Braced Frame ..... 10

Gambar 2. 8 Mekanisme keruntuhan Eccentrically Braced Frame ..... 11

Gambar 2. 9 Detail Link Beam..... 11

Gambar 2. 10 Grafik Klasifikasi Link Beam..... 12

Gambar 2. 11 Shear Walls ..... 13

Gambar 2. 12 Macam-macam Bentuk Shear Walls ..... 13

Gambar 2. 13 Moment Resisting Frame..... 14

Gambar 2. 14 Peta Gempa Indonesia (Sumber : SNI 1726-2002) ..... 14

Gambar 2. 15 Gaya Geser Pada Sistem Struktur ..... 17

Gambar 2. 16 Gaya Aksial Pada Sistem Struktur..... 17

Gambar 2. 17 Kurva Laju Regangan ..... 21

Gambar 2. 18 Kurva Engineering Stress-Strain ..... 21

Gambar 2. 19 Perbandingan Kurva Engineering Stress-Strain dan True Stress-Strain..... 22

Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian ..... 24

Gambar 3. 2 Hasil Penggabungan Koordinat yang Membentuk Portal ..... 25

Gambar 3. 3 Input Nilai Kerapatan Massa ..... 26

Gambar 3. 4 Input Nilai Elastisitas..... 26

Gambar 3. 5 Input Nilai Plastisitas..... 27

Gambar 3. 6 Input Dimensi Profil Balok..... 27

Gambar 3. 7 Input Dimensi Profil Bracing..... 28

Gambar 3. 8 Input Dimensi Profil Kolom ..... 28

Gambar 3. 9 Input Mutu Baja..... 29

Gambar 3. 10 Input Section Balok ..... 29

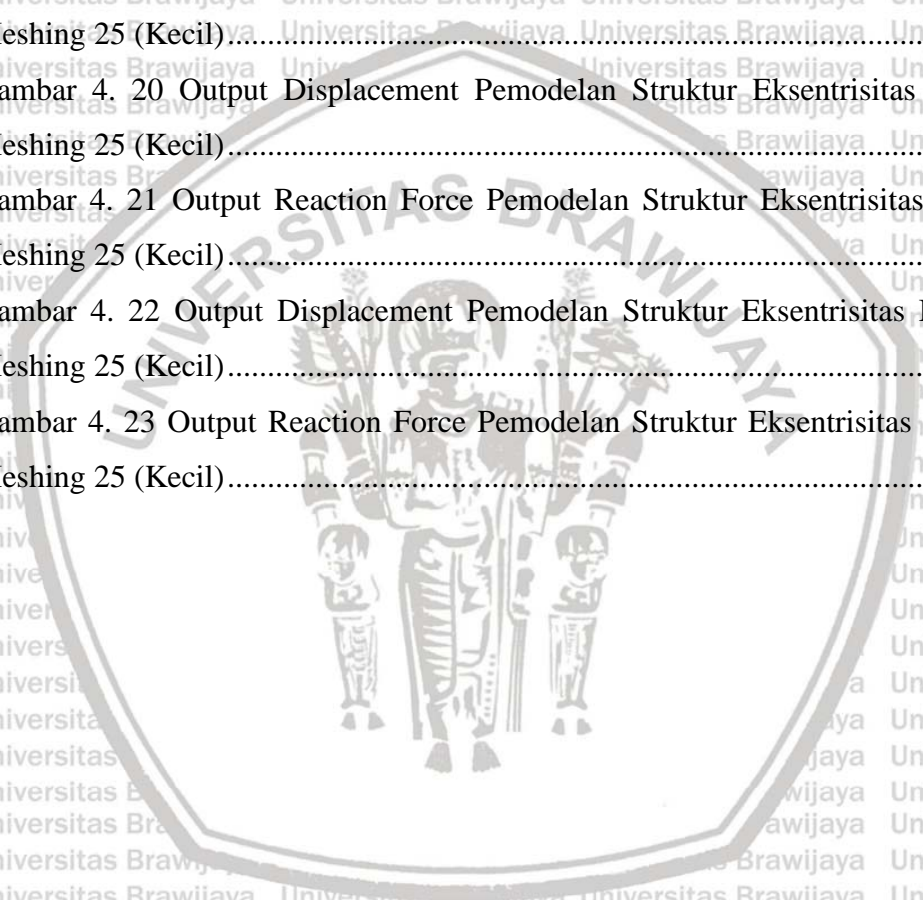
Gambar 3. 11 Input Section Bracing ..... 30



Gambar 3. 12 Input Section Kolom.....	30
Gambar 3. 13 Section Assignment Balok Bawah.....	31
Gambar 3. 14 Section Assignment Balok Atas .....	31
Gambar 3. 15 Section Assignment Link Beam .....	31
Gambar 3. 16 Section Assignment Bracing.....	32
Gambar 3. 17 Section Assignment Kolom Kiri.....	32
Gambar 3. 18 Section Assignment Kolom Kanan.....	32
Gambar 3. 19 Input Boundary Condition .....	33
Gambar 3. 20 Create Instance.....	33
Gambar 3. 21 Boundary Condition Tumpuan Encastre .....	34
Gambar 3. 22 Local Seeds Meshing 4 (Besar).....	34
Gambar 3. 23 Local Seeds Meshing 25 (Kecil).....	35
Gambar 3. 24 Input Beban.....	35
Gambar 3. 25 Assign Beam Orientation.....	36
Gambar 3. 26 Field Output Request .....	36
Gambar 3. 27 History Output Request .....	37
Gambar 3. 28 Create Job Analysis .....	38
Gambar 4. 1 Visualisasi Portal dengan Eksentrisitas Bracing 0 cm (Kosentris).....	39
Gambar 4. 2 Visualisasi Portal dengan Eksentrisitas Bracing 60 cm.....	39
Gambar 4. 3 Visualisasi Portal dengan Eksentrisitas Bracing 120 cm.....	40
Gambar 4. 4 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Tipikal .....	40
Gambar 4. 5 Struktur Portal dengan Meshing 4 (Besar) .....	41
Gambar 4. 6 Struktur Portal dengan Meshing 25 (Kecil).....	42
Gambar 4. 7 Node pada Pemodelan Struktur Portal.....	42
Gambar 4. 8 Beban pada Node Kiri Atas .....	43
Gambar 4. 9 Deformasi Akibat Beban Pemodelan Eksentris 0 cm.....	43
Gambar 4. 10 Deformasi Akibat Beban Pemodelan Eksentris 60 cm.....	44
Gambar 4. 11 Deformasi Akibat Beban Pemodelan Eksentris 120 cm.....	44
Gambar 4. 12 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 0 CM Meshing 4 (Besar).....	46
Gambar 4. 13 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 0 CM Meshing 4 (Besar) .....	46
Gambar 4. 14 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 60 CM Meshing 4 (Besar) .....	48



Gambar 4. 15 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 4 (Besar).....	48
Gambar 4. 16 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 4 (Besar).....	51
Gambar 4. 17 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 4 (Besar).....	51
Gambar 4. 18 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 25 (Kecil).....	53
Gambar 4. 19 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 25 (Kecil).....	54
Gambar 4. 20 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 25 (Kecil).....	56
Gambar 4. 21 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 25 (Kecil).....	56
Gambar 4. 22 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 25 (Kecil).....	58
Gambar 4. 23 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing Meshing 25 (Kecil).....	59





DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Analisis Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm .....71  
Lampiran 2. Data Hasil Analisis Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm .....76  
Lampiran 3. Data Hasil Analisis Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm .....80



## RINGKASAN

**Febbi Ayu Nuriani Virgianti**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2021, *Analisis Pemodelan Beban dan Perpindahan pada Portal dengan Bracing Tipe Diagonal Eksentris Satu Arah*, Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya., ST., M.Sc. dan Dr. Eng. Lilya Susanti., ST., MT.

Indonesia terletak di kawasan lempeng tektonik teraktif di dunia. Hal tersebut membuat Indonesia dinobatkan menjadi negara yang mengalami gempa dengan jumlah terbanyak di dunia (USGS, 2015). Kondisi geografis rawan gempa yang didukung oleh jumlah populasi warga negara terbesar ke-4 di dunia, Indonesia memerlukan sarana dan prasarana seperti konstruksi yang tahan terhadap gempa untuk menanggulangi kerugian dalam bentuk korban jiwa maupun materi. Diperlukan struktur bangunan yang tahan terhadap gempa dalam halnya bersifat daktail, salah satunya penggunaan *bracing* pada struktur. Analisis penggunaan *bracing* dengan eksentrisitas pada struktur portal dilakukan dalam penelitian ini agar dapat mengetahui perbandingan pengaruh variasi eksentrisitas *bracing*. Implementasi *bracing* eksentrisitas dapat digunakan sebagai ruang untuk pemasangan jendela dan/atau pintu, juga sebagai solusi untuk meningkatkan fungsi arsitektural pada struktur bangunan.

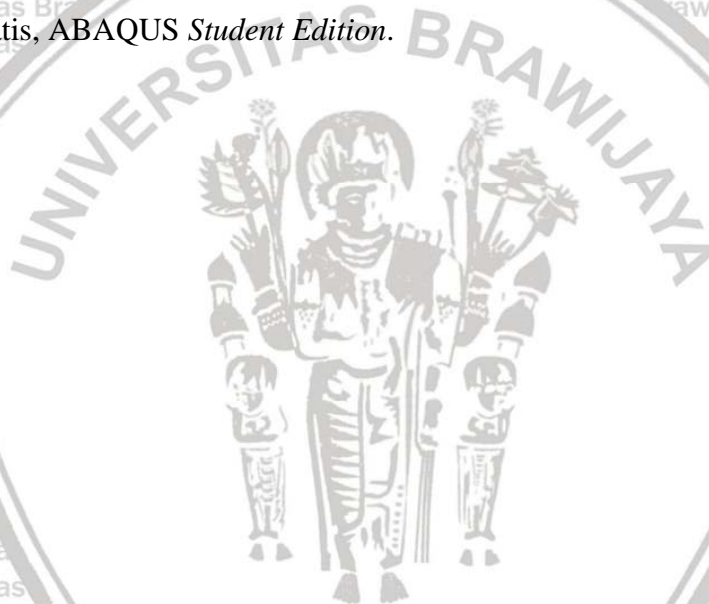
Analisis ini menggunakan struktur portal berukuran 4x4 m dengan *bracing* tipe diagonal satu arah untuk dijadikan pemodelan menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition*. Pemodelan yang dilakukan menggunakan tiga variasi jarak eksentrisitas *bracing* yaitu 0 cm (kosentris), 60 cm (*short link*), dan 120 cm (*long link*). Selain itu, terdapat dua variasi ukuran *mesh* yang digunakan yaitu 4 (besar) dan 25 (kecil) pada *software*. Terdapat empat *node* yang digunakan dalam pemodelan yaitu *node* kiri atas, *node* kanan atas, *node* kiri bawah, dan *node* kanan bawah. Mutu baja yang digunakan dalam pemodelan adalah BJ-37 dengan tumpuan jepit-jepit (*encastre*) di *node* kiri bawah dan *node* kanan bawah dan beban statis yang diaplikasikan pada *node* kiri atas sebesar 65 ton untuk seluruh jenis variasi pemodelan. *Output* yang dihasilkan adalah nilai beban (*force*) dan perpindahan (*displacement*) pada *node* yang telah ditentukan.

Analisis dari ketiga pemodelan menghasilkan nilai beban terkecil adalah struktur portal dengan *bracing* eksentrisitas 120 cm, sedangkan struktur portal dengan *bracing* eksentrisitas 0 cm (kosentris) menghasilkan nilai beban terbesar. Elemen kritis yang terdapat pada masing-masing variasi eksentrisitas adalah seluruh bagian balok atas pada eksentrisitas



0 cm (kosentris), bagian tengah balok atas pada eksentrisitas 60 cm, serta bagian tengah balok atas dan *bracing* atas pada eksentrisitas 120 cm. Struktur portal dengan eksentrisitas *bracing* 120 cm menghasilkan nilai perpindahan terbesar, sedangkan struktur portal dengan eksentrisitas *bracing* 60 cm menghasilkan nilai perpindahan terkecil. Variasi ukuran *meshing* yang digunakan menghasilkan nilai yang tidak terlalu signifikan pada nilai perpindahan dan beban yang terjadi pada ketiga variasi eksentrisitas *bracing*, tetapi semakin rapat *mesh* yang digunakan akan meningkatkan tingkat presisi dari *output* yang dipilih. Perbedaan dari hasil menggunakan variasi ukuran *mesh* hanya terlihat pada struktur portal dengan eksentrisitas *bracing* 120 cm yang menunjukkan bahwa nilai beban (*force*) yang dihasilkan oleh *meshing* 25 (kecil) lebih kecil dari *meshing* 4 (besar), sedangkan nilai perpindahan yang dihasilkan oleh *meshing* 25 (kecil) lebih kecil dari *meshing* 4 (besar).

Kata Kunci : *bracing* tipe diagonal satu arah, portal eksentris, beban dan perpindahan, beban statis, ABAQUS Student Edition.





## SUMMARY

**Febbi Ayu Nuriani Virgianti**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2021, *Analysis of Load and Displacement Behaviour on Single Diagonal Type of Eccentrically Braced Frames*, Academic Supervisor : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya., ST., M.Sc. and Dr. Eng. Lilya Susanti., ST., MT.

*Indonesia is located in the most active tectonic plate area in the world. This makes Indonesia crowned as the country that experienced the largest number of earthquakes in the world (USGS, 2015). Earthquake-prone geographical conditions supported by the 4th largest population of citizens in the world, Indonesia requires facilities and infrastructure which earthquake-resistant to cope with losses in the form of casualties and material. A building structure that is resistant to earthquakes is needed in terms of being ductile, one of which is the use of bracing on the structure. Analysis of the use of bracing with eccentricity on the frames was carried out in this study in order to compare the effect of variations in bracing eccentricity. The implementation of eccentricity bracing can be used as a space for installing windows and/or doors, as well as a solution to improve the architectural function of the building.*

*This analysis uses a 4x4 m single diagonal type of braced frames using ABAQUS Student Edition. The modeling was carried out using three variations of the bracing eccentricity distance, namely 0 cm (concentric), 60 cm (short link), and 120 cm (long link). In addition, there are two variations of the mesh size used, namely 4 (large) and 25 (small). There are four nodes used in the modeling, namely the top left node, the top right node, the bottom left node, and the bottom right node. The steel quality used in the modeling is BJ-37 with encastre at the lower left node and the lower right node and the static load applied to the upper left node is 65 tons for all types of modeling variations. The resulting output is the value of the force and displacement at the node that has been determined.*

*The analysis of the three models produces the smallest load value is the structure with 120 cm eccentricity bracing, while the structure with 0 cm eccentricity bracing produces the largest load value. The critical elements contained in each eccentricity variation are the entire upper beam at 0 cm eccentricity, the center of the upper beam at 60 cm eccentricity, and the center of the upper beam and upper bracing at 120 cm eccentricity. A frame structure with a bracing eccentricity of 120 cm produces the largest displacement value, while a structure with a bracing eccentricity of 60 cm produces the smallest displacement value.*



*Variations in the size of the meshing used produce values that are not too significant for the displacement and load values that occur in the three variations of the bracing eccentricity, but the tighter the mesh used will increase the level of precision of the selected output. The difference from the results using the mesh size variation is only seen in the frame structure with a bracing eccentricity of 120 cm which shows that the load value generated by meshing 25 is smaller than meshing 4, while the displacement value generated by meshing 25 is greater than meshing 4.*

**Keywords :** single diagonal type of bracing, eccentrically braced frames, load and displacement, static load, ABAQUS Student Edition.



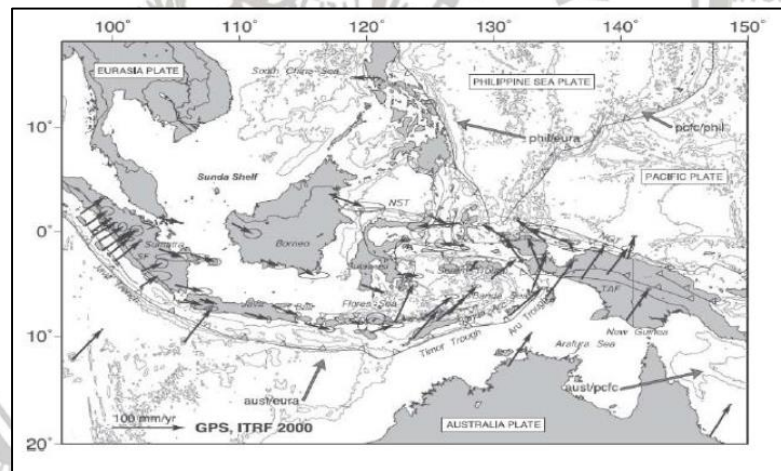




## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang wilayahnya termasuk ke dalam lempeng tektonik teraktif di dunia dengan luas lempeng tektonik sebesar dua kali negara Jepang. Indonesia berada di tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Asia Tenggara, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia yang saling bersinggungan dalam sebuah simpang tiga (*triple junction*) yang terletak di Kawasan Kepala Burung, Papua. Selain itu, Indonesia adalah negara yang tercatat mengalami gempa dengan jumlah terbanyak di dunia (USGS, 2015). Kondisi geografis sebagai berikut dengan jumlah populasi warga negara terbesar ke-4 di dunia, Indonesia memerlukan sarana dan prasarana yang kuat dan tahan terhadap gempa agar tidak menimbulkan kerugian materi dan mencegah banyaknya korban jiwa. Diperlukan material konstruksi yang tepat untuk membangun sarana dan prasarana yang sesuai dengan kebutuhan tersebut.



Gambar 1. 1 Peta Lempeng Gempa Indonesia

Sumber: BMKG (2020).

Sifat material struktur yang tahan terhadap gaya lateral yang terjadi saat gempa bumi tanpa mengalami keruntuhan disebut sebagai daktilitas. Daktilitas juga didefinisikan sebagai kapasitas sebuah struktur untuk menahan deformasi tidak elastis yang besar tanpa mengalami keruntuhan dan kekurangan besar lainnya dalam kekuatan serta kekakuannya (Armouti N., 2008). Material yang memiliki karakteristik daktilitas untuk menahan gempa adalah baja. Ketangguhan, daktilitas, dan kekuatannya yang inheren membuat baja menjadi material yang sesuai untuk desain struktur tahan gempa. Selain dari penggunaan baja sebagai



materi, diperlukan cara tambahan untuk meningkatkan kekakuan lateral sebagai dampak dari beban gempa pada struktur. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah penggunaan *bracing*. Penggunaan *bracing* pada struktur portal akan meningkatkan kekakuan lateral dan menahan simpangan lateral.

*Software ABAQUS Student Version* digunakan dalam analisa portal *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah ini. Penggunaan *software ABAQUS Student Version* dilakukan dengan tahapan pemberian beban lateral pada pemodelan portal *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah hingga mengalami kehancuran, lalu menganalisa beban dan perpindahan yang terjadi pada pemodelan struktur.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari analisis ini adalah mengidentifikasi perbandingan perilaku beban dan perpindahan yang terjadi pada portal dengan variasi eksentrisitas *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah (*single diagonal EBF*) beserta portal dengan *bracing* tipe diagonal kosentris satu arah (*single diagonal CBF*).

## 1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang timbul dan dapat dirumuskan untuk analisis ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku struktur portal dengan *bracing* tipe diagonal akibat beban lateral statis yang dipengaruhi eksentrisitas satu arah?
2. Bagaimana perilaku perpindahan pada struktur portal dengan *bracing* tipe diagonal akibat beban lateral statis yang dipengaruhi eksentrisitas satu arah?

## 1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pola perilaku struktur portal dengan *bracing* tipe diagonal akibat beban lateral statis yang dipengaruhi eksentrisitas satu arah.
2. Mengetahui pola perpindahan pada struktur portal dengan *bracing* tipe diagonal akibat beban lateral statis yang dipengaruhi eksentrisitas satu arah.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan permasalahan dalam analisis ini adalah sebagai berikut :

1. Struktur portal baja yang digunakan dalam analisis ini adalah struktur portal



dengan *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah.

2. Dimensi portal yang digunakan adalah 4m x 4m.
3. Jenis tumpuan yang digunakan pada node kiri bawah dan node kanan bawah adalah jepit-jepit atau *encastre*.
4. Pemodelan dan analisis struktur portal menggunakan *software* ABAQUS *Student Version*.
5. Mutu baja yang digunakan dalam analisis pemodelan ini adalah BJ-37.
6. Variasi eksentrisitas *bracing* yang digunakan pada analisis pemodelan ini adalah 0 cm (kosentris), 60 cm (*link* pendek), dan 120 cm (*link* panjang).
7. Dimensi profil yang digunakan dalam pemodelan diperoleh dari Tabel Profil Konstruksi Baja Ir. Morisco, dengan variasi dimensi profil pada tiap bagian, antara lain sebagai berikut :
  - Kolom : WF 300.200.8.12
  - Balok : WF 200.150.6.9
  - Bracing : WF 100.100.6.8
8. Pembebanan yang digunakan pada analisis pemodelan ini adalah pembebanan lateral akibat gempa dengan metode analisis statik ekuivalen.
9. *Link beam* yang terdapat di portal dengan eksentrisitas menjadi satu kesatuan dengan balok.

### 1.6 Manfaat Kegiatan

Manfaat yang diharapkan oleh penulis dari analisis ini adalah mampu membandingkan hasil analisis perilaku beban dan perpindahan yang terjadi pada portal yang menggunakan *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah dengan portal yang menggunakan *bracing* tipe diagonal kosentris satu arah. Selain itu, diharapkan hasil dari analisis ini dapat bermanfaat dan digunakan dalam penelitian lebih lanjut oleh pembaca dan *engineer* di masa yang akan datang.



*(Halaman sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baja

Baja adalah material yang bersifat kuat dan tahan lama. Baja terbuat dari paduan besi dan karbon dengan persentase sebesar 0.2%-1.5%. Selain itu, baja dapat terbuat dari paduan besi dan elemen logam lainnya untuk mencapai kualitas baja yang diinginkan dan disebut sebagai baja paduan (*alloy steel*). Kendati demikian, kandungan karbon yang terlalu banyak akan menyebabkan baja cenderung bersifat keras dan rapuh, sedangkan jika kandungan karbonnya terlalu kecil akan menyebabkan baja terlalu lunak dan lemah. Jenis-jenis baja dapat ditentukan dengan besarnya kandungan karbon pada paduan materialnya, yaitu diklasifikasikan sebagai berikut :

#### 1. Baja Lunak (*Mild Steel*)

Baja lunak memiliki kandungan persentase karbon sebesar 0.1-0.25%. Kelebihan dari baja lunak adalah sifat daktilitas yang tinggi. Baja lunak tidak dapat dikeraskan dengan cara konvensional karena kadar karbonnya yg rendah. Maka dari itu, kekurangan dari baja lunak adalah kekerasan yang rendah dan tidak tahan aus. Tegangan leleh dari baja lunak sebesar 275 Mpa (40.000 psi), dengan kuat tarik sebesar 415-550 MPa (60.000 – 80.000 psi), dan daktilitas sebesar 25%EL. Baja lunak biasanya dipakai untuk pekerjaan struktur seperti baja tulangan dan baja profil.

#### 2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon sebesar 0.25-0.7%. Baja karbon menengah memiliki kemampukerasan yang rendah dan hanya bisa dipanaskan dalam bentuk *section* yang sangat tipis dengan tingkat *quenching* (pendinginan) material yang sangat cepat. Baja karbon menengah biasanya dimanfaatkan untuk komponen struktural yang membutuhkan kombinasi baja dengan kekuatan yang tinggi, tahan aus, dan keras secara bersamaan seperti rel kereta api.

#### 3. Baja Keras (*High Carbon Steel*)

Baja keras memiliki kandungan persentase karbon sebesar 0.7-1.5%. Baja keras merupakan jenis baja yang bersifat paling keras, kuat, sulit dipotong, dan tidak daktil. Baja jenis ini biasanya digunakan sebagai benda tajam seperti alat pemotong, palu, pisau, dll.

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan seperti pada regulasi SNI Baja 03-1729-2000, dan dapat dibagi menurut jenis baja yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 2.1

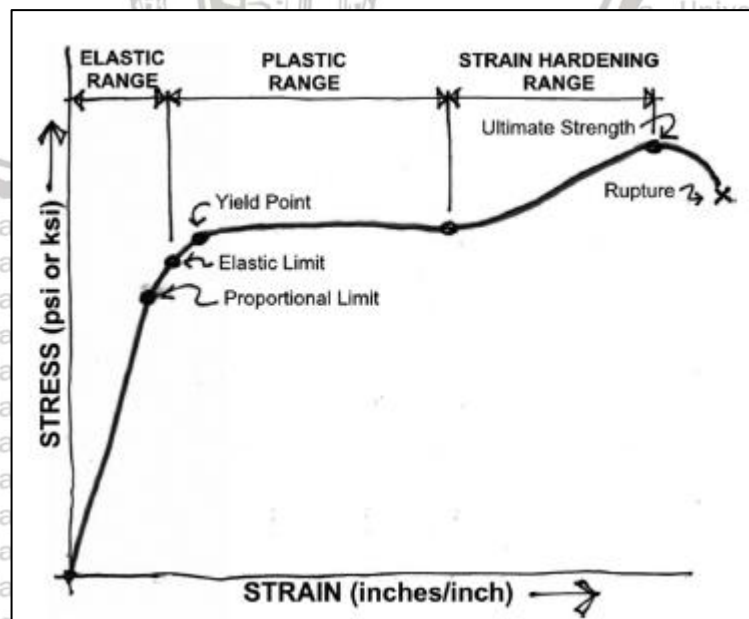
Sifat Mekanik Baja Struktural

Jenis Baja	Kuat tarik minimum, $f_u$ (MPa)	Kuat 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

Selain itu, terdapat beberapa poin penting dari sifat mekanis baja struktural untuk diketahui sebagai data perencanaan, yaitu sebagai berikut :

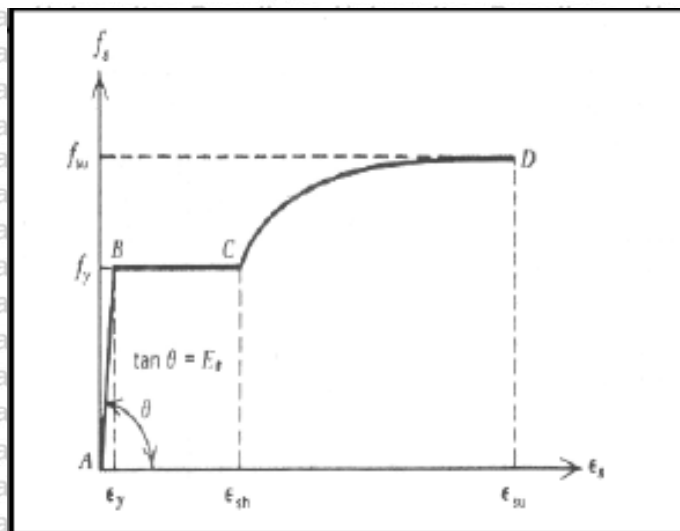
1. Modulus Elastisitas (E) : 200.000 Mpa
2. Modulus Geser (G) : 80.000 Mpa
3. Rasio Poisson ( $\mu$ ) : 0,3
4. Koefisien Pemuaian ( $\alpha$ ) :  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Baja yang diberi gaya aksial dalam kondisi temperatur ruang dapat menghasilkan suatu hubungan tegangan-regangan baja dalam sebuah diagram hubungan tegangan-regangan baja. Penjelasan mengenai kurva hubungan tegangan-regangan baja dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Hubungan Tegangan-Regangan Baja





Gambar 2. 2 Idealisasi Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja

1. Garis A-B : Daerah linier elastis dengan kemiringan garis yang menyatakan besarnya modulus elastisitas ( $E$ ).
2. Titik B : Kondisi tegangan leleh ( $f_y$ ).
3. Garis B-C : Daerah plastis yaitu baja mengalami deformasi permanen dengan regangan yang terus bertambah dan tegangan mengalami stagnan.
4. Titik C : Titik akhir sebelum tegangan mengalami kenaikan dan masuk ke proses *strain hardening*. Dapat diperkirakan nilai tegangan pada titik ini sebesar 10 kali nilai regangan leleh.
5. Garis C-D : Kondisi *strain-hardening*, yaitu hubungan tegangan-regangan bersifat non linier dan kenaikan nilai regangan akan diikuti dengan sedikit kenaikan dari nilai tegangannya.
6. Titik D : Kondisi tegangan tarik ultimate (*tensile strength*)
7. Selanjutnya kurva akan turun hingga material mengalami putus (*fracture*).

## 2.2 Sistem Struktur Portal Baja Tahan Gempa

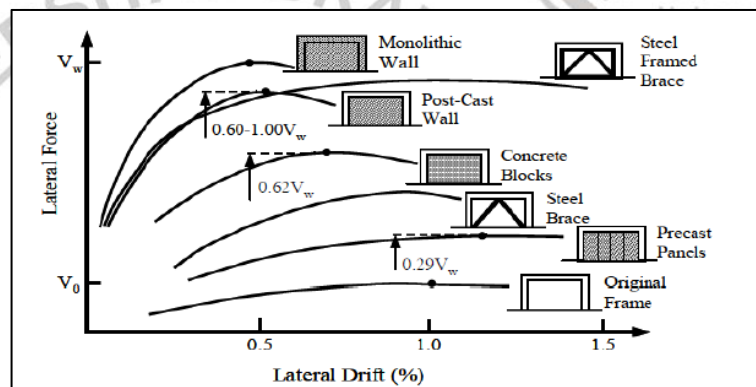
Sistem struktur portal baja tahan gempa atau *lateral-force resisting system (LFRS)* berfungsi untuk menahan beban gempa dalam bangunan. LFRS memberi dampak fleksibilitas pada bangunan dalam arah lateral, dan menyebabkan terjadinya deformasi secara signifikan bahkan saat getaran yang terjadi akibat gempa sangat kecil. Selain itu, sistem ini memiliki kekuatan lateral yang relatif rendah, oleh karena itu daktilitasnya tinggi.

Terdapat tiga jenis *lateral force-resisting system* yaitu *moment resisting frame*, *shear wall*, dan *bracing*. Penjelasan dari jenis tersebut adalah sebagai berikut :

### 2.2.1 *Braced Frame (BF)*

*Bracing* adalah elemen struktur yang digunakan untuk menahan gaya lateral dengan memberi kekakuan lateral dan stabilitas terhadap struktur. Manfaat lainnya dari penggunaan *bracing* adalah untuk meminimalisir simpangan horizontal (*drift*), dan perpindahan (*displacement*) serta meningkatkan kapasitas gaya geser dasar (*base shear*) yang dapat berfungsi untuk menghindari kemungkinan terjadinya retak pada sambungan antara balok dan kolom.

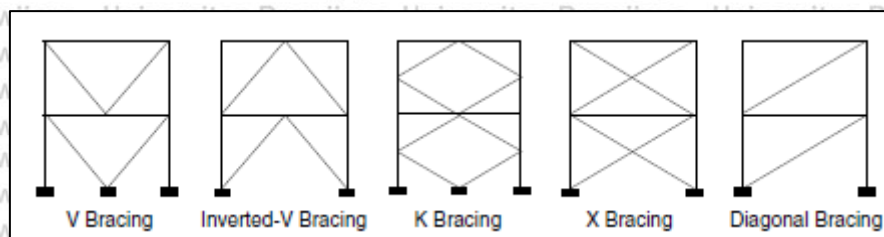
*Bracing* biasanya diaplikasikan pada bangunan tinggi atau *high rise building* yang secara partikular lebih rentan terhadap gaya lateral. Gaya lateral yang diterima oleh struktur saat terjadi gempa bumi akan diteruskan ke elemen *bracing* sebagai gaya aksial. Terdapat tiga jenis *Braced Frames* yaitu *Centrically Braced Frame* (CBF), dan *Eccentrically Braced Frame* (EBF). Pemilihan jenis *bracing* yang digunakan tergantung dari besarnya panjang *bracing*, kekakuan *bracing*, besarnya gaya aksial yang bekerja pada struktur, dan unsur estetika bangunan yang diinginkan (Hutahaean, 2016).



Gambar 2. 3 Grafik Keefektifan Lateral Force Resisting System  
A. *Centrically Braced Frame* (CBF)

*Centrically Braced Frame* (CBF) adalah salah satu jenis *braced frame* dengan *bracing* yang mbingkai pada sambungan balok/kolom atau terhubung secara konsentris dengan *bracing* lainnya. Kolom, balok, dan *bracing* pada CBF mengalami beban aksial dalam rentang elastis. *Bracing* diagonal dalam CBF dirancang untuk berubah bentuk secara inelastis selama terjadinya gempa bumi sedang maupun besar / parah. Terdapat beberapa variasi bentuk dalam sistem CBF, yaitu seperti berikut :

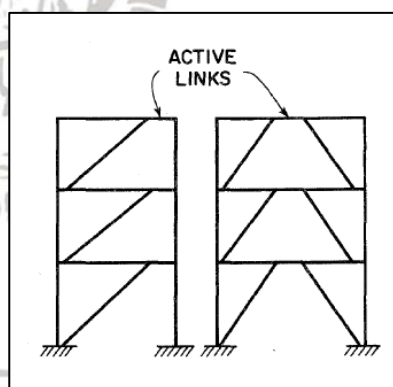




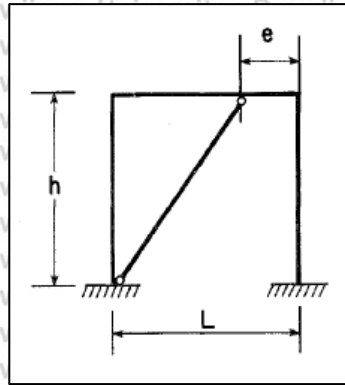
Gambar 2. 4 Variasi Jenis Eccentrically Braced Frame (AISC (2002). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL)

### B. Eccentrically Braced Frame (EBF)

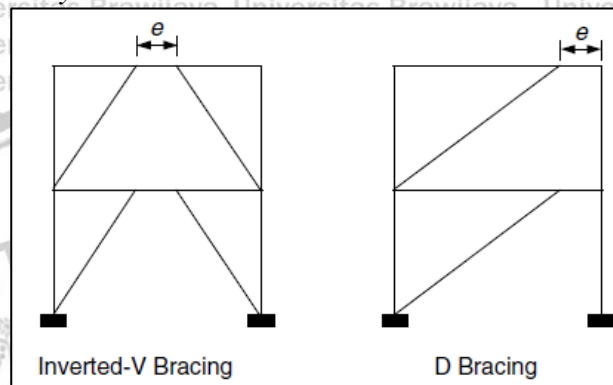
Dua ketentuan dasar dari desain bangunan tahan gempa adalah kekakuan yang tinggi dan daktilitas yang tinggi, tetapi kedua hal tersebut sulit dicapai dengan menggunakan struktur rangka konvensional. *Eccentrically Braced Frame* (EBF) dapat digunakan sebagai solusi permasalahan tersebut karena dapat memenuhi dua ketentuan diatas dan cenderung ekonomis. EBF adalah sistem struktur rangka yang mendistribusikan gaya aksial dari *bracing members* ke *bracing* lainnya atau ke kolom sebagai gaya geser dan lentur di *active link beam*. Energi yang sangat besar dapat didisipasikan melalui deformasi nonelastis di bagian *link beam*. Mekanisme energi disipasi inilah yang mempengaruhi daktilitas EBF. Sistem *Eccentrically Braced Frame* merupakan sistem *bracing* yang paling efektif dalam menahan gempa (Engelhart dan Popov, 1989). Terdapat beberapa variasi bentuk dalam sistem EBF, yaitu seperti tipe *inverted-v bracing* dan tipe *bracing diagonal*.



Gambar 2. 5 Eccentrically Braced Frames

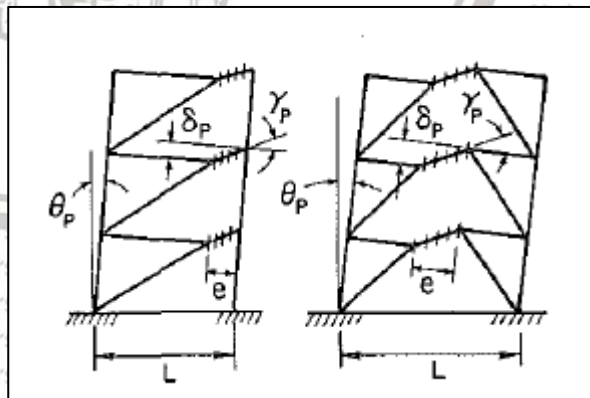


Gambar 2. 6 Elemen Eccentrically Braced Frame

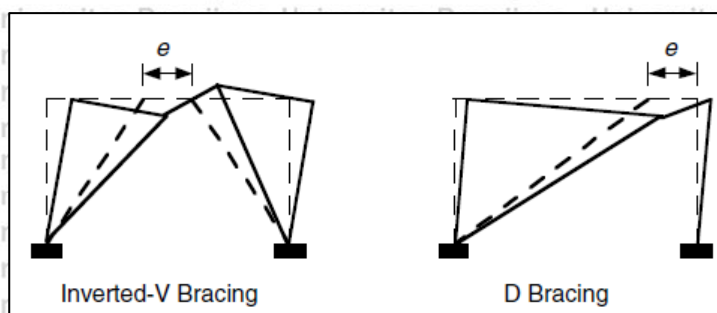


Gambar 2. 7 Variasi Bentuk Eccentrically Braced Frame

EBF adalah sistem yang menahan beban lateral dan menggabungkan kelebihan dari bracing jenis *centrically braced frame* serta *moment resisting frame*. Dibandingkan dengan sistem *frame* konvensional lainnya, EBF memenuhi dua kriteria dasar dari desain kinerja seismik, yaitu kekakuan yang tinggi pada tingkat beban kerja dan daktilitas yang besar jika diberi beban dengan jumlah yang besar.







Gambar 2. 8 Mekanisme Keruntuhan *Eccentrically Braced Frame*

EBF dapat diaplikasikan dalam struktur bangunan sebagai solusi jika diperlukan untuk memasang pintu atau jendela dalam suatu bangunan. Dalam segi estetika dan arsitektural bangunan, sistem EBF lebih unggul daripada sistem CBF.

### C. *Link Beam*

*Link beam* adalah elemen balok penghubung yang biasanya digunakan dalam struktur *eccentrically braced frame* (EBF). Kinerja seismik dari sistem EBF dipengaruhi oleh *link beam*. *Bracing* jenis EBF dapat memberikan manfaat berupa kekakuan, kekuatan, dan daktilitas struktur dengan bantuan dari *link beam* horizontal. Dalam EBF, *link beam* didesain agar energi disipasi dikonsentrasikan pada elemen tersebut, sedangkan member EBF lainnya (balok diluar *link beam*, kolom, dan bracing) didesain agar tetap elastis selama gempa bumi berlangsung. Perilaku non elastis dari *link beam* ditentukan oleh geser, lentur, dan kombinasi geser-lentur, tergantung dari sifat mekanis dan geometris materialnya.



Gambar 2. 9 Detail *Link Beam*

*Link beam* dapat diklasifikasikan berdasarkan panjangnya, yaitu sebagai berikut :

#### 1. *Short Link*

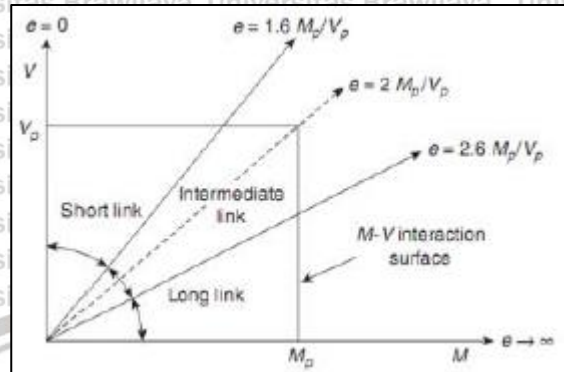
*Short link* memiliki panjang kurang dari  $1.6M_p/V_p$ . *Short link* didominasi oleh *shear web yielding*, maka dari itu biasa disebut sebagai *shear link*.

#### 2. *Intermediate Link*

*Intermediate link* memiliki panjang sebesar  $1.6M_p/V_p < e < 2.6M_p/V_p$ . *Link beam* jenis ini mengalami lentur dan *shear web yielding* secara bersamaan.

### 3. Long Link

*Long Link* memiliki panjang lebih dari  $2.6M_p/V_p$ . *Link beam* jenis ini didominasi oleh *flexural yielding* material.



Gambar 2. 10 Grafik Klasifikasi Link Beam

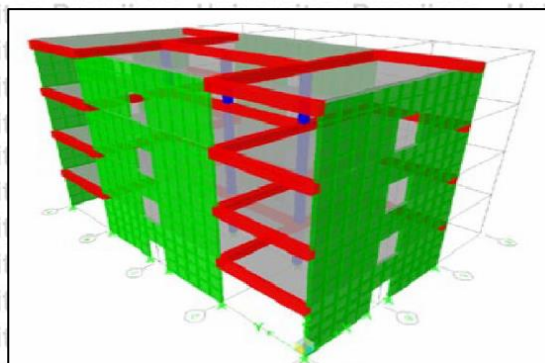
#### 2.2.2 Shear Wall

*Shear wall* atau dinding geser adalah salah satu jenis *lateral force resisting system* yang bersifat sangat kaku dan berbentuk seperti pelat vertikal. *Shear wall* baik digunakan jika terjadi perpindahan besar pada struktur, karena kemampuannya untuk mengurangi perpindahan struktur dengan sifat kekakuan dan kekuatannya yang besar. Semakin besar momen inersia *shear wall* sepanjang bidang penampang tegak lurus arah beban lateral, maka semakin besar kecenderungannya terhadap menahan gaya gempa dan berlaku sebaliknya. Terdapat ketentuan bagi penggunaan *shear wall*, antara lain sebagai berikut :

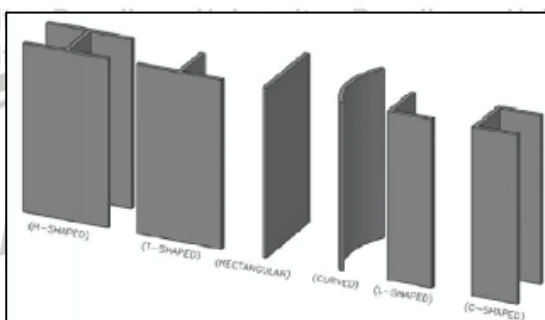
- Harus ditempatkan pada setiap tingkat struktur;
- Panjang setiap *shear wall* harus setara dan simetris;
- Hanya boleh runtuh oleh adanya momen plastis;
- Rasio antara tinggi dan lebar dinding tidak boleh kurang dari 2m, dan lebarnya tidak boleh kurang dari 1,5m.

Kekurangan dari *shear wall* adalah kurang efisien karena membutuhkan material lebih banyak daripada *bracing* dan *moment resisting frame*. *Shear wall* biasanya digunakan pada interior bangunan yang tidak dipasang jendela, seperti dinding *elevator*, dan dinding tangga. *Shear wall* memiliki variasi bentuk, dan variasi tersebut menghasilkan jumlah gaya geser lantai yang sama pada setiap lantainya, maka variasi bentuk *shear wall* tidak mempengaruhi dalam mereduksi gaya geser lantai.





Gambar 2. 11 Shear Walls

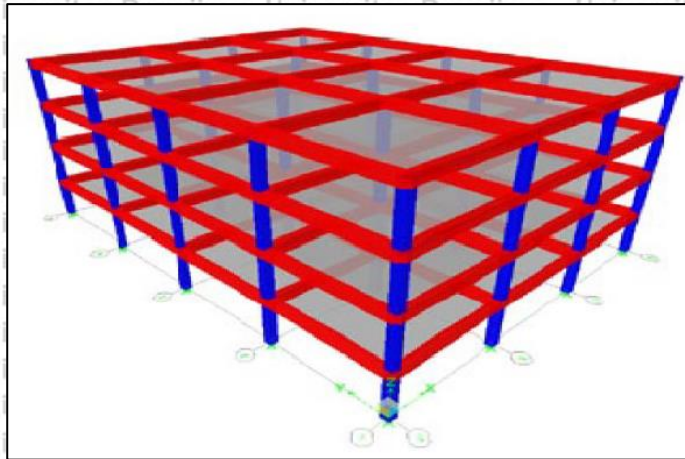


Gambar 2. 12 Macam-macam Bentuk Shear Walls

### 2.2.3 Moment Resisting Frame (MRF)

*Moment Resisting Frame* (MRF) terdiri dari *grid* vertikal (kolom) dan *grid* horizontal (balok). MRF menahan beban lateral melalui gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser yang terjadi di balok dan kolom. Balok dan kolom dalam MRF harus didesain sebagai *under-reinforced sections* dan harus bersifat duktail untuk mencegah kegagalan geser melalui prosedur desain kapasitas struktur. Dalam menentukan konfigurasi struktur bangunan, diperlukan perilaku struktural yang dominan dari balok dan kolom. Hal tersebut dapat dicapai dengan menggunakan kolom dan balok panjang (*long frame member*), karena kolom dan balok pendek cenderung lemah dan mengalami kegagalan rapuh.

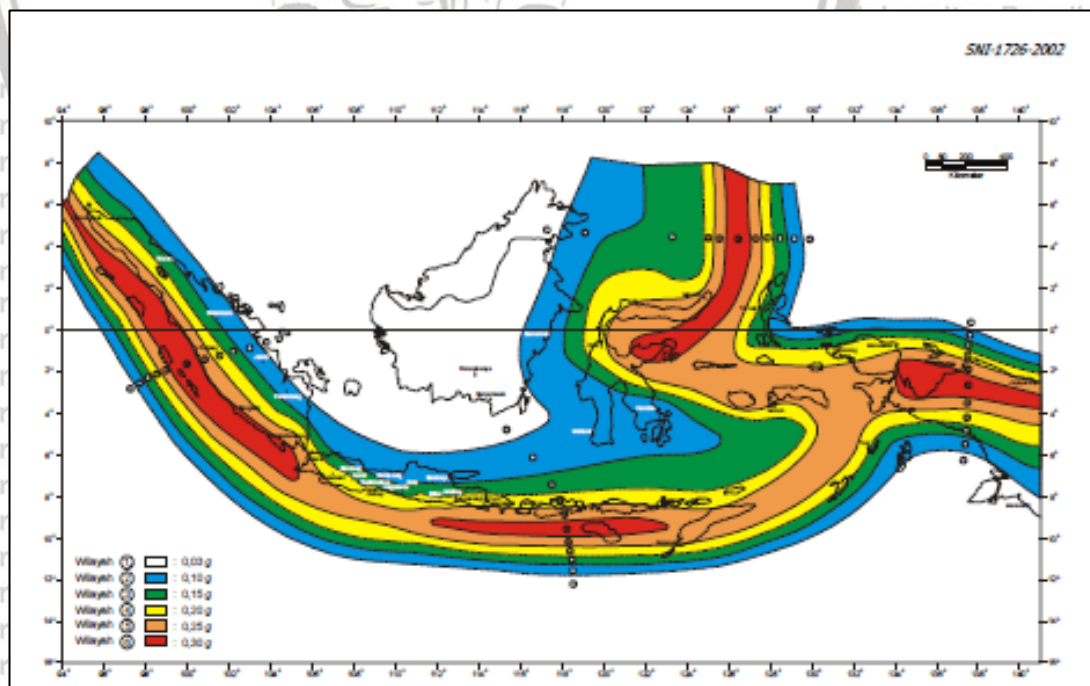
*Moment resisting frame* biasanya digunakan pada bagian eksterior bangunan pencakar langit (*high-rise building*) atau *open spaces*, karena pada MRF dapat dipasang jendela. Kekurangan dari MRF adalah kurang kaku jika dibandingkan dengan *braced frame* dan *shear wall*. Struktur yang kurang kaku dapat menimbulkan gaya gerak dan defleksi yang besar.



Gambar 2. 13 Moment Resisting Frame

### 2.3 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi menjalar pada permukaan bumi yang disebabkan oleh lepasnya energi dari dalam bumi secara tiba-tiba dan menimbulkan gelombang seismik. Gelombang seismik adalah energi yang dilepaskan oleh suatu pusat gempa dan berbentuk gelombang. Mayoritas gempa bumi yang terjadi disebabkan oleh lepasnya energi yang dihasilkan oleh tekanan yang diakibatkan oleh Bergeraknya lempeng tektonik. Semakin lama dan besarnya tekanan yang terjadi, hingga tercapainya suatu titik keadaan tekanan tersebut tidak dapat ditahan oleh pinggiran lempeng bumi, maka terjadilah gempa bumi yang energinya menjalar ke berbagai arah di permukaan bumi.



Gambar 2. 14 Peta Gempa Indonesia

Sumber: SNI 1726-2002

Menurut peraturan SNI 1726-2002, wilayah gempa di Indonesia terbagi menjadi enam



wilayah gempa yang dibagi berdasarkan kekuatan magnitudo dan intensitas gempa. Magnitudo adalah besarnya energi yang dilepaskan oleh pusat gempa ke permukaan bumi dan diukur dengan satuan skala *Richter*. Semakin kuat gempa yang terjadi dan semakin dangkalnya fokus pusat gempa, maka semakin besar dan berbahaya gempa tersebut bagi kehidupan makhluk di bumi. Selain magnitudo, intensitas gempa adalah parameter gempa bumi yang penting diketahui karena bersifat relatif, yakni berdasarkan apa yang dirasakan oleh manusia sebagai makhluk hidup di bumi dan banyaknya kerusakan yang terjadi.

Intensitas diukur menggunakan skala *Modified Mercally Intensity* (MMI) dengan skala I-XII (menggunakan angka romawi). Terdapat tabel hubungan magnitudo dan intensitas gempa berupa dampak/pengaruh yang dirasakan oleh manusia jika terjadi gempa, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.2

Hubungan Magnitudo dan Intensitas Gempa Bumi (Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Pusat)

Magnitudo (SR)	Intensitas maksimum (MMI)	Pengaruh
$M \leq 2.0$	I – II	Tidak terasa
3.0	III	Terasa didalam ruangan
4.0	IV – V	Terasa, akan tetapi tidak menyebabkan kerusakan struktural
5.0	VI – VII	Terjadi ada kerusakan struktural, seperti retak pada dinding
6.0	VII – VIII	Kerusakan menengah, seperti dinding yang runtuh
7.0	IX – X	Kerusakan besar, seperti bangunan yang runtuh
$M \geq 8$	XI – XII	Rusak total

## 2.4 Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statis ekuivalen adalah metode penyederhanaan dari efek substitusi beban dinamis yaitu beban yang terjadi akibat gempa. Gaya statis didistribusikan secara lateral dan bekerja pada pusat massa struktur. Semakin besar massa bangunan, maka akan semakin banyak gaya horizontal yang akan bekerja pada masing-masing massa struktur. Gaya horizontal yang bekerja pada dasar bangunan disebut sebagai gaya geser dasar (V), dan bersifat ekuivalen sebagai representasi dari beban dinamis. Metode analisis statis ekuivalen menggunakan koefisien gempa yang diaplikasikan kepada struktur agar menghasilkan beban lateral yang diperkirakan akan setara dengan efek beban dinamis gempa yang



diperhitungkan.

Salah satu jenis analisis statis yang dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh gempa terhadap struktur adalah analisis *pushover*. Analisis *pushover* dilakukan dengan prosedur pemberian pola beban statis lateral secara bertahap (*incremental*) hingga struktur mengalami kegagalan, sehingga dapat ditentukan besarnya beban runtuh dan kapasitas daktilitas sebuah bangunan berupa kurva analisis.

## 2.5 Load Application Control

*Load Application Control* adalah proses dalam analisis statis *pushover* yang terbagi dalam dua macam prosedur yaitu *load control* dan *displacement control*.

### 2.5.1 Load Control

*Load control* dalam *load application control* analisis *pushover* dilaksanakan dengan cara mengatur besaran beban tertentu yang akan diterima oleh struktur. Besaran beban yang diatur dan diaplikasikan telah diperkirakan sesuai estimasi jumlah beban yang dapat ditahan oleh struktur.

### 2.5.2 Displacement Control

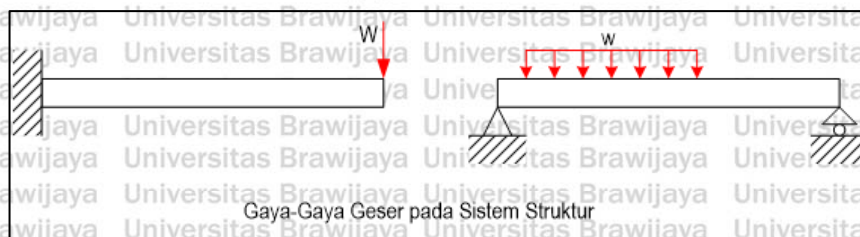
Penggunaan beban non-linear yang menggunakan parameter kontrol *load application* saat besaran gaya atau beban yang diterima oleh struktur tidak diketahui harus menerapkan *displacement control*. Secara general, penggunaan *displacement control* ditetapkan sebesar 2% dari tinggi total bangunan. *Displacement control* harus dimonitor sesuai dengan arah analisis yang dipilih (contoh : U1 atau U2 dari derajat kebebasan atau *degree of freedom*). Hasil yang didapatkan dari penggunaan *displacement control* ini adalah simpangan target dari struktur.

## 2.6 Perpindahan

Perpindahan adalah hal mendasar dari kerusakan struktur bangunan. Struktur tahan gempa harus daktil agar dapat menahan perpindahan yang terjadi pada struktur. Terdapat dua macam perpindahan berdasarkan arah beban yang bekerja pada struktur, yaitu perpindahan aksial dan perpindahan geser.

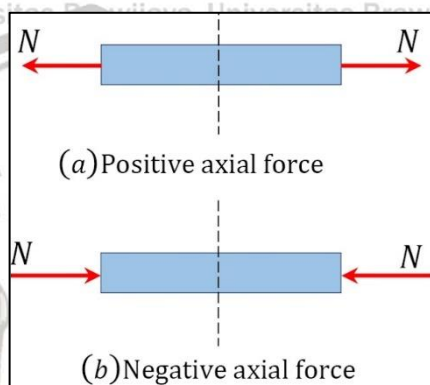
Perpindahan yang disebabkan oleh adanya gaya geser yang bekerja pada pusat suatu elemen struktur disebut sebagai perpindahan geser. Gaya atau beban geser yang bekerja pada struktur dapat berupa beban merata dan/atau beban terpusat.





Gambar 2. 15 Gaya Geser Pada Sistem Struktur

Perpindahan yang disebabkan oleh gaya aksial yang bekerja pada pusat suatu elemen struktur adalah perpindahan aksial. Gaya aksial yang bekerja pada struktur dapat berupa gaya tarik atau gaya tekan. Gaya tekan menyebabkan berkurangnya panjang suatu elemen struktur, dan gaya tarik menyebabkan bertambahnya panjang suatu elemen struktur.



Gambar 2. 16 Gaya Aksial Pada Sistem Struktur

## 2.7 Kriteria Leleh

Kriteria leleh terjadi jika beban atau gaya yang bekerja pada material terus diberikan hingga terjadi penambahan atau pengurangan panjang material secara permanen dan spontan, yaitu hingga keluar dari batas elastis material tersebut. Kriteria leleh atau batas leleh terjadi jika regangan meningkat meskipun tidak ada peningkatan nilai tegangan. Material yang mencapai batas leleh atau *yield point* akan mengalami deformasi permanen. Kriteria leleh digunakan dengan asumsi bahwa material yang diuji bersifat homogen di berbagai arah atau isotropis.

### 2.7.1 Kriteria Von Mises

Menurut Von Mises (1913), material akan terdeformasi plastis jika energi distorsi maksimum pada struktur akibat pembebanan mencapai nilai kritisnya. Dengan kata lain, material akan mengalami leleh jika energi regangan geser material telah mencapai suatu batas nilai kritis. Energi regangan geser atau energi distorsi adalah hasil dari energi regangan total per unit volume yang terjadi saat material mengalami deformasi.

Persamaan energi distorsi dinyatakan sebagai berikut :

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



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

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2-1)$$

Dimana :

$U_0 \text{ distorsi}$  = Energi distorsi

$G$  = Modulus geser

$E$  = Modulus elastisitas

$\nu$  = Rasio Poisson

$\sigma$  = Tegangan / *Engineering stress*

Pada uji tarik material, deformasi plastis terjadi jika :

$\sigma_1 = \sigma_y$ ;  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ; maka :

$$U_0 \text{ distorsi} = \frac{1}{12G} (2\sigma_y^2) \quad (2-2)$$

Kriteria luluh Von Mises dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$(\sigma_1\sigma_2)^2 + (\sigma_2\sigma_3)^2 + (\sigma_3\sigma_1)^2 = 2\sigma_y^2 \quad (2-3)$$

Pada pembentukan logam material, daerah plastis dinyatakan dengan tegangan alir ( $\sigma_0$ ) di sepanjang kurva alir. Maka kriteria luluh Von Mises dinyatakan dengan persamaan :

$$(\sigma_1\sigma_2)^2 + (\sigma_2\sigma_3)^2 + (\sigma_3\sigma_1)^2 = 2\sigma_0^2 \quad (2-4)$$

Maka, tegangan efektif kriteria Von Mises dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\sigma_0^2 = 0,5 [(\sigma_1\sigma_2)^2 + (\sigma_2\sigma_3)^2 + (\sigma_3\sigma_1)^2] \leq \sigma_y^2 \quad (2-5)$$

Keterangan :

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

$\sigma_0$  = Tegangan efektif (MPa)

$\sigma_y$  = Tegangan leleh (MPa)

## 2.8 Elastisitas

Elastisitas adalah sifat keadaan material yang jika diberi beban akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk, tetapi jika beban tersebut dihilangkan maka bentuk material akan kembali seperti semula. Terdapat dua kemungkinan yang terjadi pada material elastis, yaitu elastis sempurna dan elastis parsial. Elastis sempurna adalah keadaan dimana material dapat sepenuhnya kembali seperti kondisi awal, sedangkan elastis parsial adalah keadaan dimana material hanya dapat kembali ke keadaan awal secara tidak sepenuhnya atau sebagian.

Dalam kurva hubungan tegangan – regangan, hal yang dapat menentukan sifat elastisitas suatu material adalah modulus elastisitas ( $E$ ). Modulus elastisitas atau modulus Young adalah ukuran dari kekakuan material. Semakin besar nilai modulus elastisitas material, maka semakin curam garis *slope* dalam kurva tegangan – regangan, dan semakin kecil nilai regangan elastis dari nilai tegangan yang diberikan kepada material. Modulus elastisitas sangat penting untuk menghitung defleksi dari bagian struktural suatu bangunan.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2-6)$$



Keterangan :

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma$  = *Engineering stress* (MPa)

$\varepsilon$  = *Engineering strain*

## 2.9 Plastisitas

Material atau benda uji yang diberi gaya akan mengalami perubahan bentuk. Jika beban yang diberikan kepada material melebihi batas kekuatan leleh (*yield limit*), material tersebut akan mengalami deformasi (perubahan bentuk) secara permanen yaitu bersifat plastis. Demikian, plastisitas merupakan sifat suatu material yang setelah diberi beban dengan batas tertentu mengalami deformasi permanen.

Plastisitas dapat menjadi suatu titik ukur untuk menentukan besarnya gaya atau beban yang dapat menyebabkan suatu struktur mengalami keruntuhan atau beban runtuh (*ultimate load*) dan pola perilaku keruntuhan strukturnya. Oleh karena itu, analisis plastisitas hanya bisa diaplikasikan pada material struktur yang bersifat ulet (daktail), seperti baja.

### 2.9.1 *Engineering Stress* dan *True Stress*

Material yang menahan gaya aksial yang terjadi per satuan luas disebut sebagai tegangan atau *stress*. *Engineering stress* ( $\sigma$ ) adalah tegangan longitudinal rata-rata yang dihasilkan oleh material uji dengan cara membagi besarnya beban yang digunakan ( $P$ ) dengan luas penampang semula material ( $A_0$ ).

*True stress* ( $\sigma_T$ ) atau tegangan sejati adalah tegangan yang terjadi pada material berdasarkan luas penampang material yang terjadi secara instan atau *real-time* pada area *cross sectional*. Tegangan sejati secara signifikan berbeda dengan tegangan normal yang merupakan beban per unit luas penampang asli material. *True stress* berkaitan dengan *engineering stress*, dengan mengasumsikan volume material uji tetap konstan.

$$\sigma_T = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \times \frac{A_0}{A}$$

$$\frac{A_0}{A} = \frac{l_0}{l} = \frac{\delta + l_0}{l_0} = \frac{\delta}{l_0} + 1 = (1 + \varepsilon)$$

$$A_0 \times l_0 = A \times l$$

$$\sigma_T = \frac{P}{A} (1 + \varepsilon) = \sigma (1 + \varepsilon) \dots \dots \dots (2-7)$$

Dimana :

$P$  = Beban / Gaya Aksial (N)

$A_0$  = Luas penampang semula material (mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = *Engineering strain*

$\sigma_T$  = *True stress* (MPa)

$\sigma$  = *Engineering stress* (MPa)

### 2.9.2 *Engineering Strain* dan *True Strain*

Regangan merupakan perubahan signifikan dari ukuran dan bentuk material terhadap



panjang awal material karena material yang dipengaruhi oleh beban tarik atau tekan. *Engineering strain* ( $\epsilon$ ) atau regangan konvensional adalah hasil dari perpanjangan per satuan panjang material semula. *True strain* ( $\epsilon_T$ ) atau istilah regangan sejati dapat ditentukan dari *engineering strain* atau regangan konvensional yang didefinisikan sebagai laju pertambahan panjang material ( $\Delta l$ ) secara simultan dan signifikan dibagi panjang awal material ( $l_0$ ). *True strain* diperoleh pada kondisi dimensi material pada saat itu secara instan, dan bukan berdasarkan panjang material semula seperti pada *engineering strain*. Berikut merupakan persamaan dari *true strain* :

$$\epsilon_T = \int \frac{\Delta l}{l} = \ln \left( \frac{l}{l_0} \right)$$

$$\epsilon_T = \ln \left( \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \right) = \ln \left( 1 + \frac{\Delta l}{l_0} \right)$$

$$\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon) \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

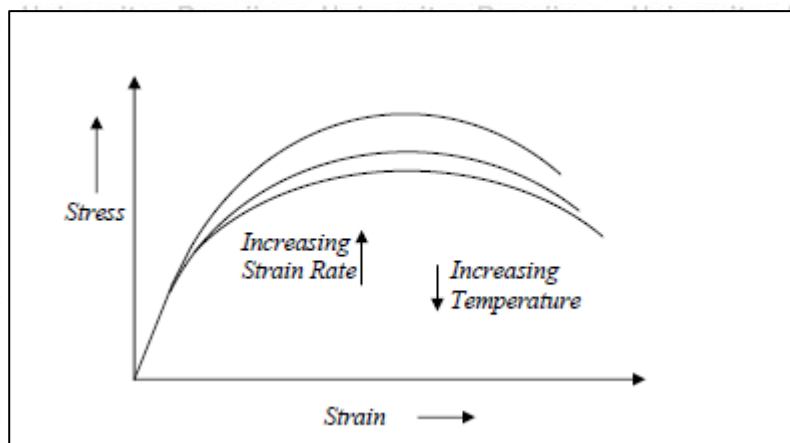
- $\epsilon_T$  = *True strain*
- $\Delta l$  = Pertambahan panjang
- $l_0$  = Panjang awal material
- $\epsilon$  = *Engineering strain*

### 2.9.3 Kurva Tegangan-Regangan

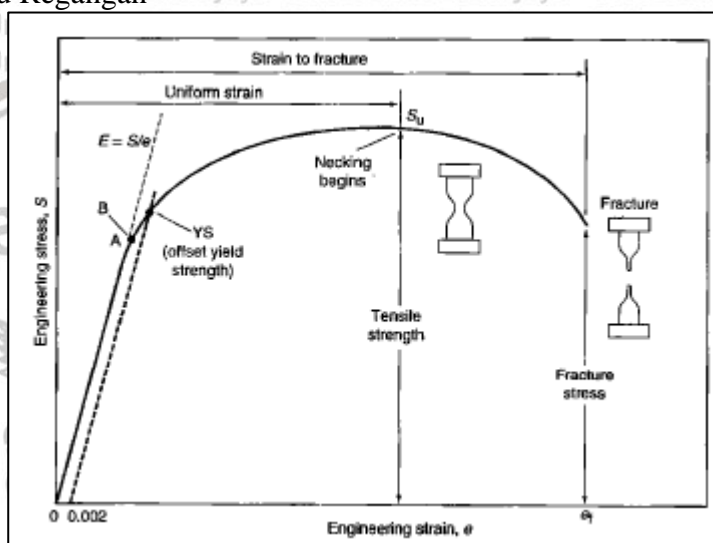
Kurva tegangan-regangan merupakan representasi atau visualisasi dari perilaku kinerja material yang diberi beban monoton secara meningkat hingga material tersebut patah. Terdapat dua jenis representasi dari kurva tegangan-regangan yaitu kurva *engineering stress-strain* dan kurva *true stress-strain*.

Kurva *engineering stress-strain* adalah kurva yang dihasilkan dari pemberian beban uniaksial yang terus meningkat secara signifikan pada benda uji (*load-elongation*) sehingga terjadi pertambahan panjang material secara simultan. Kurva ini biasanya digunakan untuk menyajikan informasi desain mendasar dari kekuatan material yang diuji. Parameter yang digunakan pada kurva ini adalah komposisi material, suhu, gaya yang diberikan saat pengujian, laju regangan, *heat treatment*, kuat tarik, kuat leleh, dan riwayat deformasi plastis. Luasan yang digunakan dalam menentukan besaran tegangan yang terjadi adalah pada luasan awal/original material ( $A_0$ ). Regangan yang dimasukkan kedalam kurva adalah *engineering strain* ( $\epsilon_e$ ) yaitu perubahan panjang ( $\Delta l$ ) dibagi dengan panjang awal material ( $l_0$ ), dengan kata lain adalah rata-rata dari regangan linear.





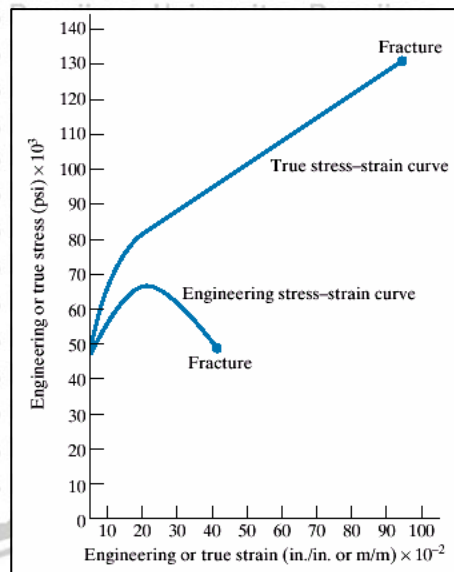
Gambar 2. 17 Kurva Laju Regangan



Gambar 2. 18 Kurva Engineering Stress-Strain

Kurva *true stress-strain* merupakan solusi dari kekurangan kurva yang dimiliki *engineering stress-strain* yaitu indikasi detail mengenai karakteristik deformasi material uji. Hal tersebut terjadi karena kurva *engineering stress-strain* hanya berdasarkan dimensi awal/original material yang mengalami perubahan secara menerus selama pengujian tarik. Saat beban mencapai maksimum, jumlah tegangan rata-rata pada kurva *engineering stress-strain* menurun. Kenyataannya, material uji terus mengalami *strain hardening* (pengerasan tegangan) hingga patah, maka tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi yang akan terjadi seharusnya bertambah.

Kurva *true stress-strain* biasa disebut sebagai kurva aliran (*flow curve*) karena merepresentasikan karakteristik aliran plastis material, dan tiap titik dari kurva tersebut dapat dianggap sebagai tegangan leleh untuk material yang mengalami tegangan sesuai dengan jumlah yang ditunjukkan pada kurva.



Gambar 2.19 Perbandingan Kurva *Engineering Stress-Strain* dan *True Stress-Strain*  
**2.10 Software ABAQUS Student Version**

Software ABAQUS adalah perangkat lunak yang dapat digunakan dalam pemodelan struktur dan analisis struktur. ABAQUS memiliki komponen *input part module* yang bervariasi dan lengkap, sehingga sering digunakan sebagai *software* untuk penelitian atau riset. ABAQUS dapat digunakan untuk membuat suatu pemodelan struktur dengan pilihan material yang dapat di-*input* secara manual. Secara garis besar, proses penggunaan ABAQUS dapat dibagi menjadi tiga, yaitu sebagai berikut :

1. *Preprocessing*

Tahap awal dalam penggunaan ABAQUS adalah dengan pembuatan pemodelan struktur yang akan dianalisa. Diawali dengan *input* koordinat lalu koordinat tersebut dihubungkan satu sama lain. Selanjutnya *input section*, material struktur, dan profil yang akan digunakan dengan memperhatikan satuan yang dipakai.

2. Simulasi

Tahap simulasi berisi tentang proses penyelesaian masalah seperti permasalahan numerik pada pemodelan struktur agar dapat menghasilkan output yang diinginkan.

3. *Post-processing*

Tahap terakhir dalam penggunaan ABAQUS adalah tahapan yang dapat menghasilkan output yang diinginkan, dan selanjutnya dapat diambil kesimpulan dari analisa tersebut.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

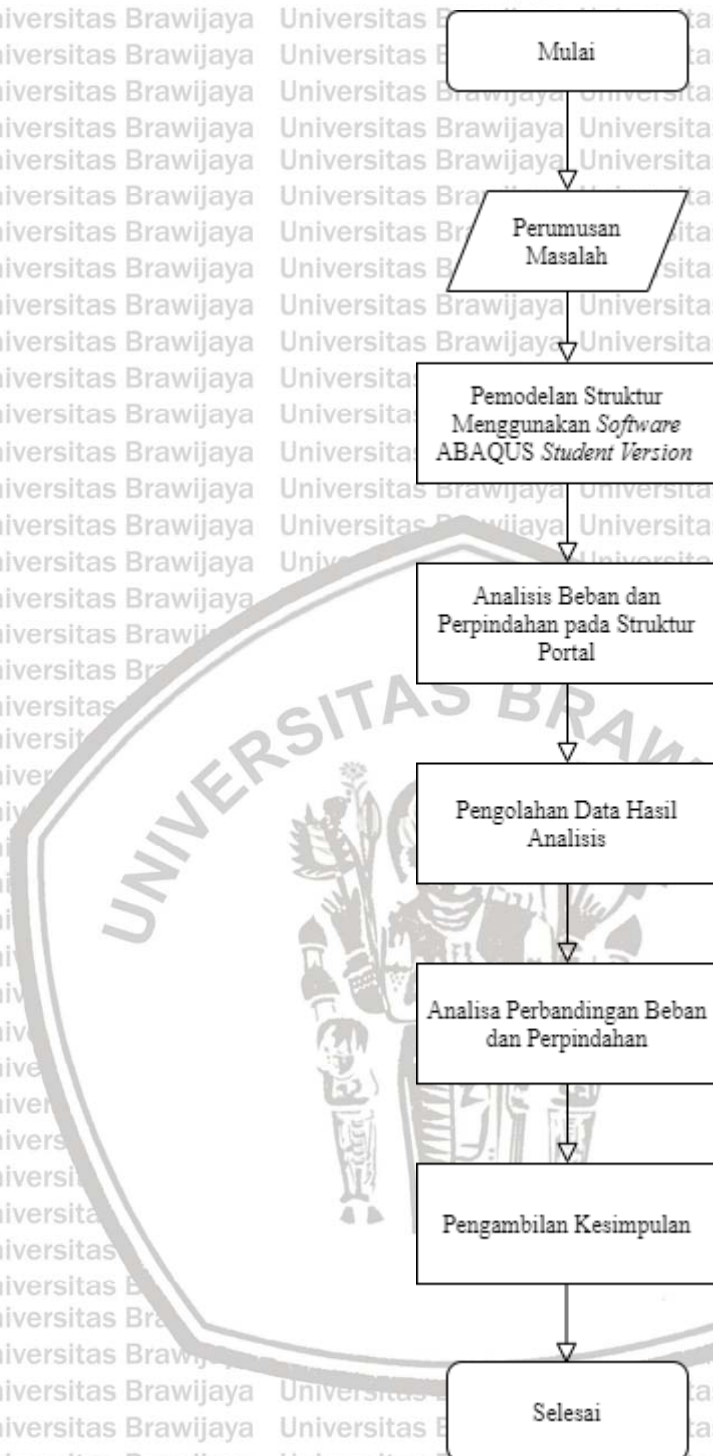
### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* ABAQUS *Student Version*. Alur penelitian yang dirancang oleh penulis berkaitan dengan penelitian eksperimental untuk mengetahui kaitan antar variabel yang digunakan dalam penelitian. Pemodelan baja dengan bantuan *software* ABAQUS *Student Version* akan diberikan beban lateral dan ketentuan serta variasi elemen struktur. Ketentuan dan variasi elemen struktur dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Kolom menggunakan profil baja *wide flange shapes* 300.200.8.12, dengan mutu baja BJ-37.
2. *Link beam* menggunakan profil baja *wide flange shapes* 200.150.6.9, dengan mutu baja BJ-37.
3. *Bracing* menggunakan profil baja *wide flange shapes* 100.100.6.8, dengan mutu baja BJ-37.
4. Variasi panjang eksentrisitas yang digunakan adalah 0 cm, 60 cm (*short link*), dan 120 cm (*long link*).

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

### 3.3. Variabel Penelitian

Variabel bebas dan variabel terikat merupakan dua jenis variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah kondisi yang oleh pelaku eksperimen dimanipulasi untuk



menerangkan hubungannya dengan fenomena yang diobservasi (Arifin, 2011).

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah eksentrisitas, besarnya beban lateral, ukuran jenis profil baja, tipe baja, dan mutu baja yang digunakan.

#### 2. Variabel Terikat

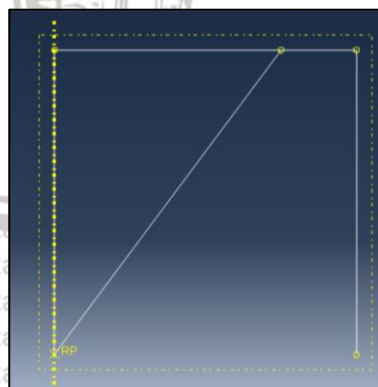
Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah pola perilaku beban, perpindahan, dan momen struktur pada portal dengan *bracing* tipe diagonal eksentris satu arah.

### 3.4. Pemodelan Struktur dengan *Software* ABAQUS

Pemodelan struktur benda uji portal baja eksentris dengan *bracing* tipe diagonal satu arah dikerjakan dengan menggunakan *software* ABAQUS 6.14-1 dengan langkah-langkah pembuatan sebagai berikut :

#### 1. *Create Part*

ABAQUS *Student Version* adalah *software* pemodelan struktur yang tidak memiliki pengaturan satuan (cm, mm, m, dsb), maka dari itu saat membuat pemodelan harus memastikan bahwa satuan angka yang digunakan harus selalu sama dan konsisten. Dalam penelitian ini, digunakan satuan meter (m) untuk panjang dan newton (N) untuk beban. Sistem koordinat digunakan dalam langkah ini untuk membuat pemodelan benda uji. Setelah menentukan koordinat yang diinginkan, *create wire planar* untuk menggabungkan seluruh titik koordinat tersebut menjadi sebuah bentuk pemodelan struktur.

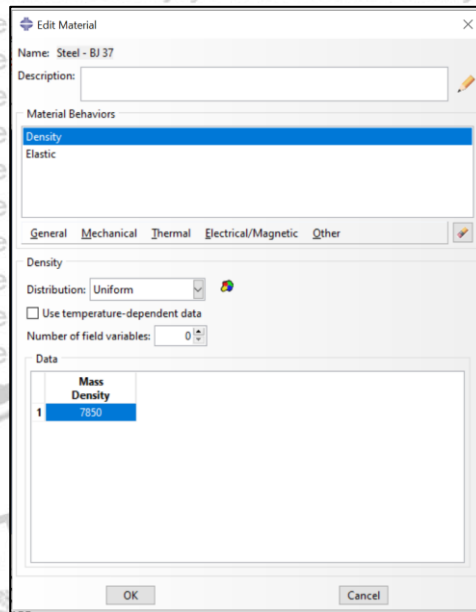


Gambar 3. 2 Hasil Penggabungan Koordinat yang Membentuk Portal

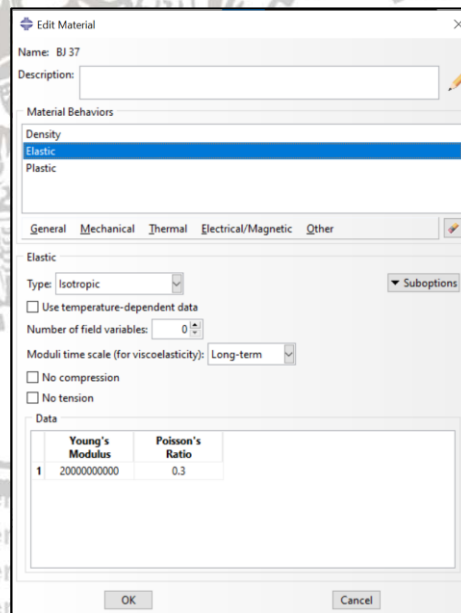
#### 2. *Input Material*

Hasil penggabungan koordinat yang telah membentuk struktur portal yang direncanakan kemudian di-*input* data material yang diinginkan. Data material yang dimasukkan adalah berupa mutu baja, ukuran profil baja yang diinginkan, tipe baja, dan sifat material baja (plastisitas, elastisitas, dan rapat massa). Pada bagian elastisitas,

terdapat dua nilai yang digunakan yaitu modulus elastisitas dan rasio Poisson. Lalu, pada bagian plastisitas nilai *yield stress* di-input oleh nilai *true stress*, dan *plastic strain* di-input dengan nilai *true strain*.

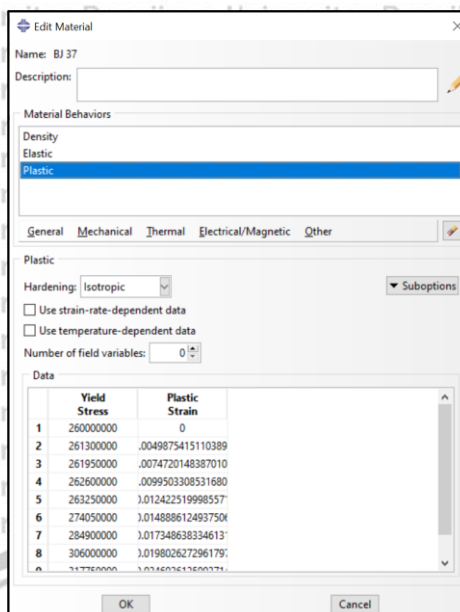


Gambar 3. 3 Input Nilai Kerapatan Massa



Gambar 3. 4 Input Nilai Elastisitas

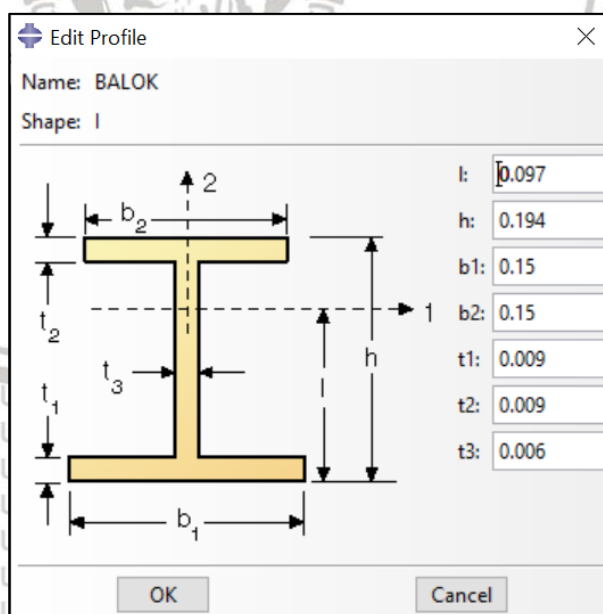




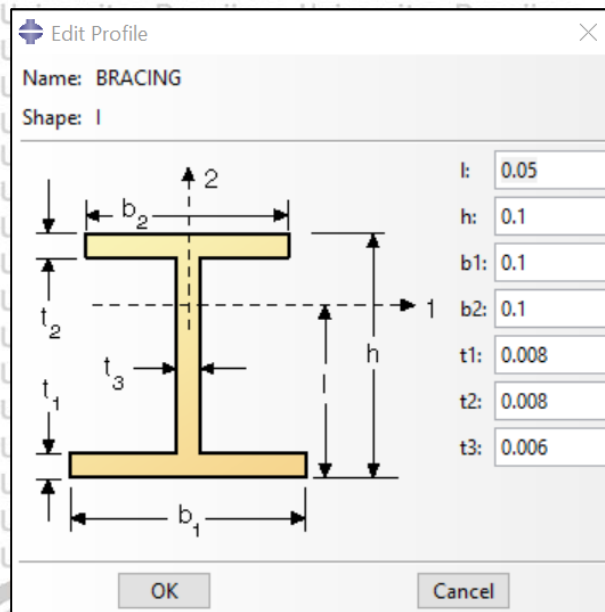
Gambar 3. 5 Input Nilai Plastisitas

### 3. Input Dimensi Profil

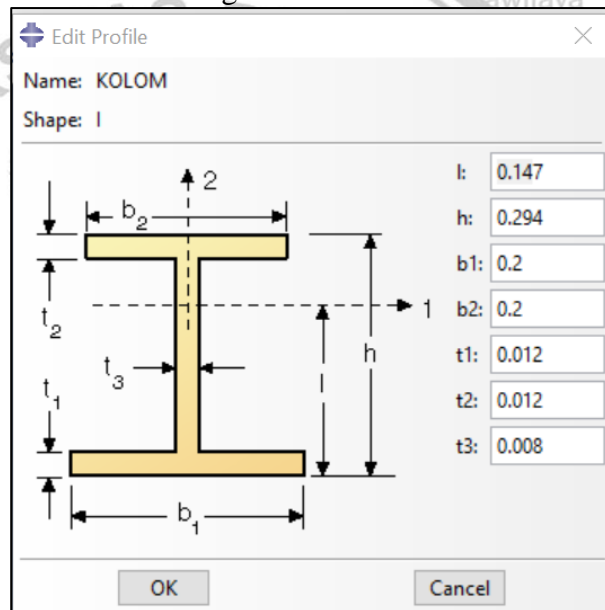
Ada tiga elemen struktur yang digunakan dalam pemodelan ini, yaitu balok, kolom, dan *bracing*. Ketiga elemen tersebut perlu ditentukan dimensi profilnya, agar analisis yang dilakukan lebih akurat. Pada bagian *profile* di ABAQUS CAE *Student Version* dimasukkan detail dimensi dari masing-masing elemen yang digunakan sesuai ukuran yang dipilih dari Tabel Profil Konstruksi Baja Ir. Morisco.



Gambar 3. 6 Input Dimensi Profil Balok

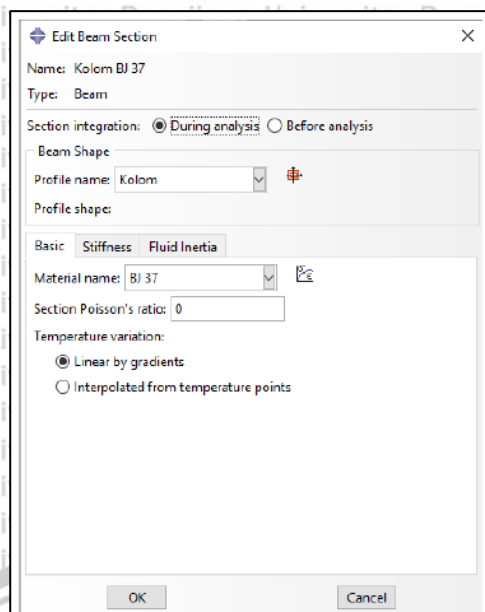


Gambar 3. 7 Input Dimensi Profil Bracing



Gambar 3. 8 Input Dimensi Profil Kolom

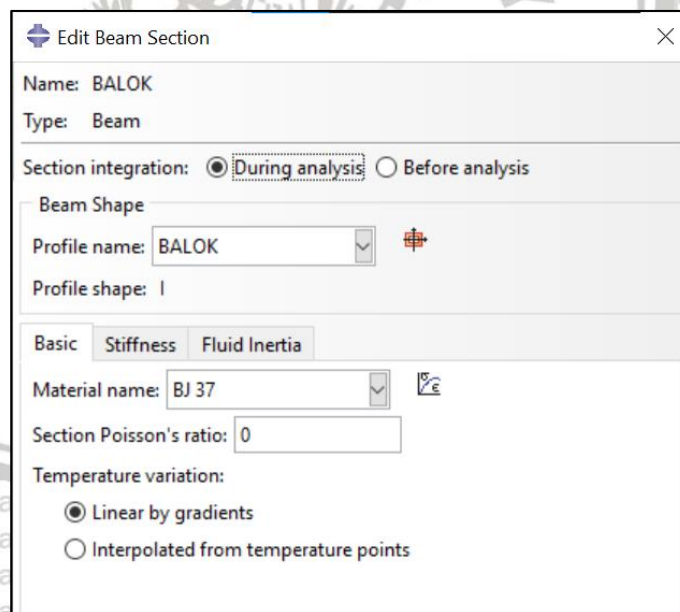




Gambar 3. 9 Input Mutu Baja

#### 4. Input Section

Pada bagian ini di-input nama elemen struktur yang digunakan dan dipilih bagiannya dari pemodelan struktur yang telah dibuat. Lalu, ditentukan tipe elemen struktur, nama profil, material dan bentuk profil baja yang digunakan.



Gambar 3. 10 Input Section Balok

**Edit Beam Section**

Name: BRACING  
Type: Beam

Section integration:  During analysis  Before analysis

Beam Shape

Profile name: BRACING

Profile shape: I

Basic

Material name: BJ 37

Section Poisson's ratio: 0

Temperature variation:

Linear by gradients  
 Interpolated from temperature points

Gambar 3. 11 Input Section Bracing

**Edit Beam Section**

Name: KOLOM  
Type: Beam

Section integration:  During analysis  Before analysis

Beam Shape

Profile name: KOLOM

Profile shape: I

Basic

Material name: BJ 37

Section Poisson's ratio: 0

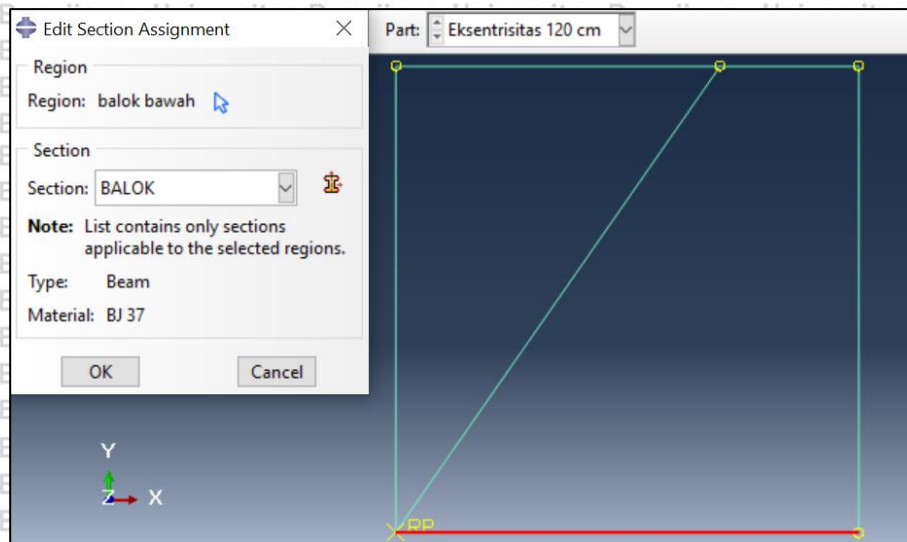
Temperature variation:

Linear by gradients  
 Interpolated from temperature points

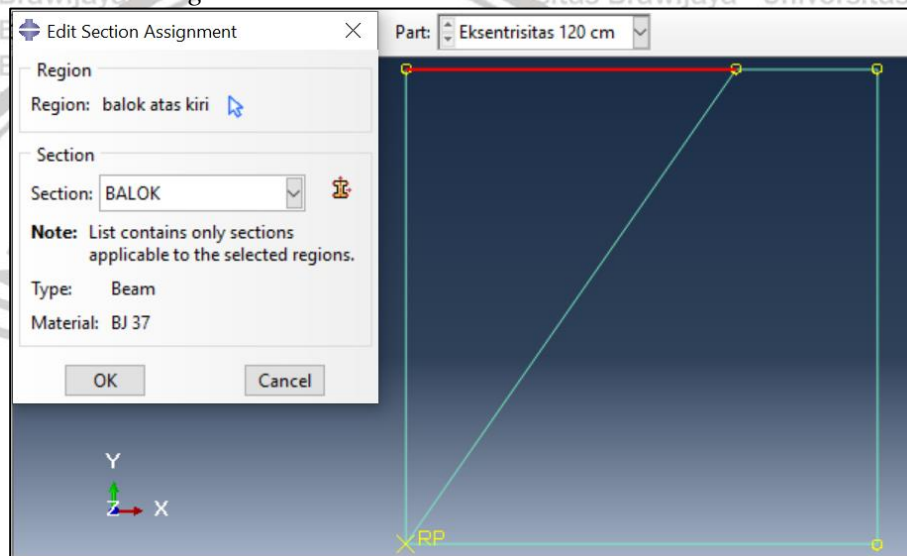
Gambar 3. 12 Input Section Kolom

##### 5. Section Assignment

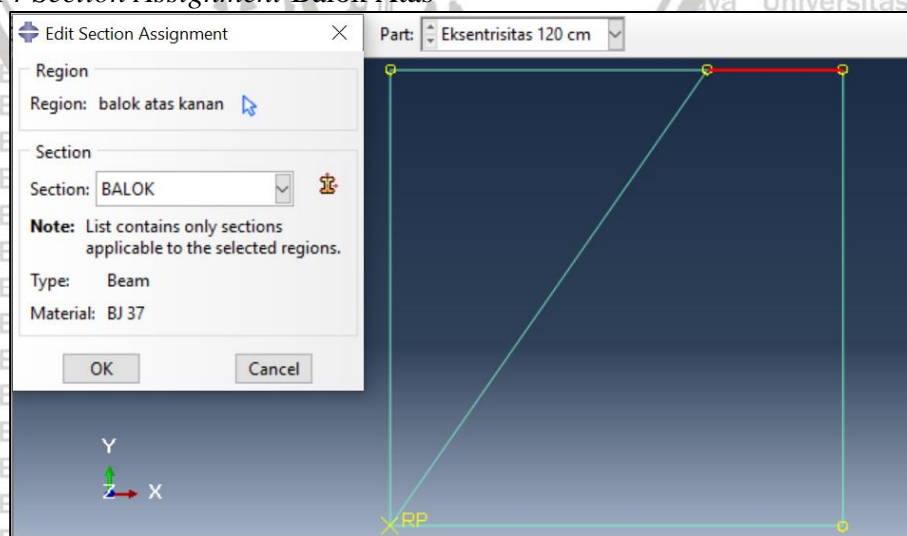




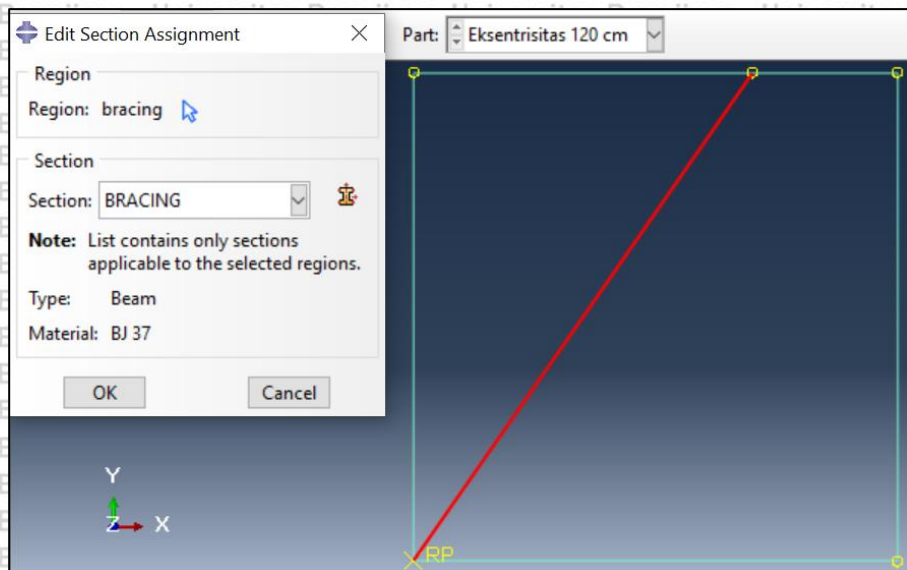
Gambar 3. 13 Section Assignment Balok Bawah



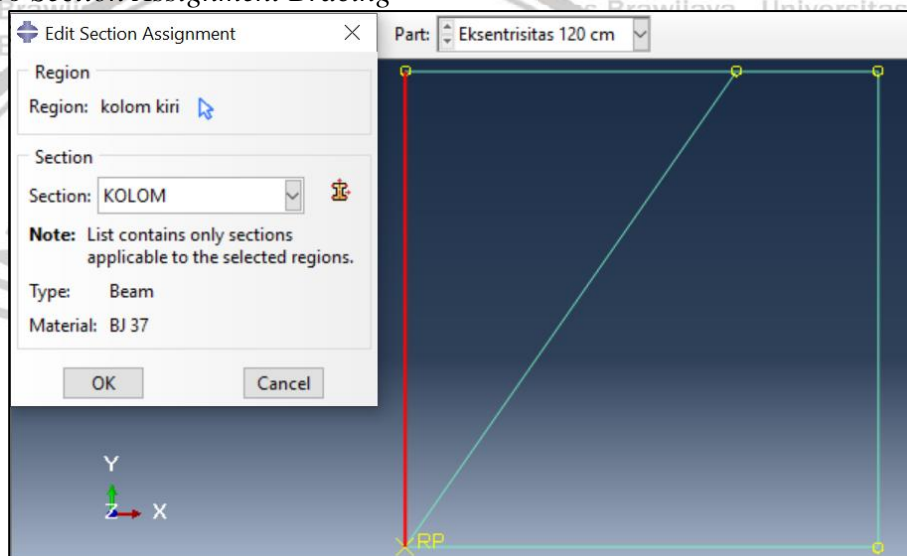
Gambar 3. 14 Section Assignment Balok Atas



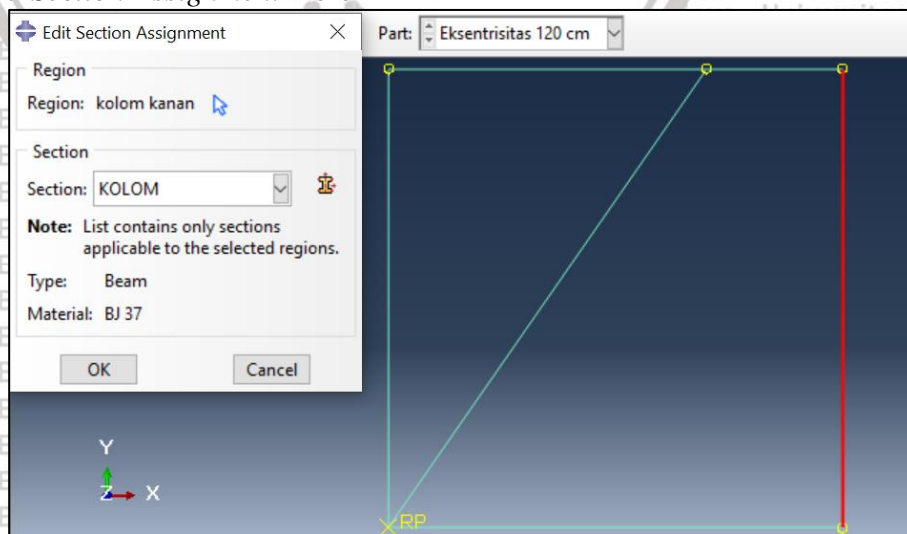
Gambar 3. 15 Section Assignment Link Beam



Gambar 3. 16 Section Assignment Bracing



Gambar 3. 17 Section Assignment Kolom Kiri

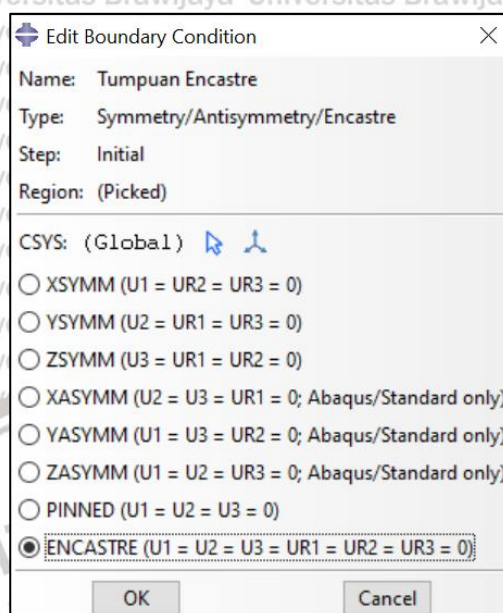


Gambar 3. 18 Section Assignment Kolom Kanan

## 6. Input Boundary Condition



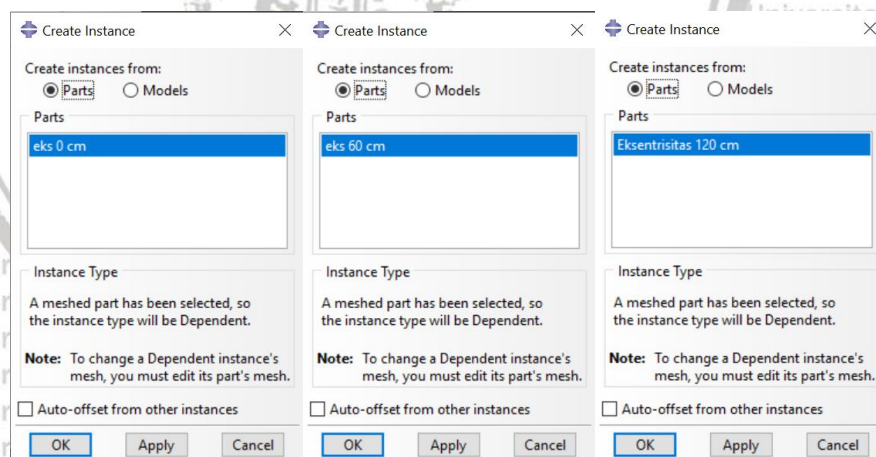
Pada tahap ini, pemodelan struktur ditentukan tumpuan yang akan digunakan, dalam hal ini digunakan tumpuan jepit atau disebut dengan jenis *encastre* dalam *Software ABAQUS Student Version*.



Gambar 3. 19 Input Boundary Condition

#### 7. Assembly

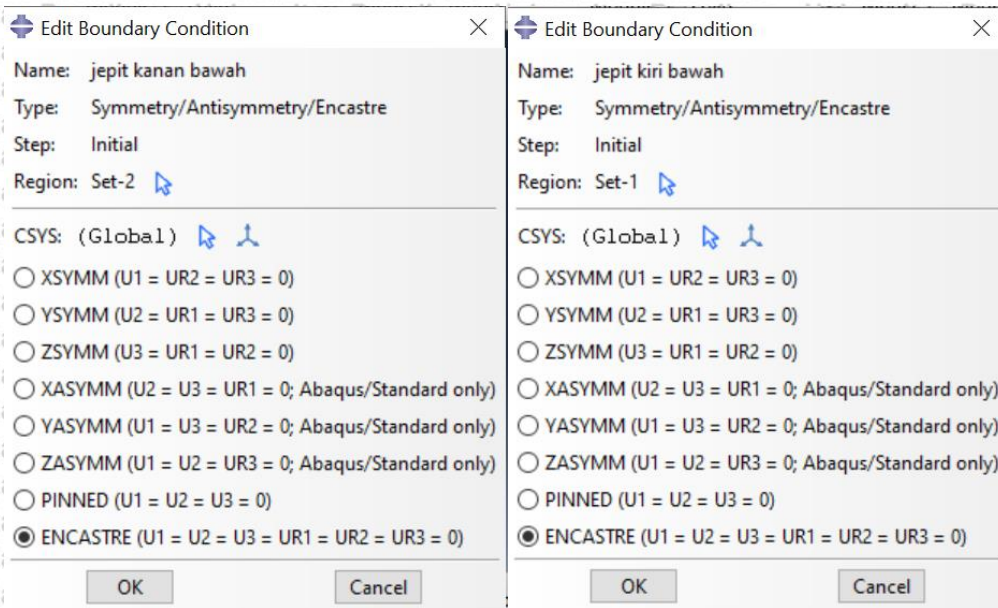
Dalam tahapan ini, dilakukan opsi *assembly* yang bertujuan untuk menggabungkan *part* dan *path* yang telah diinput sebelumnya menjadi satu. Pada *context assembly*, dipilih opsi *create instance*.



Gambar 3. 20 Create Instance

#### 8. BCs

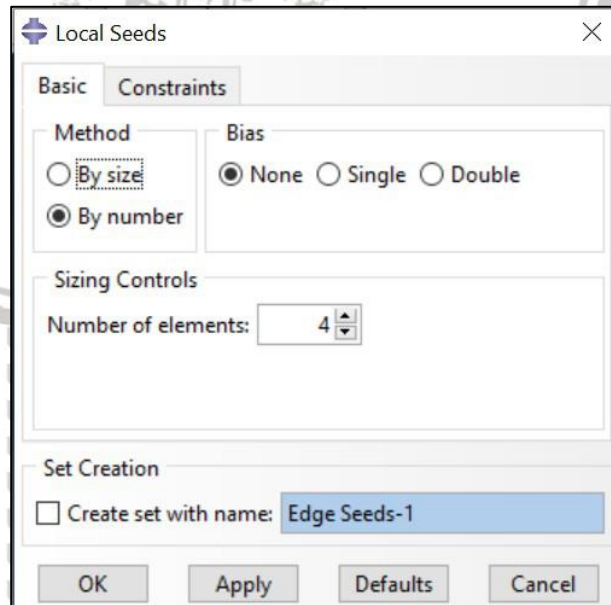
Pada bagian ini, dari *boundary condition* yang telah dipilih sebelumnya ditentukanlah bagian titik dari pemodelan yang dijadikan tumpuan.



Gambar 3. 21 Boundary Condition Tumpuan Encastre

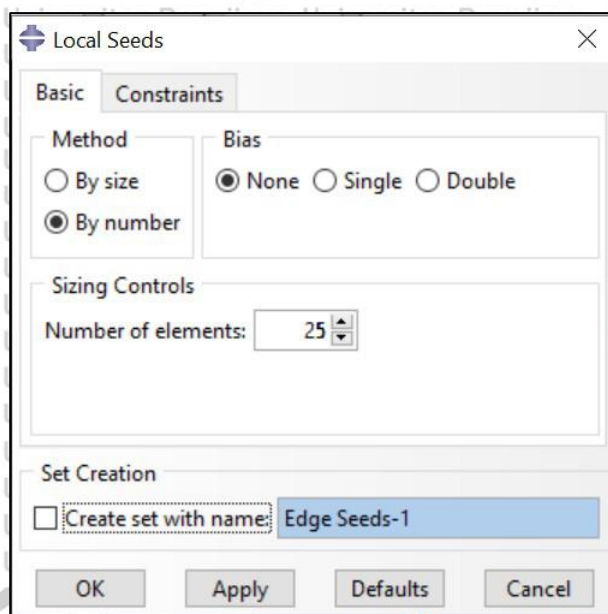
### 9. Meshing

Tahapan ini dilakukan untuk membagi pemodelan struktur kedalam beberapa node dan elemen. *Mesh* mempengaruhi pada hasil yang akan didapatkan karena asumsi semakin rapat suatu *mesh*, maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Satuan output dari *meshing* yang akan digunakan dalam pemodelan di Abaqus *Student Version* ini adalah meter (m). Ada dua variasi *meshing* yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu *meshing* 4 (besar) dan *meshing* 25 (kecil).



Gambar 3. 22 Local Seeds Meshing 4 (Besar)

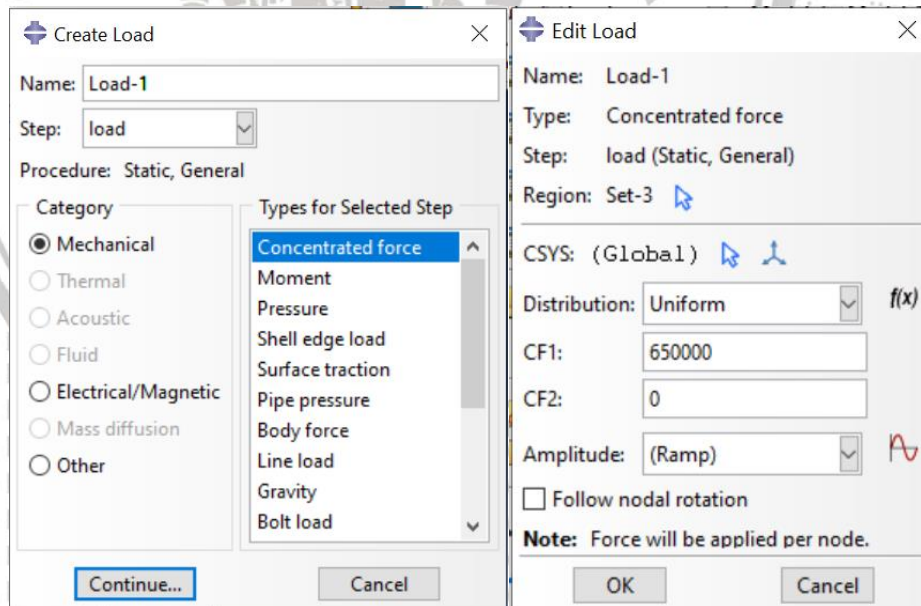




Gambar 3. 23 Local Seeds Meshing 25 (Kecil)

#### 10. Input Beban

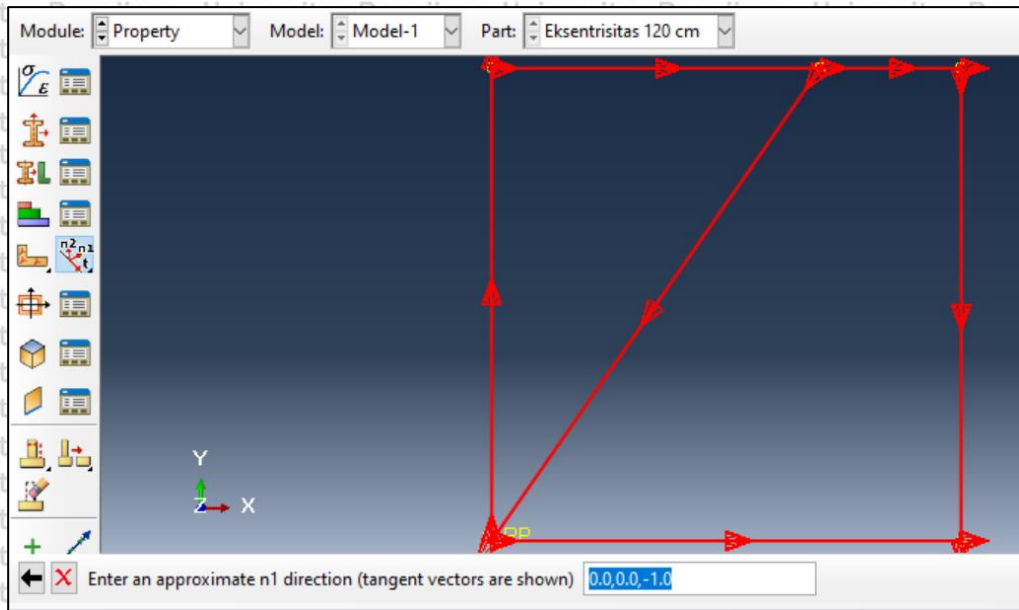
Pada tahap ini, struktur portal akan diberi beban sebesar 650.000 N untuk setiap variasi eksentrisitas *bracing*. Beban yang digunakan merupakan kategori dari *mechanical load*, dengan tipe *concentrated force*. Beban digunakan di titik kiri atas struktur secara statis.



Gambar 3. 24 Input Beban

#### 11. Orientation

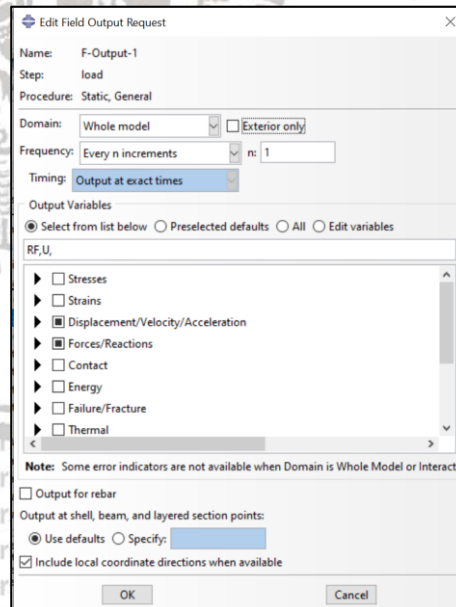
Pada bagian ini, keseluruhan dari elemen pemodelan struktur di-pilih untuk proses *assign beam orientation*. Proses ini membuat dapat digunakannya *part display option* untuk melihat representasi ideal dari profil pemodelan.



Gambar 3. 25 Assign Beam Orientation

## 12. Output Pemodelan

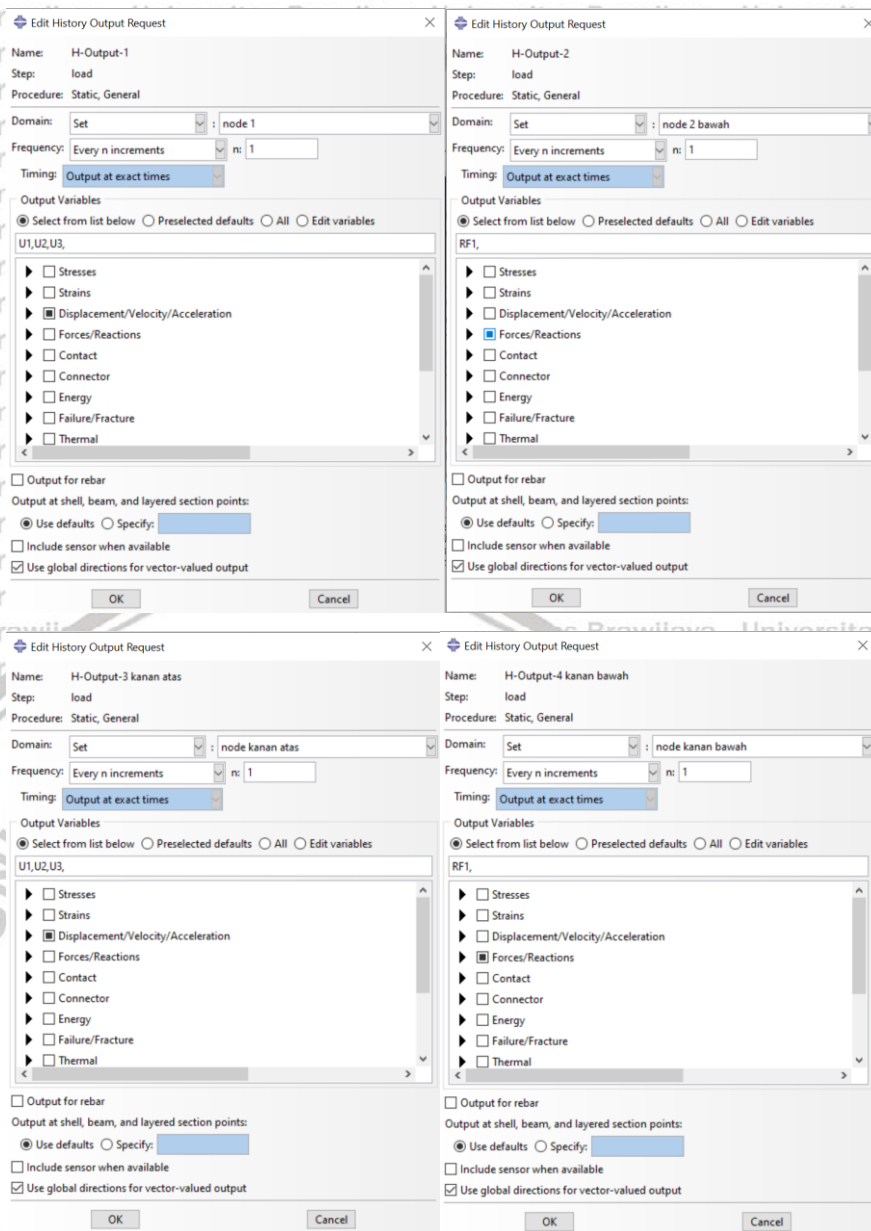
Pengaturan *output* dalam ABAQUS Student Version yang digunakan dalam pemodelan ini adalah *field output request* dan *history output request*. Pada pengaturan di *field output request* ditentukan variabel *output* berupa RF (*reaction force*) dan U (*displacement*) dengan domain seluruh elemen struktur.



Gambar 3. 26 Field Output Request

Sedangkan, pada *history output request* dibuat empat jenis *output request*. Keempat jenis *output request* tersebut adalah untuk empat node yang telah ditentukan pada bagian *Parts* → *Sets*. Variabel *output* yang digunakan adalah U1, U2, dan U3 untuk node kiri dan kanan atas, dan RF1 untuk node kiri dan kanan bawah.

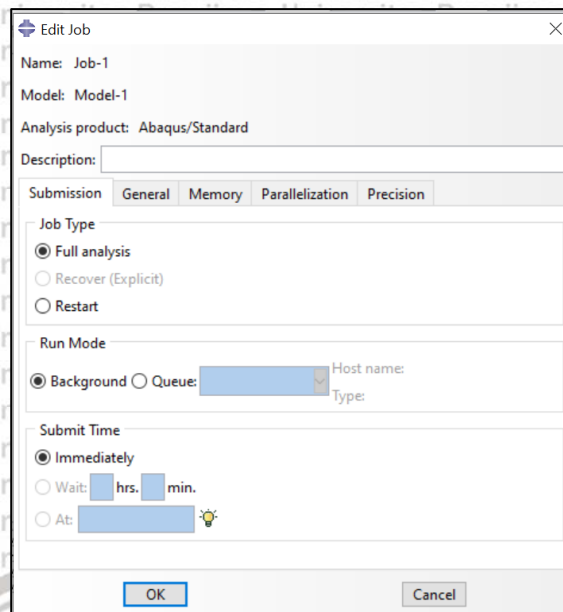




Gambar 3. 27 History Output Request

### 13. Analisis

Pada tahapan ini, *create jobs* di step *analysis* dan pilih *submit* untuk menghasilkan perhitungan analisis struktur di bagian *result*.



Gambar 3. 28 Create Job Analysis

#### 14. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pemodelan menggunakan *software* ABAQUS ini adalah berupa kurva beban dan perpindahan dan perbandingan dari setiap jenis pemodelan struktur portal dengan variasi jarak eksentrisitas *bracing*. Kemudian, dapat dibuktikan apakah hasil penelitian ini sesuai dengan hipotesis penelitian atau tidak.

### 3.5. Hipotesis Penelitian

Eksentrisitas *bracing* tipe diagonal yang digunakan dalam portal baja sederhana dapat menghasilkan kombinasi kekuatan dan kekakuan dari sistem *Concentrically Braced Frames* (CBF) dalam kondisi inelastik serta kapasitas energi disipasi dari sistem *Moment Resisting Frames* (MRF). Kekuatan, stabilitas, dan daktilitas dari *Eccentrically Braced Frames* (EBF) dipengaruhi oleh panjang *link beam*. Hal tersebut disebabkan oleh panjang *link beam* yang dapat mengindikasikan besarnya kapasitas energi disipasi dalam sistem. Semakin pendek *link beam* dalam portal EBF, maka semakin besar kekuatan dan daktilitasnya jika diberi beban statis. Maka dari itu, semakin kecil eksentrisitas pada portal tipe diagonal eksentris satu arah, akan semakin besar kekuatan dan daktilitasnya.



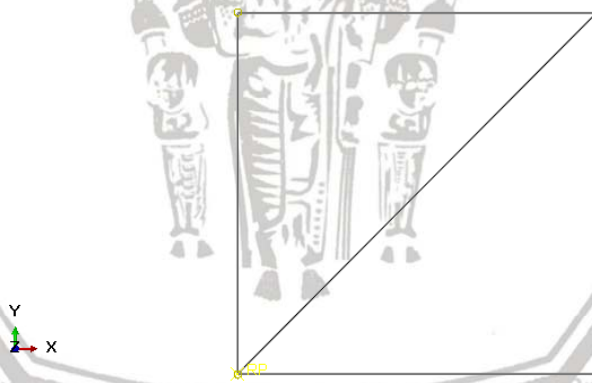
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemodelan Struktur Portal Dengan Eksentrisitas *Bracing*

Pemodelan struktur portal dengan *bracing* yang digunakan dalam analisis ini adalah tipe diagonal eksentris satu arah. Terdapat tiga jenis model pemodelan yang digunakan, yaitu berdasarkan variasi eksentrisitas *link beam*. Kemudian, ketiga model tersebut dianalisis menggunakan ABAQUS CAE *Student Version* dengan variasi dua ukuran meshing.

#### 4.1.1 Gambaran Umum

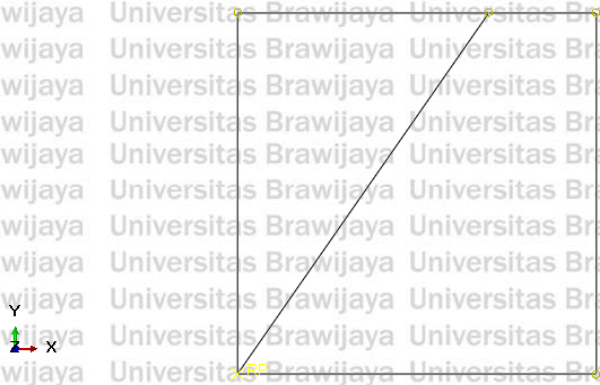
Struktur portal dengan tipe diagonal eksentrisitas satu arah yang digunakan dalam analisis berukuran 4x4 meter. Terdapat tiga bentuk pemodelan struktur portal sesuai variasi eksentrisitas *bracing* yaitu eksentrisitas 0 cm (kosentris), 60 cm (short link), dan 120 cm (long link). Tumpuan yang digunakan pada pemodelan struktur adalah jepit atau disebut *encastre* dalam ABAQUS CAE *Student Version*. Bentuk-bentuk pemodelan yang dibuat pada penelitian ini merupakan pemodelan dua dimensi yang divisualisasikan pada ABAQUS CAE *Student Version* sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Visualisasi Portal dengan Eksentrisitas *Bracing* 0 cm (Kosentris)



Gambar 4. 2 Visualisasi Portal dengan Eksentrisitas *Bracing* 60 cm



Gambar 4. 3 Visualisasi Portal dengan Eksentrisitas Bracing 120 cm

#### 4.1.2 Spesifikasi Pemodelan

Pemodelan struktur portal dengan eksentrisitas *bracing* menggunakan beberapa ketentuan dalam pengerjaannya. Seluruh bagian portal menggunakan mutu baja BJ-37, dengan data detail spesifikasi material serta dimensi ukuran profil yang digunakan pada ABAQUS CAE *Student Version* seperti berikut :

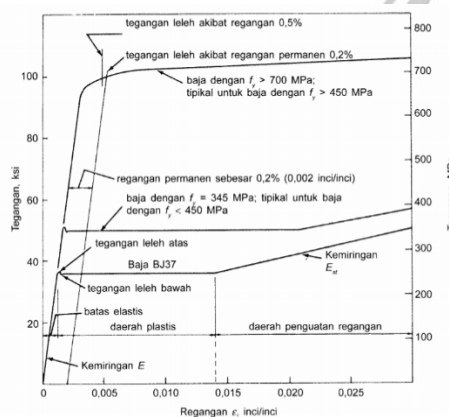
1. Modulus Elastisitas :  $20 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
2. Rasio Poisson : 0,3
3. Rapat Massa :  $7850 \text{ Kg/m}^3$

Tabel 4. 1

Data Dimensi Profil Baja

No.	Bagian Struktur Portal	Dimensi Profil Baja yang Digunakan
1.	Balok	WF 200.150.6.9
2.	Kolom	WF 300.200.8.12
3.	Bracing	WF 100.100.6.8

Pada bagian plastisitas, tegangan dan regangan yang dimasukkan kedalam pemodelan struktur di ABAQUS CAE *Student Version*, dikonversi terlebih dahulu menjadi *true stress* dan *true strain*. Konversi nilai tegangan dan regangan yang dilakukan ditunjukkan pada gambar dan tabel berikut :



Gambar 4. 4 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Tipikal



Tabel 4. 2

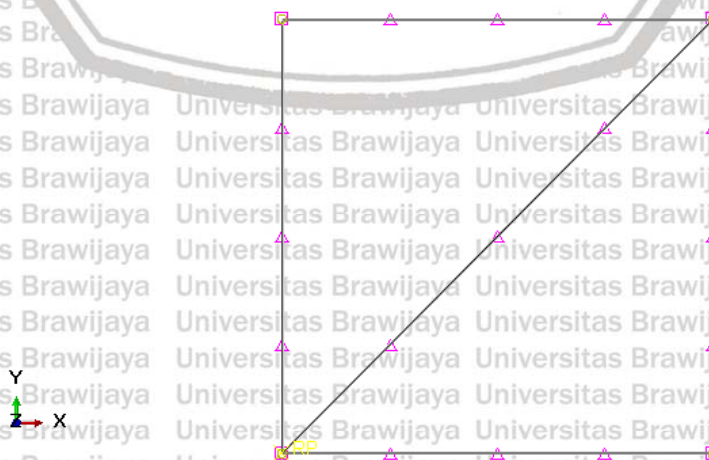
Nilai True Stress dan True Strain

No.	Regangan	Tegangan (Mpa)	True strain	True Stress (Pa)
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

#### 4.2 Analisis Pemodelan Struktur Portal dengan *Bracing Tipe Diagonal Satu Arah*

Analisis pemodelan struktur portal pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak ABAQUS CAE *Student Version*. ABAQUS CAE *Student Version* dapat memberikan hasil analisis dengan lebih presisi. Kelebihan dari penggunaan *software* ABAQUS CAE *Student Version* pada pemodelan struktur adalah dapat memasukkan spesifikasi material dengan lebih rinci maka *output* yang dihasilkan lebih akurat.

Struktur portal dibagi menjadi tiga bagian, yaitu balok, kolom, dan *bracing*. Jumlah total dari jenis pemodelan yang dibuat pada *software* adalah enam jenis model. Pemodelan struktur portal terbagi menjadi tiga ukuran panjang eksentrisitas dan dua jenis jumlah pembagian segmen elemen portal (*meshing*). Tiga jenis ukuran eksentrisitas *bracing* tersebut adalah 0 cm (kosentris), 60 cm (*short link*), dan 120 cm (*long link*). Pemodelan struktur dari tiap ukuran eksentrisitas *bracing* tersebut selanjutnya dibuat menjadi dua pemodelan dengan ukuran *meshing* yang berbeda. Ukuran *meshing* yang digunakan adalah *meshing* besar (4 bagian per segmen elemen portal), dan *meshing* kecil (25 bagian per segmen elemen portal).

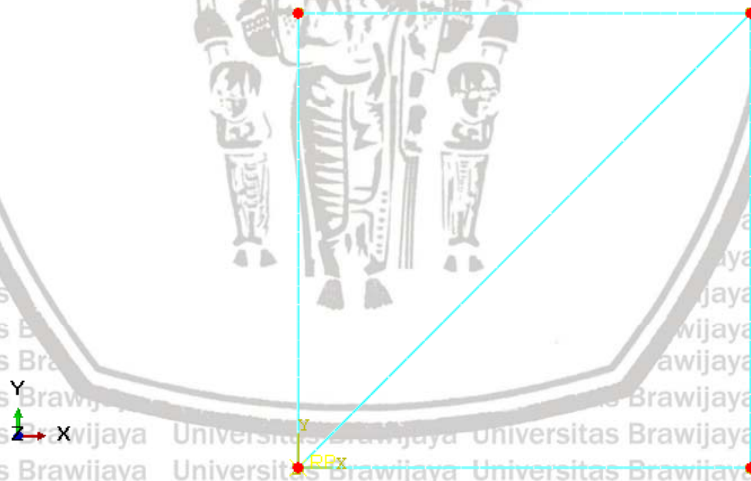


Gambar 4. 5 Struktur Portal dengan Meshing 4 (Besar)



Gambar 4. 6 Struktur Portal dengan Meshing 25 (Kecil)

Pengaturan pada *software* untuk membuat dan memodifikasi pilihan *output* yang diinginkan terbagi menjadi dua, yaitu *field output request* dan *history output request*. *Field output request* digunakan untuk menghasilkan plot kontur, plot *deformed shape* struktur, dan hasil berupa warna untuk menunjukkan bagian kritis pada struktur dari hasil analisis. Sedangkan, *history output request* digunakan untuk menghasilkan komponen individu dari variabel *output* yang diinginkan, yaitu perpindahan dari masing-masing *node*. *Node* yang dibuat dalam *software* berjumlah empat, yaitu pada kedua titik tumpuan jepit/*encastre*, satu titik di ujung kiri atas, dan satu titik di ujung kanan atas.



Gambar 4. 7 Node pada Pemodelan Struktur Portal

Variabel yang digunakan pada *output request* sebagai hasil dalam analisis adalah nilai beban berupa *force* atau RF (*reaction force and moment*) dan nilai perpindahan yang terjadi atau U (*displacement*). *Force* atau beban yang digunakan dalam seluruh pemodelan yang dibuat adalah sebesar 65 Ton.

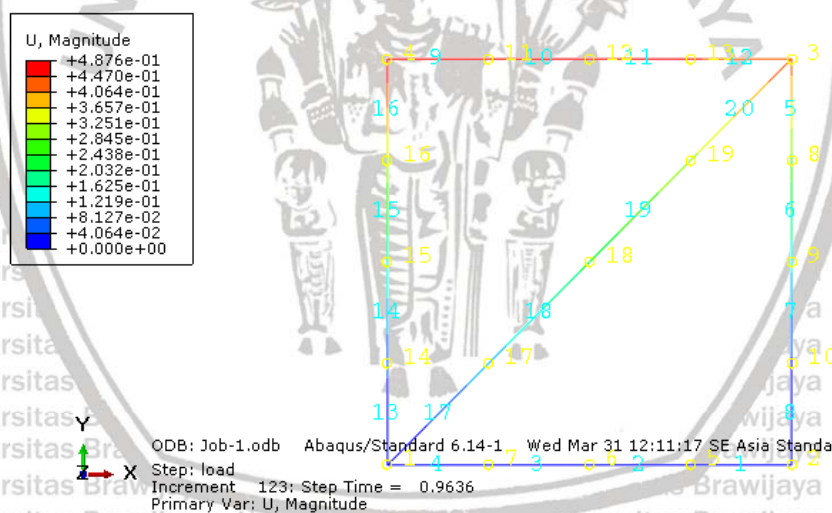




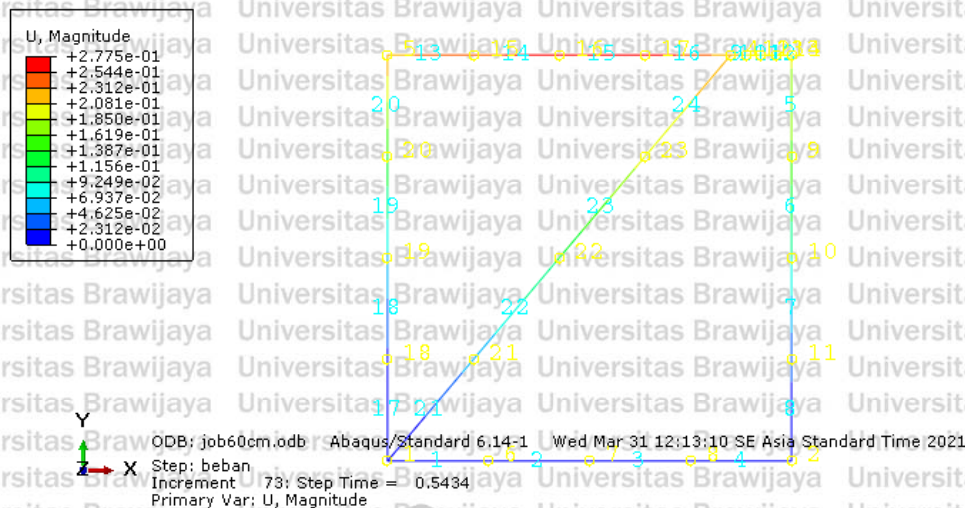
Gambar 4. 8 Beban pada Node Kiri Atas

Beban tersebut ditentukan berdasarkan dari hasil percobaan sampai *aborted* pada pemodelan eksentrisitas 0 cm (kosentris) di *software* ABAQUS CAE *Student Version*.

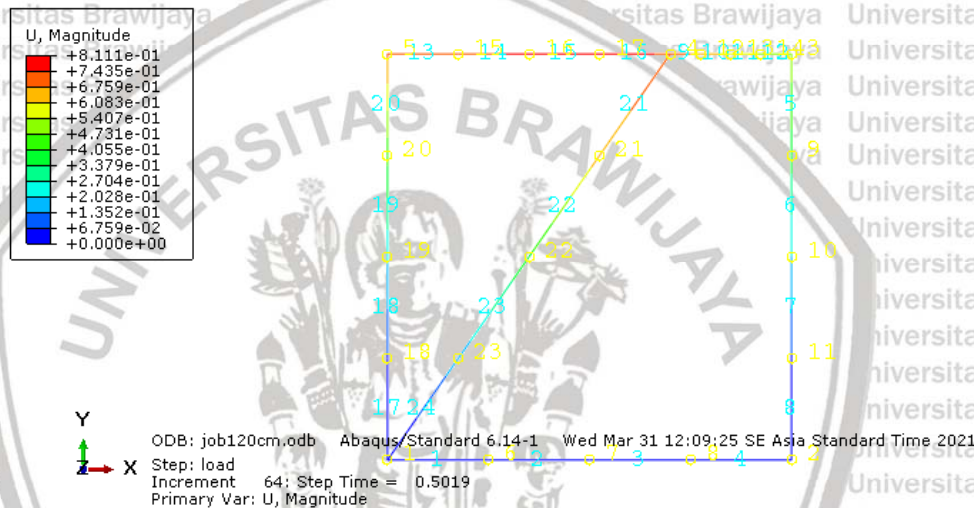
Percobaan dilakukan pada jenis variasi eksentrisitas 0 cm karena diasumsikan bahwa jenis struktur portal tersebut adalah yang terkuat. Beban tersebut diletakkan pada *node* kiri atas, maka bagian kiri portal mengalami perpindahan terbesar, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. 9 Deformasi Akibat Beban Pemodelan Eksentris 0 cm



Gambar 4. 10 Deformasi Akibat Beban Pemodelan Eksentris 60 cm



Gambar 4. 11 Deformasi Akibat Beban Pemodelan Eksentris 120 cm

Pada Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11 menunjukkan bahwa terdapat elemen kritis yang terjadi pada masing-masing pemodelan. Elemen kritis menunjukkan bagian dari portal yang mengalami perpindahan terbesar. Pada portal dengan eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris), elemen kritis terjadi di seluruh bagian balok atas. Elemen kritis pada portal dengan eksentrisitas *bracing* 60 cm terjadi di bagian tengah balok atas, sedangkan elemen kritis pada portal dengan eksentrisitas *bracing* 120 cm terjadi pada bagian tengah balok atas dan *bracing* bagian atas.

### 4.3 Analisis Respon Struktur Portal Akibat Beban Statis

Nilai beban maksimum yang didapatkan dari hasil coba-coba pada ABAQUS *Student Version* diaplikasikan kepada setiap jenis tipe eksentrisitas pada node kiri atas struktur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Beban sebesar 65 Ton yang diaplikasikan ke setiap model tersebut menghasilkan nilai *time* sebesar 0,9636 pada tipe eksentrisitas 0 cm



(kosentris), maka dapat diasumsikan bahwa nilai beban tersebut sudah bisa membuat struktur portal mengalami keruntuhan.

Pembebanan statis yang dilakukan terhadap struktur portal tersebut menghasilkan respon struktur yaitu berbentuk perpindahan (*displacement*) dan gaya (*force*). Perpindahan (mm) yang dianalisa pada node kiri atas dan node kanan atas terdiri dari  $U_1$ ,  $U_2$ , dan  $U_3$ .  $U_1$  adalah variabel yang memperlihatkan perpindahan yang terjadi pada sumbu X,  $U_2$  menghasilkan perpindahan yang terjadi pada sumbu Y, dan  $U_3$  merupakan hasil perpindahan pada sumbu Z. *Force* (Ton) atau gaya dihasilkan oleh struktur dengan menggunakan variabel RF (*reaction force and moments*) pada ABAQUS *Student Version* diaplikasikan pada node kanan bawah dan node kiri bawah yaitu di titik tumpuan.

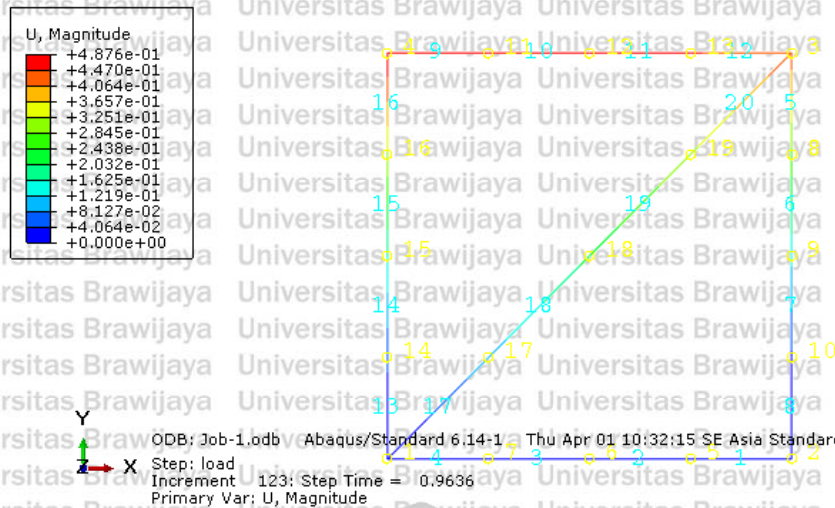
#### 4.4 Hasil Analisis Struktur Portal *Bracing* Eksentris Tipe Diagonal Satu Arah

*Output* berupa hasil analisis struktur disajikan dalam bentuk kurva dan tabel dari data yang diperoleh dari ABAQUS *Student Version*. Data yang diperoleh adalah besarnya perpindahan (mm) yang terjadi pada node kiri atas dan node kanan atas, lalu gaya atau *force* (ton) yang terjadi pada node-node tumpuan. Terdapat tiga jenis penyajian hasil analisis yaitu kurva nilai beban dan perpindahan pada struktur bagian kiri ( $RF_{kiri}$  dan  $U_{kiri}$ ), kurva nilai beban dan perpindahan pada struktur bagian kanan ( $RF_{kanan}$  dan  $U_{kanan}$ ), dan kurva kumulatif nilai beban dan perpindahan yang terjadi pada struktur bagian kanan dan kiri ( $Rf_{kanan}+Rf_{kiri}$  dan  $U_{kiri}$ ).

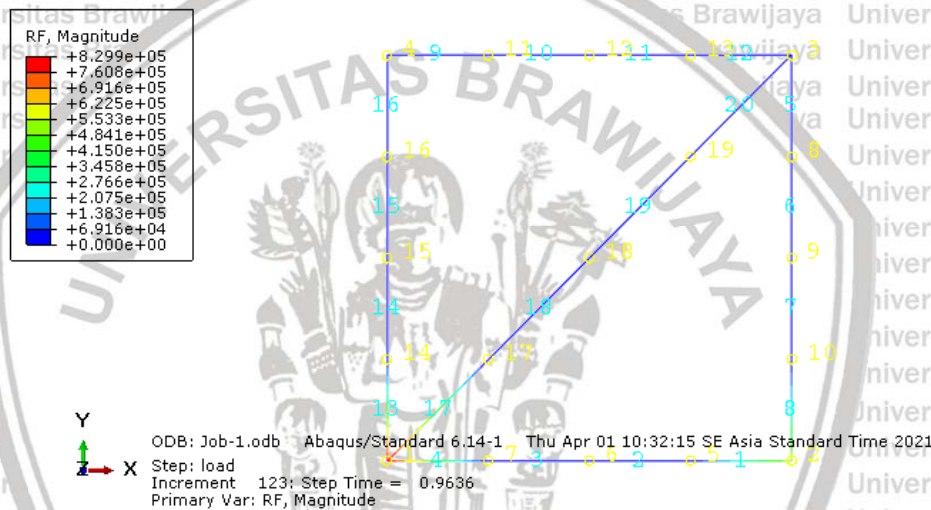
##### 4.4.1 Meshing 4

###### A. Portal dengan Eksentrisitas 0 cm (Kosentris)

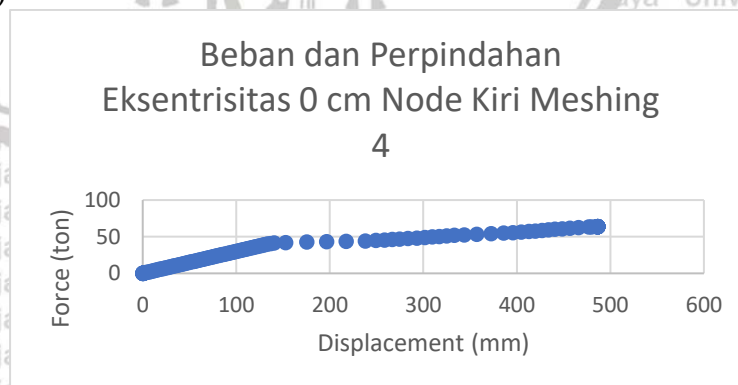
Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) pada bagian *node* kiri menghasilkan *step time* sebesar 0,9636 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 486,4933 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kiri}$ ) sebesar 63,76 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.1** sebagai berikut :



Gambar 4.12 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 0 CM Meshing 4 (Besar)



Gambar 4.13 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 0 CM Meshing 4 (Besar)

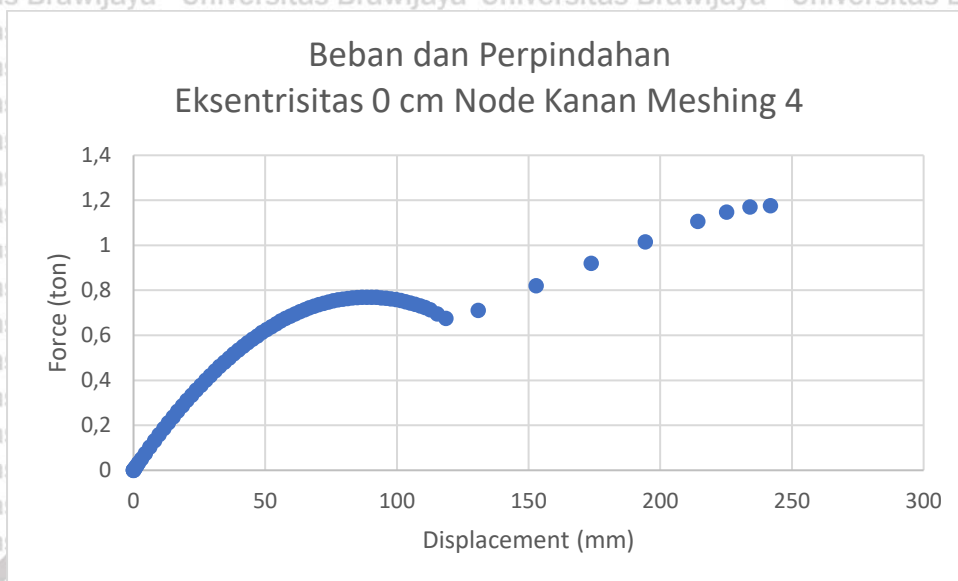


Grafik 4.1 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 0 CM Node Kiri Meshing 4 (Besar)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) pada bagian *node* kanan menghasilkan *step time* sebesar 0,9636 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Perpindahan atau

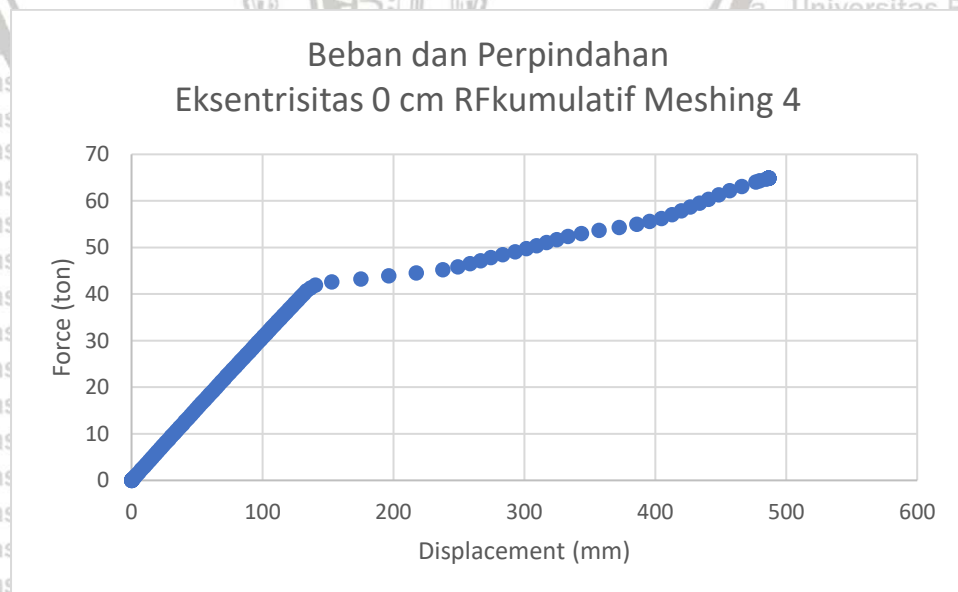


*displacement* ( $U_{kanan}$ ) yang terjadi sebesar 430,8397 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kanan}$ ) sebesar 1,1271 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.2** sebagai berikut :



**Grafik 4. 2** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 0 CM Node Kanan Meshing 4 (Besar)

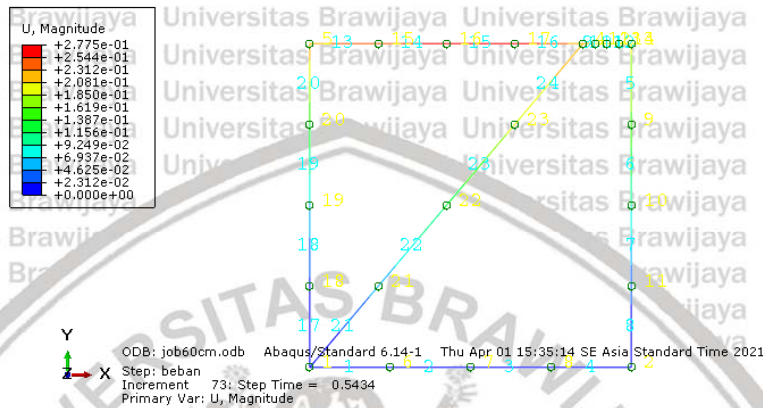
Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) menghasilkan *step time* sebesar 0,9636 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 486,4933 mm, dan gaya atau *force* kumulatif ( $RF_{kiri} + RF_{kanan}$ ) sebesar 64,8871 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.3** sebagai berikut :



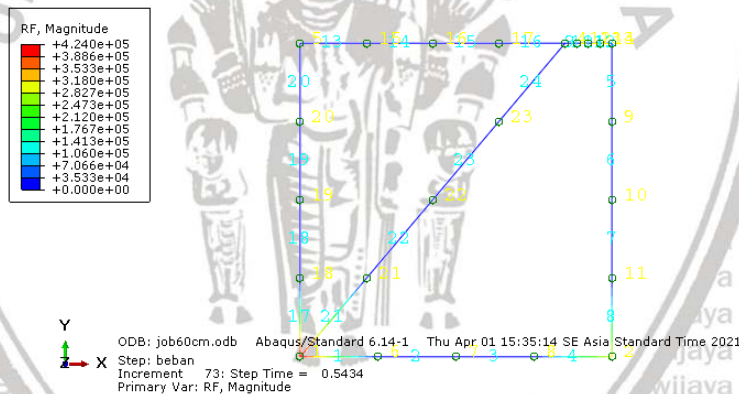
**Grafik 4. 3** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 0 CM  $RF_{kumulatif}$  Meshing 4 (Besar)

## B. Portal dengan Eksentrisitas 60 cm

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 60 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) pada bagian *node* kiri menghasilkan *step time* sebesar 0,5434 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 226,5751 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kiri}$ ) sebesar 30,1183 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.4** sebagai berikut :

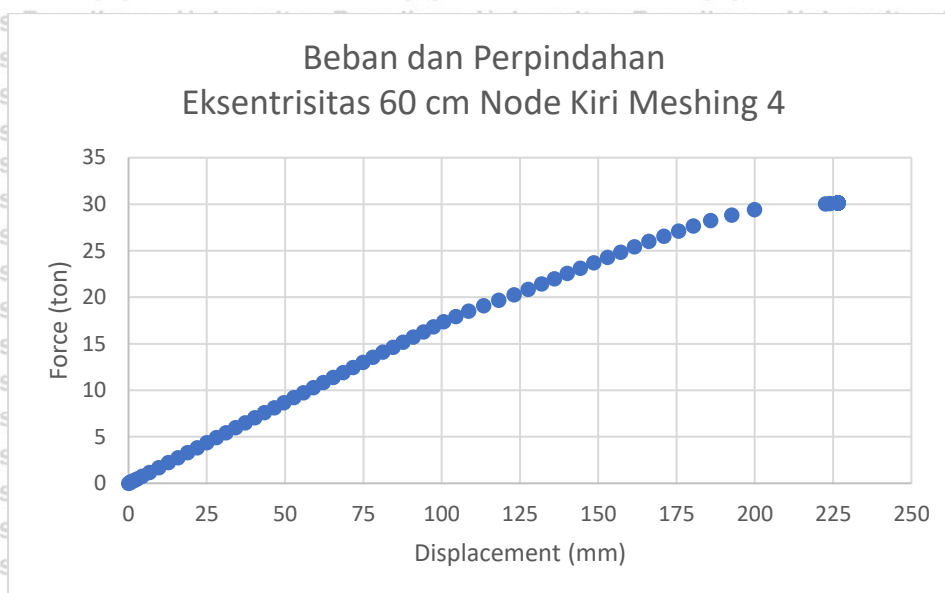


**Gambar 4. 14** Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 60 CM Meshing 4 (Besar)



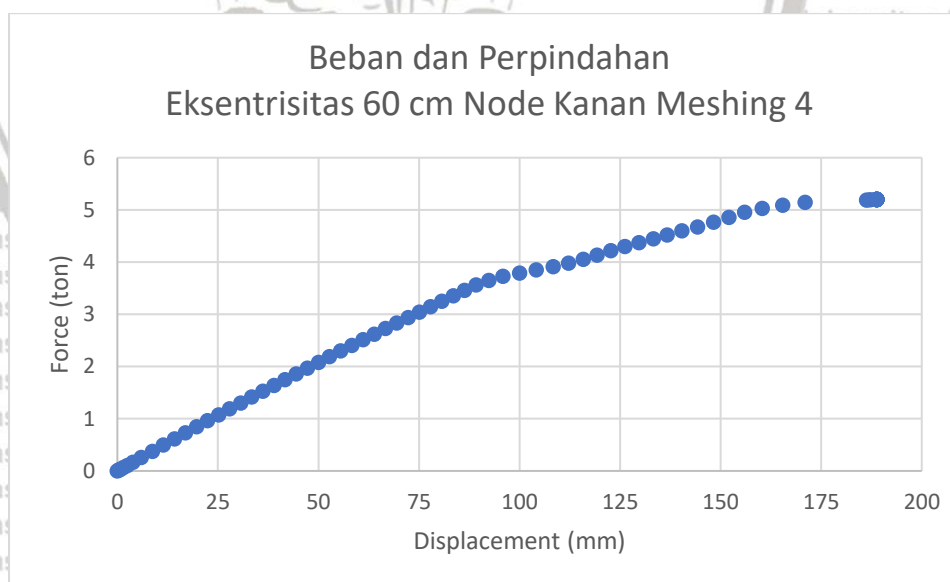
**Gambar 4. 15** Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 60 CM Meshing 4 (Besar)





Grafik 4. 4 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 60 CM Node Kiri Meshing 4 (Besar)

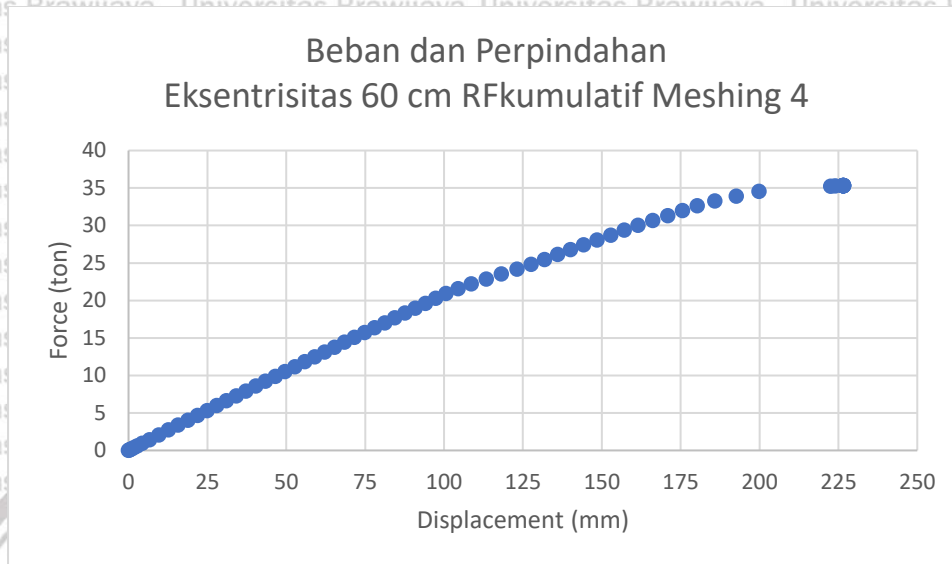
Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) pada bagian *node* kanan menghasilkan *step time* sebesar 0,5434 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kanan}}$ ) yang terjadi sebesar 188,8364 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{\text{kanan}}$ ) sebesar 5,2043 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada Grafik 4.5 sebagai berikut :



Grafik 4. 5 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 60 CM Node Kanan Meshing 4 (Besar)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) menghasilkan *step time* sebesar 0,5434 seperti yang

ditampilkan pada **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 226,5751 mm, dan gaya atau *force* kumulatif ( $RF_{kiri} + RF_{kanan}$ ) sebesar 35,3226 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.6** sebagai berikut :

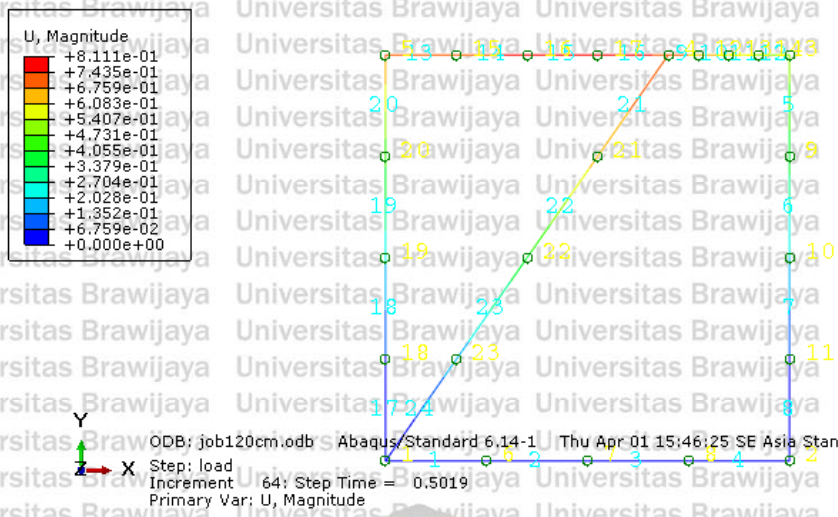


**Grafik 4. 6** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 60 CM  $RF_{kumulatif}$  Meshing 4 (Besar)

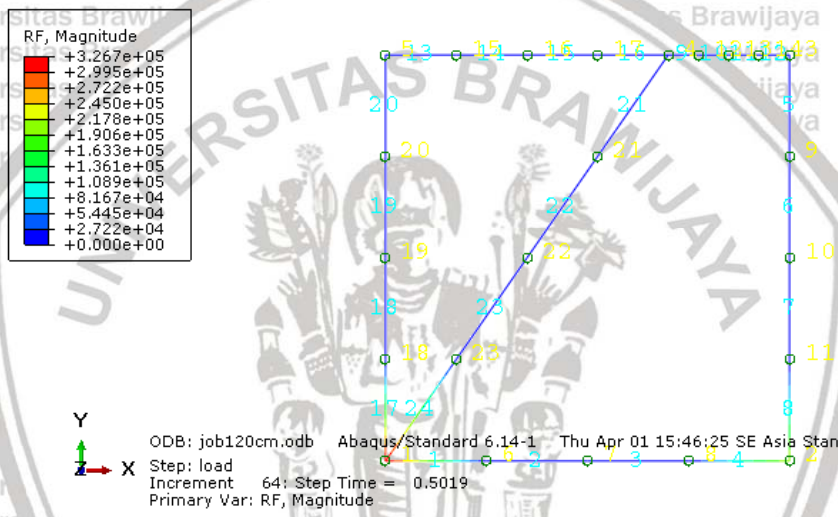
### C. Portal dengan Eksentrisitas 120 cm

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) pada bagian *node* kiri menghasilkan *step time* sebesar 0,5019 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.16** dan **Gambar 4.17**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 681,25 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kiri}$ ) sebesar 25,7603 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.7** sebagai berikut :



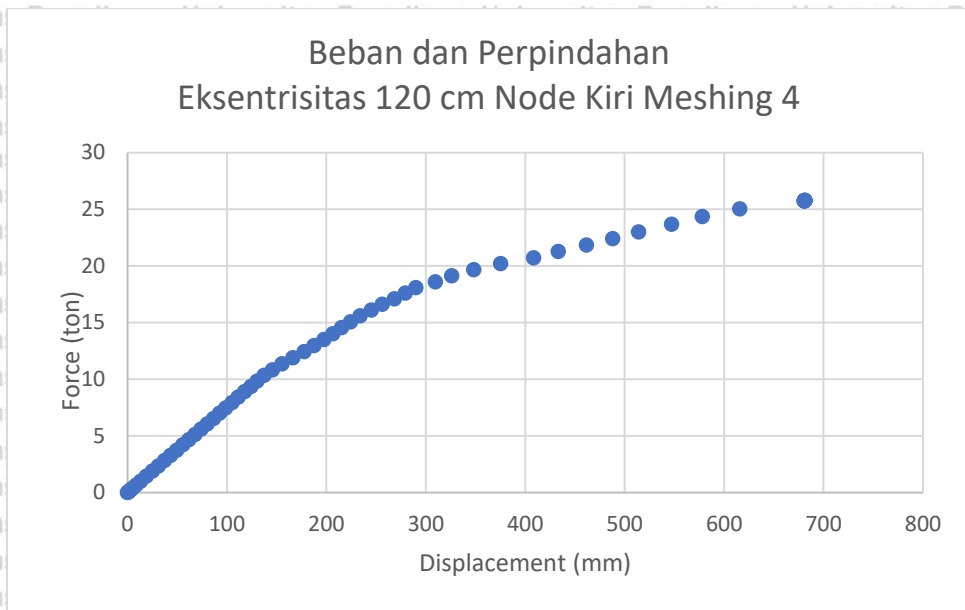


Gambar 4. 16 Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 120 CM Meshing 4 (Besar)



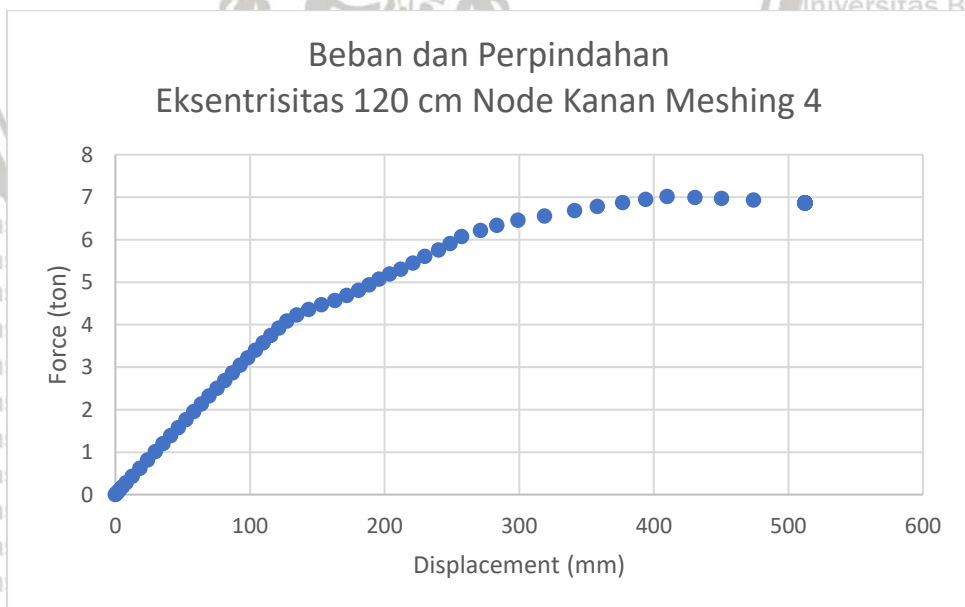
Gambar 4. 17 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 120 CM Meshing 4 (Besar)





Grafik 4.7 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 120 CM Node Kiri Meshing 4 (Besar)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) pada bagian *node* kanan menghasilkan *step time* sebesar 0,5019 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.16** dan **Gambar 4.17**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kanan}}$ ) yang terjadi sebesar 512,5350 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{\text{kanan}}$ ) sebesar 6,8618 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.8** sebagai berikut :

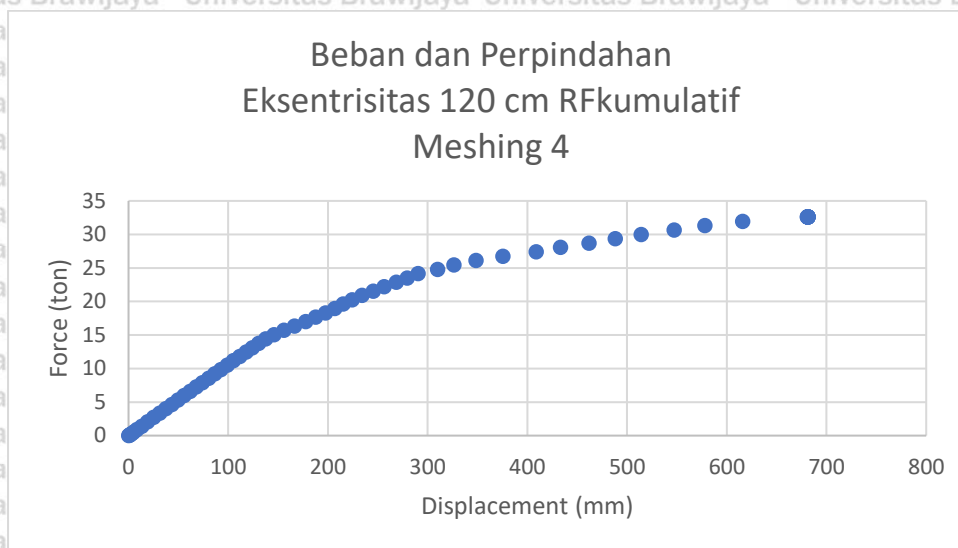


Grafik 4.8 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 120 CM Node Kanan Meshing 4 (Besar)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) menghasilkan *step time* sebesar 0,5019 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.16** dan **Gambar 4.16**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kiri}}$ ) yang terjadi



sebesar 681,25 mm, dan gaya atau *force* kumulatif ( $RF_{kiri} + RF_{kanan}$ ) sebesar 32,6222 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.9** sebagai berikut :

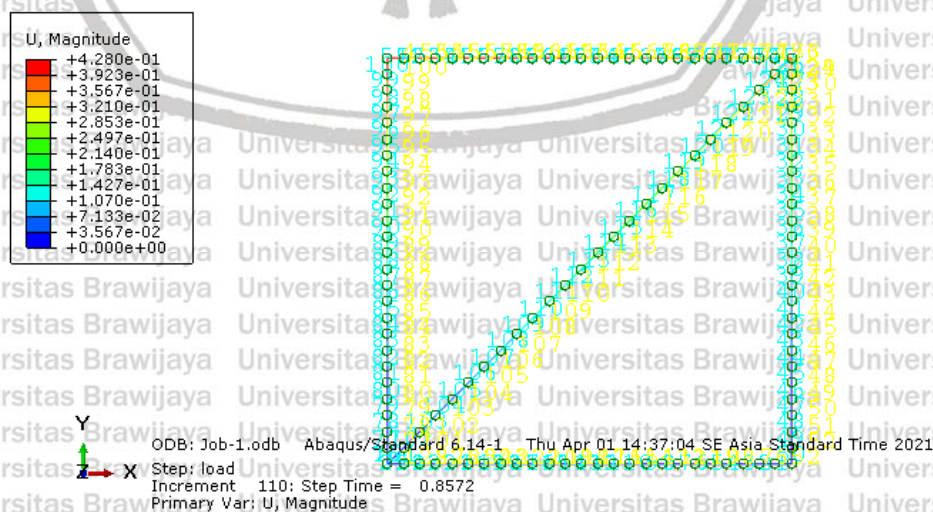


**Grafik 4. 9** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 120 CM  $RF_{kumulatif}$  Meshing 4 (Besar)

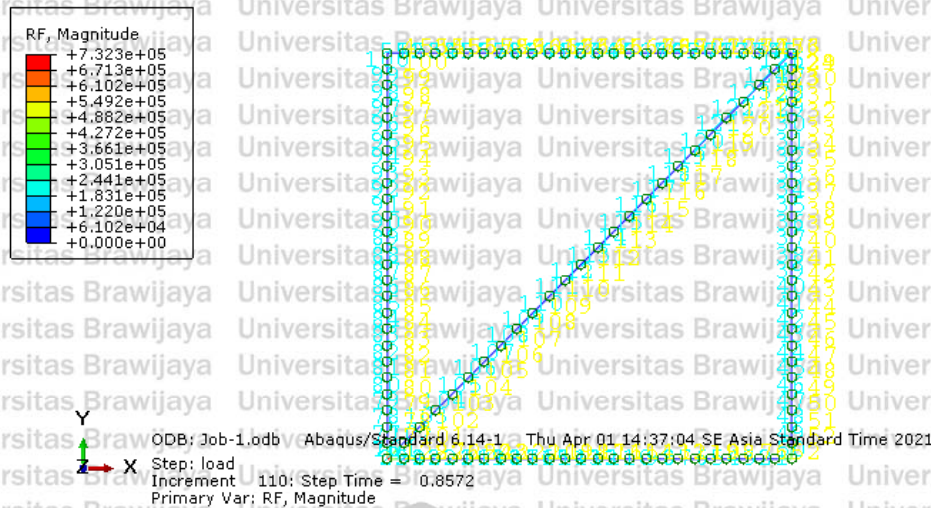
#### 4.4.2 Meshing 25

##### A. Portal dengan Eksentrisitas 0 cm (Kosentris)

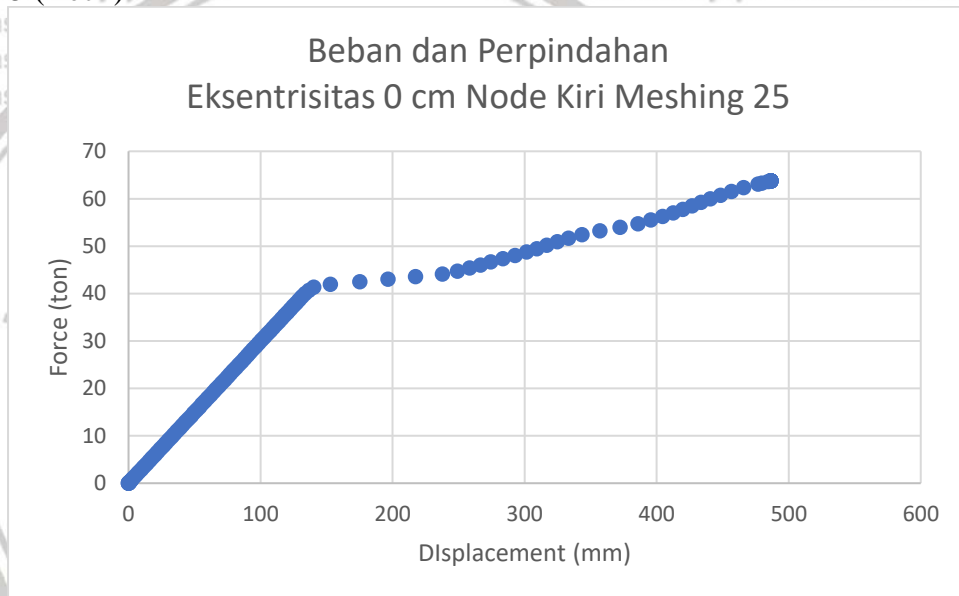
Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) pada bagian *node* kiri menghasilkan *step time* sebesar 0,8572 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 486,4933 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kiri}$ ) sebesar 63,76 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.10** sebagai berikut :



**Gambar 4. 18** Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 0 CM Meshing 25 (Kecil)



Gambar 4.19 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 0 CM Meshing 25 (Kecil)

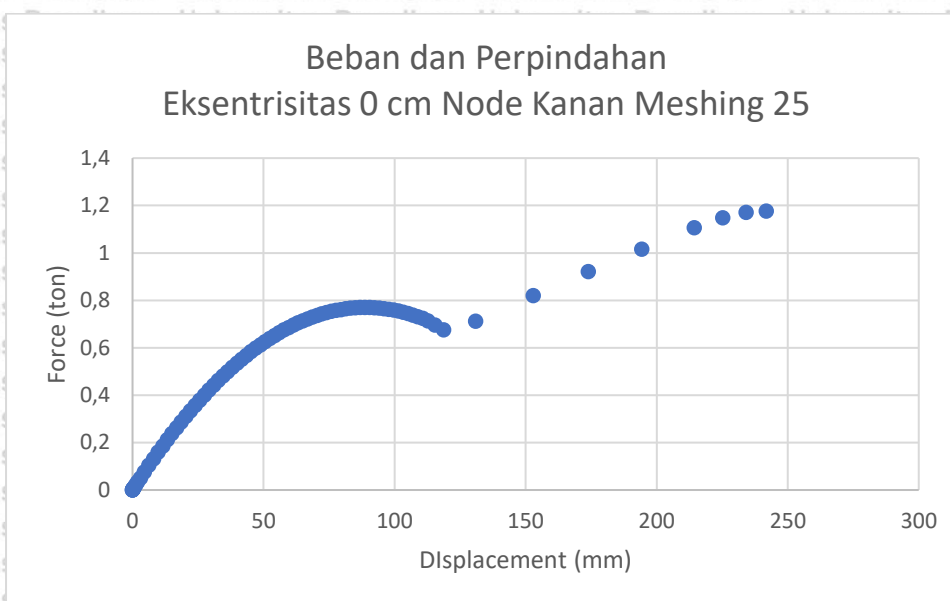


Grafik 4.10 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 0 CM Node Kiri Meshing 25 (Kecil)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) pada bagian *node* kanan menghasilkan *step time* sebesar 0,8572 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kanan}}$ ) yang terjadi sebesar 430,8397 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{\text{kanan}}$ )

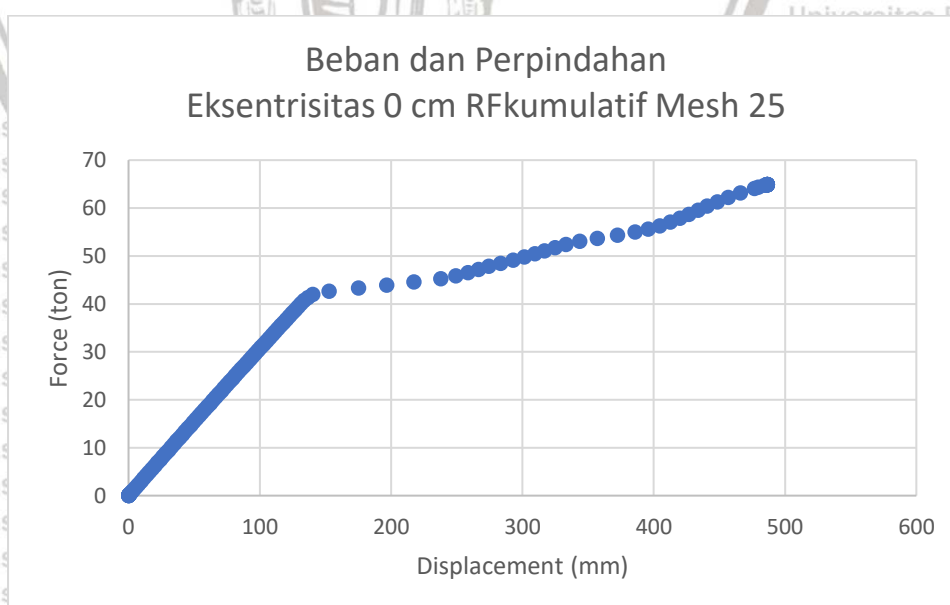


sebesar 1,1271 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.11** sebagai berikut :



**Grafik 4. 11** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 0 CM Node Kanan Meshing 25 (Kecil)

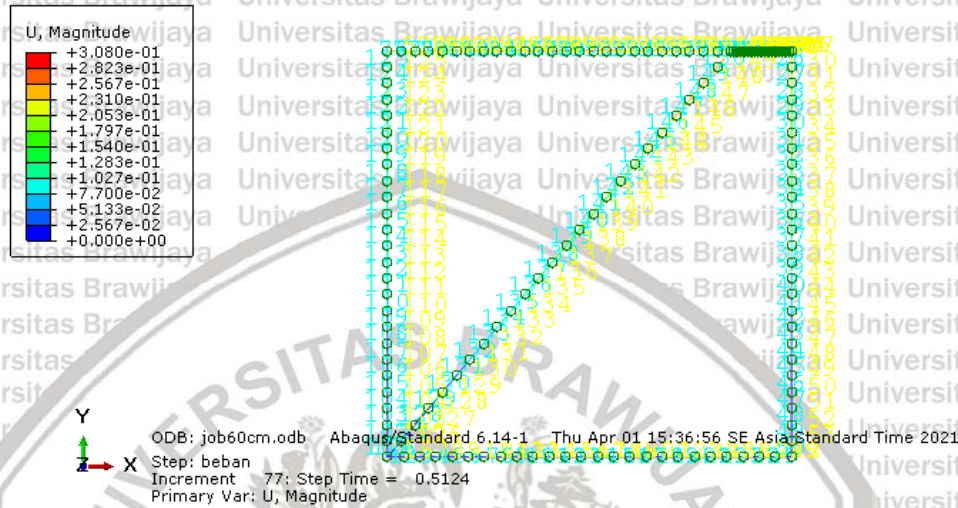
Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) menghasilkan *step time* sebesar 0,8572 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 486,4933 mm, dan gaya atau *force* kumulatif ( $RF_{kiri} + RF_{kanan}$ ) sebesar 64,8871 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.12** sebagai berikut :



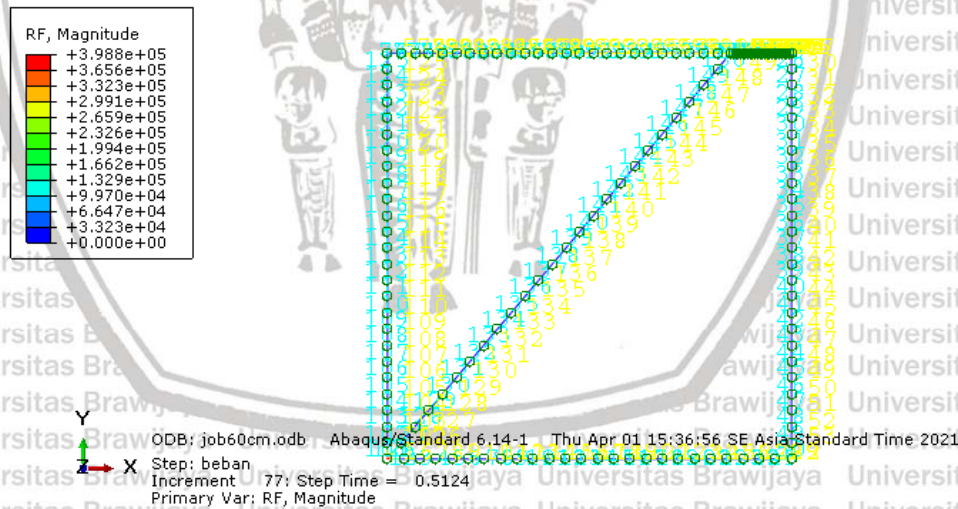
**Grafik 4. 12** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 0 CM  $RF_{kumulatif}$  Meshing 25 (Kecil)

#### B. Portal dengan Eksentrisitas 60 cm

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 60 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) pada bagian *node* kiri menghasilkan *step time* sebesar 0,5124 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.20** dan **Gambar 4.21**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kiri}}$ ) yang terjadi sebesar 196,3347 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{\text{kiri}}$ ) sebesar 28,6224 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.13** sebagai berikut :

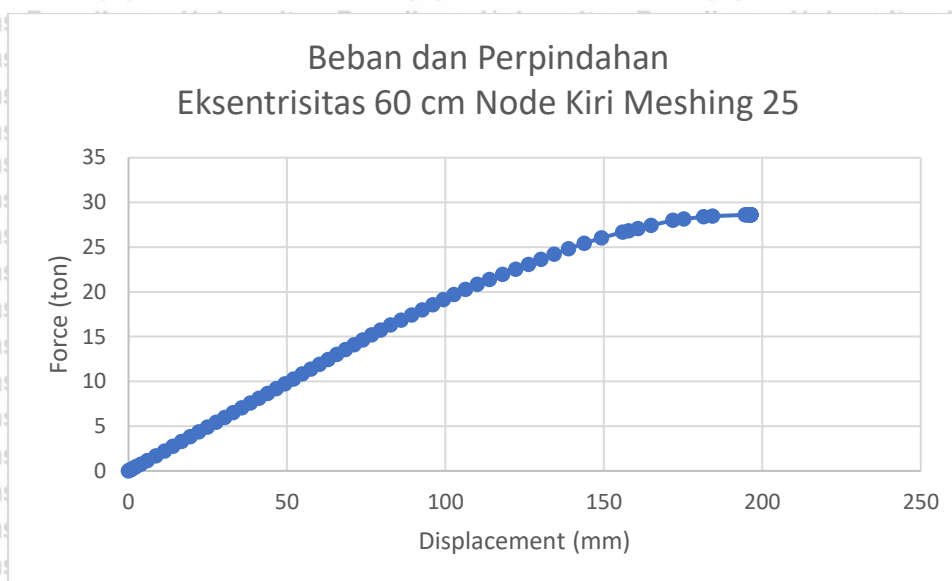


**Gambar 4. 20** Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 60 CM Meshing 25 (Kecil)



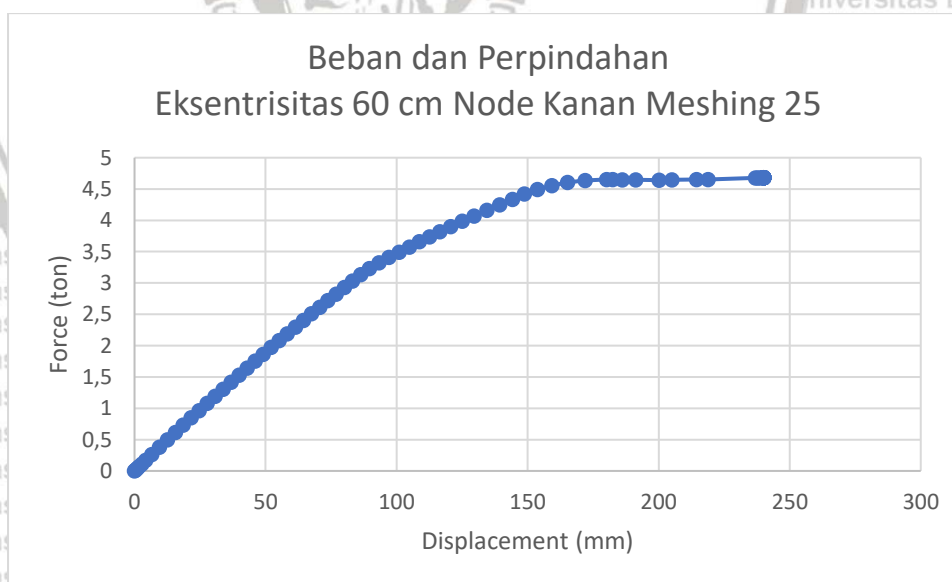
**Gambar 4. 21** Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 60 CM Meshing 25 (Kecil)





Grafik 4.13 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 60 CM Node Kiri Meshing 25 (Kecil)

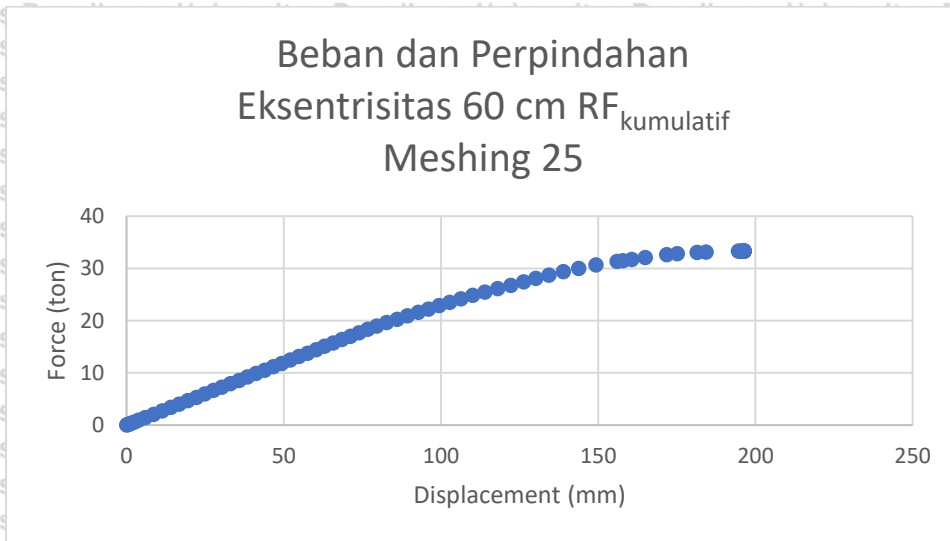
Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 60 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) pada bagian *node* kanan menghasilkan *step time* sebesar 0,5124 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kanan}}$ ) yang terjadi sebesar 240,0721 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{\text{kanan}}$ ) sebesar 4,6808 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada Grafik 4.14 sebagai berikut :



Grafik 4.14 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 60 CM Node Kanan Meshing 25 (Kecil)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 60 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) menghasilkan *step time* sebesar 0,5124 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{\text{kiri}}$ ) yang terjadi sebesar 196,3347 mm, dan gaya atau *force* kumulatif ( $RF_{\text{kiri}} + RF_{\text{kanan}}$ ) sebesar 33,3032 ton.

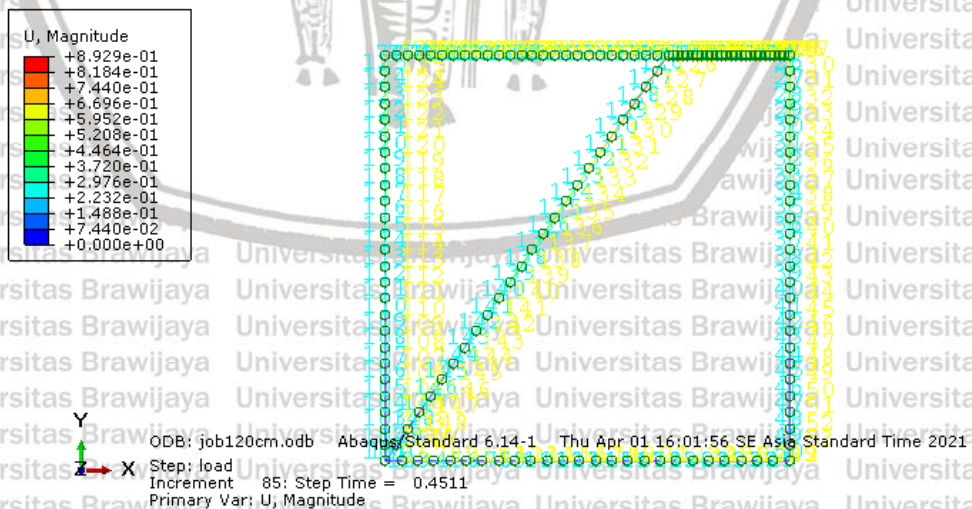
Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.14** sebagai berikut :



**Grafik 4.15** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 60 CM RF<sub>kumulatif</sub> Meshing 25 (Kecil)

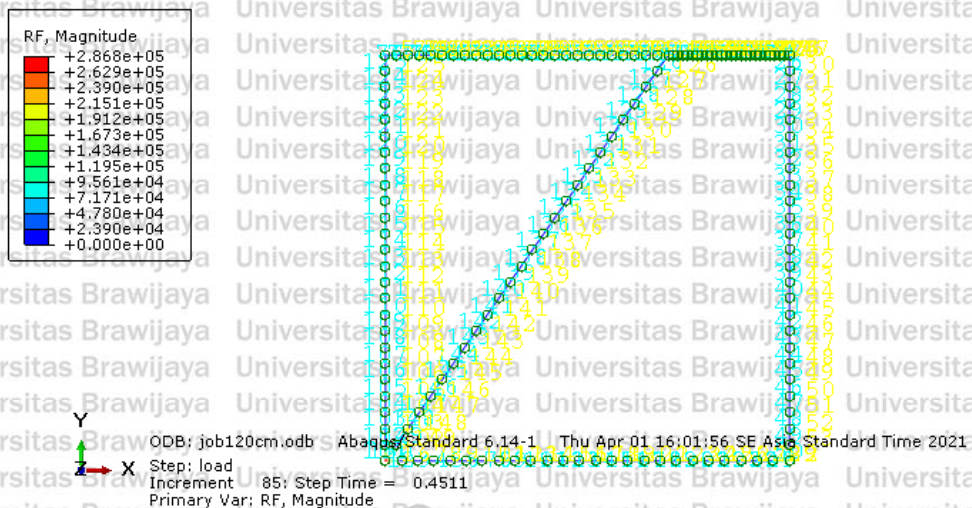
**C. Portal dengan Eksentrisitas 120 cm**

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) pada bagian *node* kiri menghasilkan *step time* sebesar 0,4511 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.23**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 746,1715 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kiri}$ ) sebesar 23,1312 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.16** sebagai berikut :

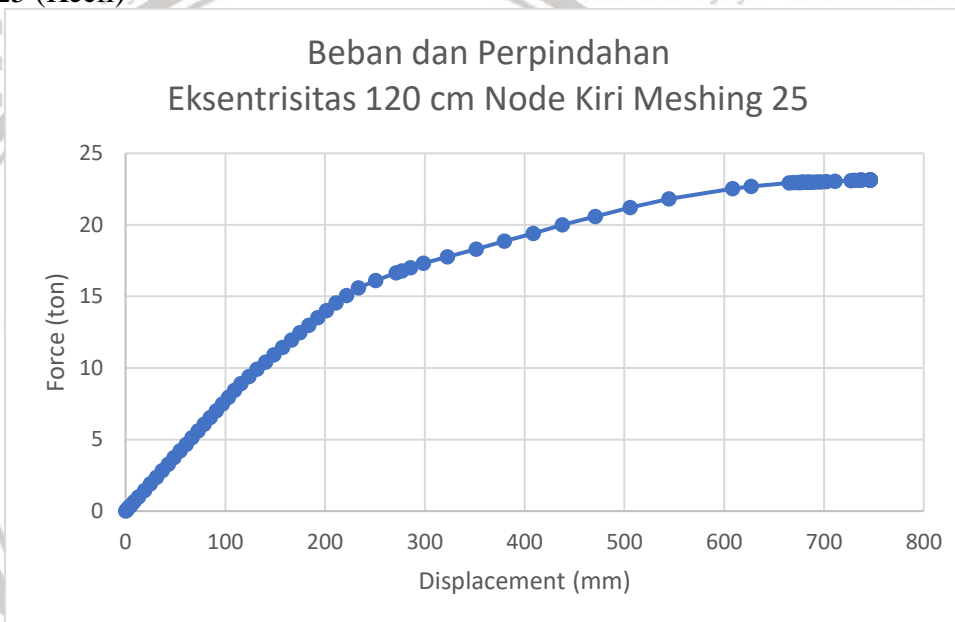


**Gambar 4.22** Output Displacement Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 120 CM Meshing 25 (Kecil)





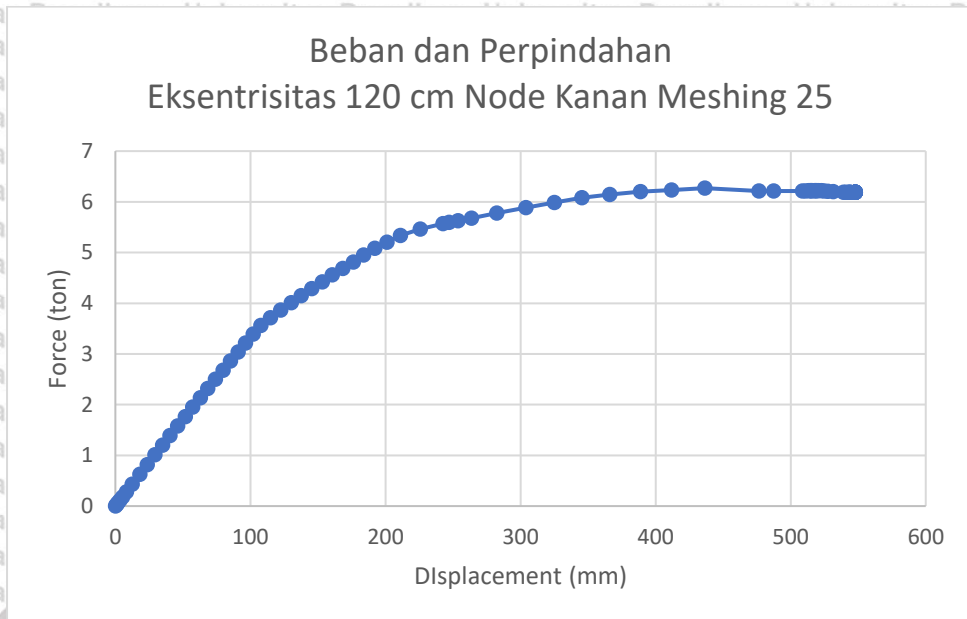
Gambar 4. 23 Output Reaction Force Pemodelan Struktur Eksentrisitas Bracing 120 CM Meshing 25 (Kecil)



Grafik 4. 16 Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 120 CM Node Kiri Meshing 25 (Kecil)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) pada bagian *node* kanan menghasilkan *step time* sebesar 0,4511 seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kanan}$ ) yang terjadi sebesar 547,7157 mm, dan gaya atau *force* ( $RF_{kanan}$ )

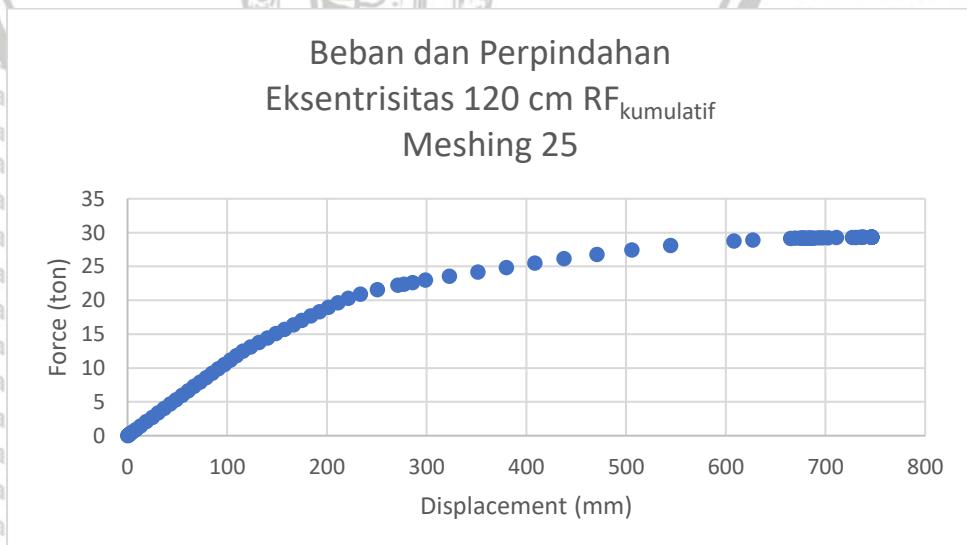
sebesar 6,1899 ton. Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.17** sebagai berikut :



**Grafik 4.17** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 120 CM Node Kanan Meshing 25 (Kecil)

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) menghasilkan *step time* sebesar 0,4511 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.23**. Perpindahan atau *displacement* ( $U_{kiri}$ ) yang terjadi sebesar 746,1715 mm, dan gaya atau *force* kumulatif ( $RF_{kiri} + RF_{kanan}$ ) sebesar 29,3211 ton.

Kurva yang menggambarkan hubungan beban dan perpindahan yang terjadi adalah seperti pada **Grafik 4.18** sebagai berikut :



**Grafik 4.18** Kurva Beban dan Perpindahan Struktur Portal Tipe Diagonal Satu Arah dengan Eksentrisitas Bracing 120 CM  $RF_{kumulatif}$  Meshing 25 (Kecil)



#### 4.5 Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas *Bracing* Akibat Beban dan Perpindahan Pada Portal *Bracing* Tipe Diagonal Satu Arah

Hasil analisis struktur portal dengan tiap variasi jarak eksentrisitas *bracing* tipe diagonal satu arah digabungkan menjadi satu kurva gabungan beban (*force*) dan perpindahan (*displacement*). Hal tersebut dilakukan agar dapat dianalisa perbandingan dan perbedaan nilai hasil dari setiap variasi eksentrisitas *bracing*, dan untuk mengetahui pengaruh jarak eksentrisitas *bracing* terhadap beban (*force*) dan perpindahan (*displacement*). Terdapat enam kurva gabungan beban dan perpindahan sebagai kurva hasil akhir, yaitu kurva gabungan beban dan perpindahan *node* kiri meshing 4, *node* kanan meshing 4,  $RF_{\text{kumulatif}}$  meshing 4, *node* kiri meshing 25, *node* kanan meshing 25, dan  $RF_{\text{kumulatif}}$  meshing 25.

##### 4.5.1 Meshing 4

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm, 60 cm, dan 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 4 (besar) menghasilkan masing-masing *step time* sebesar 0.9636, 0.5434, dan 0.5019. Perpindahan atau *displacement* (U) dan gaya atau *force* yang terjadi pada *node* kiri meshing 4 (besar), *node* kanan meshing 4 (besar) dan  $RF_{\text{kumulatif}}$  meshing 4 (besar) masing-masing ditampilkan pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4. 3

Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas *Bracing* Node Kiri Meshing 4

No.	Jarak Eksentrisitas	Perpindahan / <i>Displacement</i> ( $U_{\text{kiri}}$ )	Beban / <i>Force</i> ( $RF_{\text{kiri}}$ )
1	0 cm	486,4933	63,7600
2	60 cm	226,5751	30,1183
3	120 cm	681,2500	25,7603

Tabel 4. 4

Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas *Bracing* Node Kanan Meshing 4

No.	Jarak Eksentrisitas	Perpindahan / <i>Displacement</i> ( $U_{\text{kanan}}$ )	Beban / <i>Force</i> ( $RF_{\text{kanan}}$ )
1	0 cm	241,8431	1,1757
2	60 cm	188,8364	5,2043
3	120 cm	512,5350	6,8618

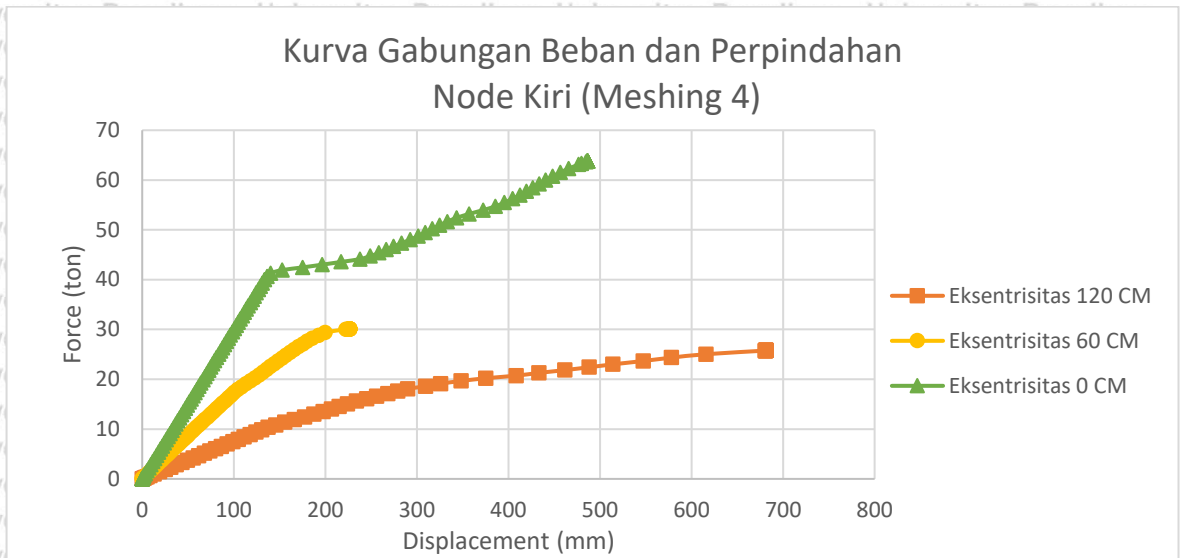
Tabel 4. 5

Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas *Bracing*  $RF_{\text{kumulatif}}$  Meshing 4

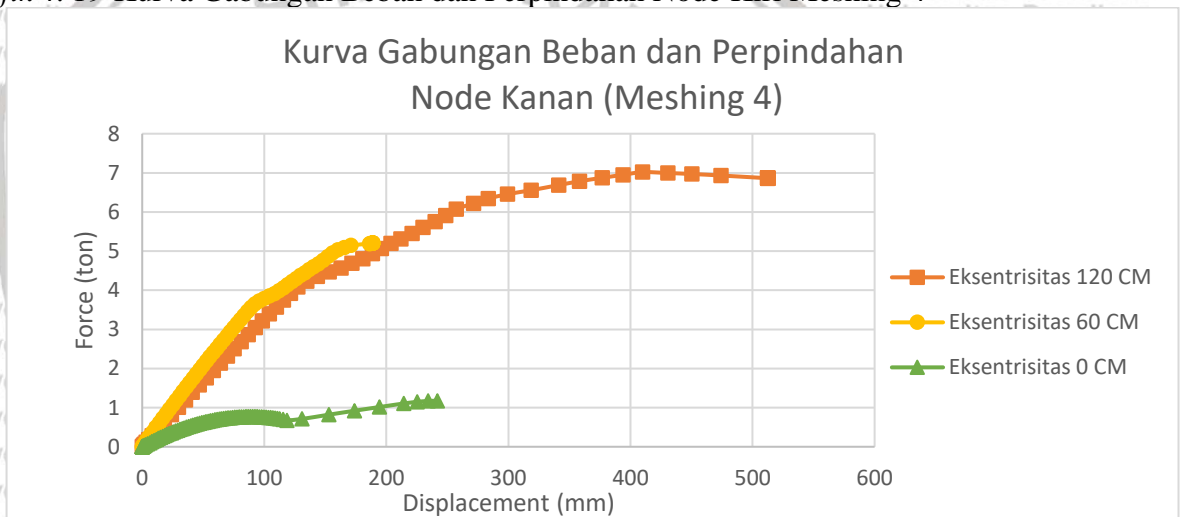
No.	Jarak Eksentrisitas	Perpindahan / <i>Displacement</i> ( $U_{\text{kiri}}$ )	Beban / <i>Force</i> ( $RF_{\text{kumulatif}}$ )
1	0 cm	486,4936	64,8871
2	60 cm	226,5751	35,3226
3	120 cm	681,2500	32,6222

Hubungan antara beban dan perpindahan yang disajikan dalam bentuk kurva gabungan beban dan perpindahan pada *node* kiri meshing 4, *node* kanan meshing 4, dan  $RF_{\text{kumulatif}}$

meshing 4 masing-masing ditampilkan pada **Grafik 4.19**, **Grafik 4.20**, dan **Grafik 4.21** sebagai berikut :

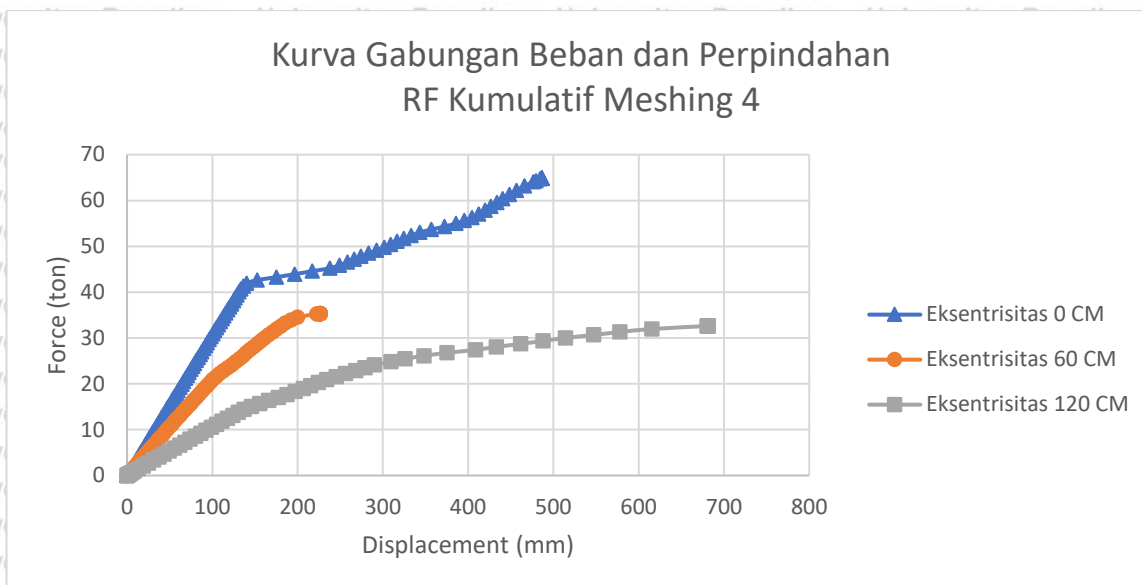


*Grafik 4.19* Kurva Gabungan Beban dan Perpindahan Node Kiri Meshing 4



*Grafik 4.20* Kurva Gabungan Beban dan Perpindahan Node Kanan Meshing 4





Grafik 4. 21 Kurva Gabungan Beban dan Perpindahan RF Kumulatif Meshing 4

#### 4.5.2 Meshing 25

Analisis struktur portal eksentrisitas *bracing* 0 cm, 60 cm, dan 120 cm tipe diagonal satu arah dengan ukuran meshing 25 (kecil) menghasilkan masing-masing *step time* sebesar 0.8572, 0.5124, dan 0.4511. Perpindahan atau *displacement* (U) dan gaya atau *force* yang terjadi pada *node* kiri meshing 25, *node* kanan meshing 25, dan RF Kumulatif meshing 25 yang masing-masing ditampilkan pada Tabel 4.6, Tabel 4.7, dan Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4. 6

Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing Node Kiri Meshing 25

No.	Jarak Eksentrisitas	Perpindahan / Displacement ( $U_{\text{kiri}}$ )	Beban / Force (RF <sub>kiri</sub> )
1	0 cm	486,4933	63,7600
2	60 cm	196,3347	28,6224
3	120 cm	746,1715	23,1312

Tabel 4. 7

Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing Node Kanan Meshing 25

No.	Jarak Eksentrisitas	Perpindahan / Displacement ( $U_{\text{kanan}}$ )	Beban / Force (RF <sub>kanan</sub> )
1	0 cm	241,8431	1,1757
2	60 cm	240,0721	4,6808
3	120 cm	547,7157	6,1899

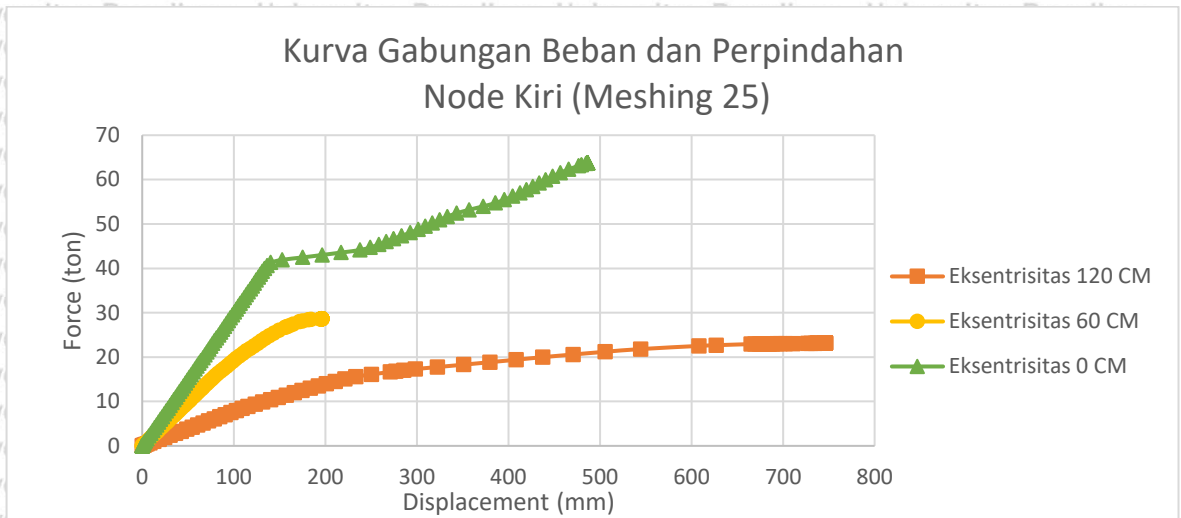
Tabel 4. 8

Nilai Beban dan Perpindahan Pemodelan Tiga Variasi Eksentrisitas Bracing RF Kumulatif Meshing 25

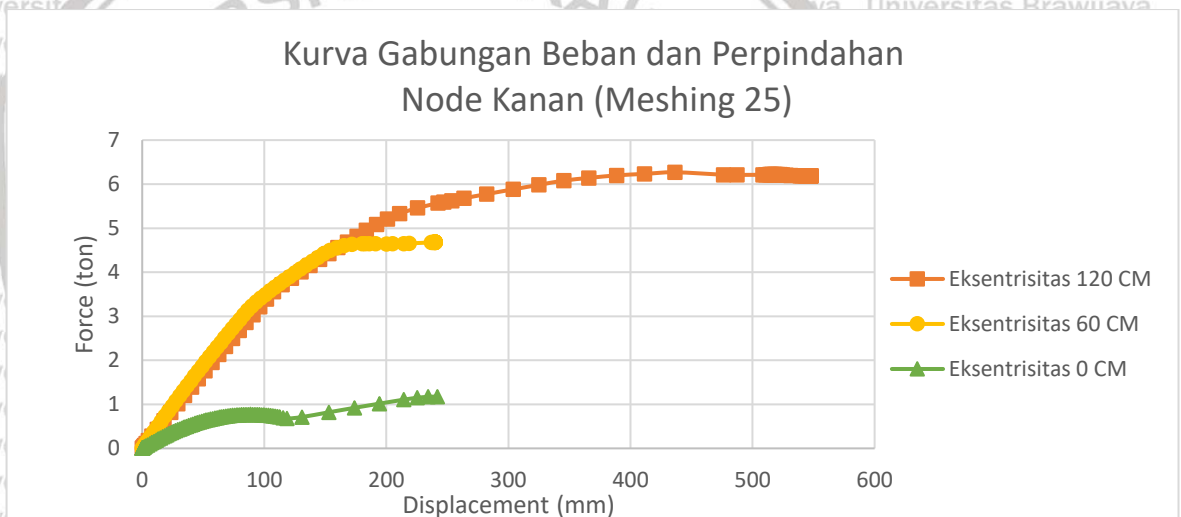
No.	Jarak Eksentrisitas	Perpindahan / Displacement ( $U_{\text{kiri}}$ )	Beban / Force (RF <sub>kumulatif</sub> )
1	0 cm	486,4933	64,8871
2	60 cm	196,3347	33,3032
3	120 cm	746,1715	29,3211

Hubungan antara beban dan perpindahan yang disajikan dalam bentuk kurva gabungan beban dan perpindahan pada *node* kiri meshing 25, *node* kanan meshing 25, dan RF

Kumulatif meshing 25 yang masing-masing ditampilkan pada **Grafik 4.22**, **Grafik 4.23**, dan **Grafik 4.24** sebagai berikut :

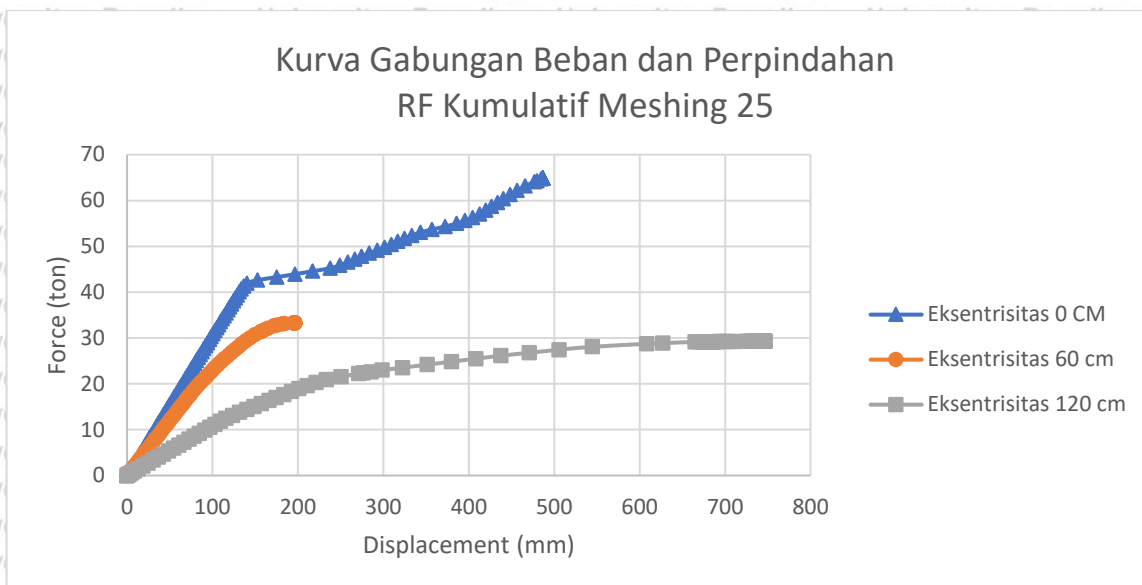


**Grafik 4. 22** Kurva Gabungan Beban dan Perpindahan Node Kiri Meshing 25



**Grafik 4. 23** Kurva Gabungan Beban dan Perpindahan Node Kanan Meshing 25





Grafik 4.24 Kurva Gabungan Beban dan Perpindahan RF Kumulatif Meshing 25

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Struktur portal dengan tiga variasi jarak eksentrisitas *bracing* tipe diagonal satu arah yang telah dianalisis menggunakan *software ABAQUS Student Edition* menghasilkan beberapa poin kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil percobaan *input* beban yang dilakukan pada struktur portal dengan eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) tipe diagonal satu arah yang diasumsikan sebagai struktur portal terkuat dalam penelitian ini karena menghasilkan nilai perpindahan yang terkecil. Hasil percobaan *input* beban tersebut menunjukkan bahwa struktur mengalami keruntuhan (*aborted*) di *software ABAQUS Student Edition* saat mencapai beban 65 ton. Maka, beban tersebut dijadikan acuan untuk menganalisis variasi eksentrisitas *bracing* 60 cm dan 120 cm. Beban 65 ton tersebut di-*input* pada bagian *node* kiri atas karena *node* tersebut merupakan titik yang mengalami perpindahan (*displacement*) terbesar.
2. Hasil nilai beban atau *force* ( $RF_{\text{kumulatif}}$ ) yang terjadi pada masing-masing jenis variasi *meshing* dan eksentrisitas *bracing* pada pemodelan struktur portal tipe diagonal satu arah dapat ditarik kesimpulan bahwa yang menghasilkan nilai beban atau *force* ( $RF_{\text{kumulatif}}$ ) terkecil adalah struktur portal dengan variasi eksentrisitas *bracing* 120 cm. Sedangkan, pemodelan struktur portal yang memiliki nilai beban terbesar adalah struktur portal dengan variasi eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris).



3. Hasil nilai perpindahan (*displacement*) yang terjadi pada masing-masing jenis variasi *meshing* dan eksentrisitas *bracing* pada pemodelan struktur portal tipe diagonal satu arah dapat ditarik kesimpulan bahwa yang menghasilkan nilai perpindahan (*displacement*) terkecil adalah struktur portal dengan variasi eksentrisitas *bracing* 60 cm. Sedangkan, pemodelan struktur portal yang memiliki nilai perpindahan (*displacement*) terbesar adalah struktur portal dengan variasi eksentrisitas *bracing* 120 cm.
4. Nilai perpindahan (*displacement*) dan beban (*force*) yang dihasilkan dari analisis pemodelan dengan eksentrisitas *bracing* tipe diagonal satu arah dapat disimpulkan bahwa struktur portal tipe diagonal satu arah dengan eksentrisitas *bracing* 0 cm (kosentris) merupakan struktur portal yang terkuat dalam penelitian ini.
5. Ukuran *meshing* 25 (kecil) menghasilkan nilai perpindahan yang lebih besar dari ukuran *meshing* 4 (besar) pada jenis pemodelan dengan variasi eksentrisitas *bracing* yang sama. Sedangkan, nilai beban atau *force* yang dihasilkan oleh *meshing* 25 lebih kecil daripada hasil ukuran *meshing* 4. Meninjau nilai perpindahan (*displacement*) dan beban (*force*) yang dihasilkan oleh dua ukuran *meshing* tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil atau rapat ukuran *meshing* maka akan semakin akurat hasil analisis yang didapatkan dari pemodelan struktur menggunakan *software ABAQUS Student Edition*.

## 5.2. Saran

Dari penelitian ini dapat dihasilkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pemilihan ukuran profil pada Tabel Baja Ir. Morisco diharapkan memperhatikan detail ukuran yang akan digunakan untuk menghindari kesalahan seperti nilai ukuran profil yang tertukar.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi eksentrisitas yang berbeda dengan jangkauan jarak yang lebih besar agar dapat dianalisis perbedaan yang terjadi pada *bracing*.





(Halaman sengaja dikosongkan)



## DAFTAR PUSTAKA

- Hutahaean, S. G. (2016). Kajian Pemakaian Shear Wall dan Bracing pada Gedung Bertingkat. *Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2(4), 100–111.
- M. Q.U.Z. Khan, A. Ahmad, F. Tahir (2016). Effect Of Shape Of Shear Wall On Performance Of Mid-Rise Buildings Under Seismic Loading. *Technical Journal, University of Engineering and Technology (UET) Taxila, Pakistan*.
- S. Chan (2001). *Non-linear behavior and design of steel structures. Journal of Constructional Steel Research*. 57(12), 1217-1231.
- Somasekharaiah, H M; B, Madhu Sudhana Y; S, Muddasar Basha (2008). *A Comparative Study on Lateral Force Resisting System For Seismic Loads*. 1138-1144
- Bosco, Melina; Marino, Edoardo; Paolo, Pier (2015). *Modelling of steel link beams of short, intermediate or long length*. 84, 406-418.
- Hosford, W. F. (2010). *Iron Willed , Iron Fisted , Iron Clad , Iron Curtain ,* (Issue 1993).
- Mustafa, B. (2010). Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera Barat Dan Kesamaannya Yang Tidak Menimbulkan Tsunami. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 2(1), 44–50. <https://doi.org/10.25077/jif.2.1.44-50.2010>
- Mulyati. (2014). Mekanika Bahan, Tegangan dan Regangan. *Chemical Engineering, c*, 1–20.
- Kasai, K., & Popov, E. P. (1986). A study of seismically resistant eccentrically braced steel frame systems. *Journal of Structural Engineering*, 121(11), 1574–1580.
- Chegeni, B., & Mohebkhah, A. (2014). Rotation capacity improvement of long link beams in eccentrically braced frames. *Scientia Iranica*, 21(3), 516–524.
- Sutisna, S. A., Iryanti, M., & Utama, J. A. (2018). Penentuan Seismisitas Gempa Bumi Berdasarkan Hubungan Intensitas Gempa dan Magnitudo Gempa di Daerah Provinsi Jawa Barat. *Pendidikan Seminar Nasional Fisika (SINAFI)*, 253–257.
- Auliya, H., Purboningrum, S. T., Lie, H. A., & Indarto, H. (2014). Kajian Portal Baja SRPMB (Elastis) dan Portal Baja SRPMK (Daktail) Berdasarkan SNI 03-1726-2012, 1098–1108.
- Syauqi, M., Suryanita, R., Djauhari, Z., Jurusan, M., Sipil, T., Jurusan, D., Dosen, & Sipil, J. T. (2017). Respon Struktur Portal Baja Akibat Beban Gempa Dengan Analisis Riwayat Waktu Nonlinier. 4(2), 2–7.



## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Data Hasil Analisis Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm

Tabel L.1.1

Time, Beban ( $RF_1$ ), dan Perpindahan ( $U_1$ ) pada Eksentrisitas 0 cm Meshing 4

Time	$RF_1$ (Force)		$U_1$ (Displacement)	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
0	0	0	0	0
0,0001	0,0062	0,0003	0,0208	0,0175
0,0002	0,0124	0,0006	0,0415	0,0350
0,0003	0,0217	0,0010	0,0727	0,0612
0,0006	0,0357	0,0017	0,1194	0,1006
0,0009	0,0566	0,0027	0,1896	0,1596
0,0014	0,0880	0,0042	0,2947	0,2482
0,0022	0,1351	0,0065	0,4525	0,3810
0,0033	0,2057	0,0099	0,6892	0,5803
0,0050	0,3117	0,0150	1,0442	0,8793
0,0076	0,4707	0,0225	1,5768	1,3278
0,0114	0,7093	0,0339	2,3759	2,0008
0,0172	1,0673	0,0507	3,5748	3,0105
0,0258	1,6046	0,0756	5,3742	4,5259
0,0358	2,2263	0,1039	7,4557	6,2791
0,0458	2,8485	0,1317	9,5388	8,0336
0,0558	3,4713	0,1589	11,6233	9,7896
0,0658	4,0946	0,1856	13,7094	11,5469
0,0758	4,7185	0,2117	15,7971	13,3058
0,0858	5,3429	0,2373	17,8864	15,0661
0,0958	5,9679	0,2623	19,9772	16,8278
0,1058	6,5935	0,2867	22,0698	18,5911
0,1158	7,2196	0,3106	24,1639	20,3559
0,1258	7,8463	0,3339	26,2597	22,1222
0,1358	8,4736	0,3566	28,3573	23,8900
0,1458	9,1015	0,3787	30,4565	25,6594
0,1558	9,7300	0,4002	32,5574	27,4303
0,1658	10,3590	0,4212	34,6600	29,2028
0,1758	10,9887	0,4415	36,7644	30,9769
0,1858	11,6189	0,4613	38,8705	32,7526
0,1958	12,2497	0,4805	40,9783	34,5298
0,2058	12,8812	0,4990	43,0880	36,3086
0,2158	13,5132	0,5170	45,1994	38,0891
0,2258	14,1458	0,5344	47,3126	39,8711
0,2358	14,7790	0,5512	49,4277	41,6548
0,2458	15,4129	0,5673	51,5446	43,4402
0,2558	16,0473	0,5829	53,6633	45,2271
0,2658	16,6823	0,5979	55,7839	47,0157





0,2758	17,3180	0,6122	57,9063	48,8060
0,2858	17,9543	0,6260	60,0306	50,5979
0,2958	18,5911	0,6391	62,1568	52,3915
0,3058	19,2286	0,6516	64,2850	54,1868
0,3158	19,8667	0,6635	66,4150	55,9838
0,3258	20,5055	0,6747	68,5470	57,7825
0,3358	21,1448	0,6854	70,6810	59,5829
0,3458	21,7848	0,6954	72,8169	61,3850
0,3558	22,4254	0,7048	74,9548	63,1888
0,3658	23,0666	0,7136	77,0947	64,9944
0,3758	23,7085	0,7217	79,2366	66,8017
0,3858	24,3509	0,7293	81,3806	68,6108
0,3958	24,9941	0,7361	83,5266	70,4216
0,4058	25,6378	0,7424	85,6747	72,2342
0,4158	26,2822	0,7480	87,8248	74,0486
0,4258	26,9272	0,7530	89,9771	75,8648
0,4358	27,5729	0,7573	92,1315	77,6827
0,4458	28,2192	0,7610	94,2880	79,5025
0,4558	28,8661	0,7641	96,4466	81,3241
0,4658	29,5137	0,7665	98,6075	83,1475
0,4758	30,1620	0,7682	100,7705	84,9728
0,4858	30,8109	0,7693	102,9358	86,7999
0,4958	31,4604	0,7698	105,1033	88,6289
0,5058	32,1106	0,7696	107,2730	90,4597
0,5158	32,7615	0,7687	109,4451	92,2925
0,5258	33,4130	0,7672	111,6194	94,1271
0,5358	34,0652	0,7650	113,7960	95,9636
0,5458	34,7180	0,7622	115,9750	97,8020
0,5558	35,3715	0,7587	118,1563	99,6424
0,5658	36,0257	0,7545	120,3400	101,4847
0,5758	36,6805	0,7497	122,5262	103,3289
0,5858	37,3360	0,7442	124,7147	105,1751
0,5958	37,9922	0,7380	126,9058	107,0233
0,6058	38,6490	0,7312	129,0993	108,8735
0,6158	39,3066	0,7237	131,2953	110,7256
0,6258	39,9670	0,7133	133,6234	112,7097
0,6358	40,6347	0,6958	136,6453	115,3886
0,6458	41,3046	0,6756	140,2987	118,6992
0,6558	41,9189	0,7114	152,8085	130,8773
0,6658	42,4602	0,8200	175,1975	152,9254
0,6758	43,0098	0,9204	196,5028	173,8611
0,6858	43,5648	1,0154	217,3805	194,3422
0,6958	44,1238	1,1065	237,7946	214,3345
0,7058	44,7317	1,1485	249,1305	225,2663
0,7158	45,3600	1,1702	258,4059	234,1379
0,7258	46,0046	1,1757	266,5160	241,8431



0,7358	46,6551	1,1751	274,4531	249,3703
0,7458	47,3340	1,1463	283,4703	257,6109
0,7558	48,0424	1,0878	292,8869	265,9444
0,7658	48,7526	1,0277	301,5354	273,5426
0,7758	49,4660	0,9642	309,3493	280,3466
0,7858	50,1835	0,8968	316,8280	286,8243
0,7958	50,9113	0,8189	324,7948	293,7408
0,8058	51,6476	0,7326	333,1799	301,0318
0,8158	52,4121	0,6181	343,5147	309,8366
0,8258	53,1904	0,4898	356,9742	321,3940
0,8358	53,9649	0,3651	372,3902	334,7155
0,8458	54,7326	0,2549	385,8854	346,2772
0,8558	55,4801	0,1502	395,6749	354,4589
0,8658	56,2366	0,0437	404,5478	361,7935
0,8758	56,9915	0,0612	412,6373	368,4802
0,8858	57,7271	0,1469	419,8013	374,5312
0,8958	58,4665	0,2362	426,7840	380,4032
0,9058	59,2115	0,3313	433,7206	386,1959
0,9158	59,9667	0,4364	440,5398	391,8078
0,9258	60,7415	0,5613	448,4268	398,3699
0,9358	61,5235	0,6933	456,6845	405,2525
0,9458	62,3123	0,8320	465,9912	413,0786
0,9558	63,1085	0,9781	476,7310	422,2366
0,9583	63,3114	1,0186	479,6874	424,8258
0,9621	63,6330	1,0964	484,5640	429,1342
0,9635	63,7543	1,1264	486,4723	430,8228
0,9635	63,7567	1,1267	486,4811	430,8299
0,9636	63,7576	1,1268	486,4844	430,8326
0,9636	63,7590	1,1270	486,4894	430,8366
0,9636	63,7595	1,1270	486,4913	430,8381
0,9636	63,7597	1,1270	486,4920	430,8387
0,9636	63,7600	1,1271	486,4930	430,8395
0,9636	63,7600	1,1271	486,4931	430,8396
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8396
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4933	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4933	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4933	430,8397

Tabel L.1.2

*Time*, *Beban (RF<sub>1</sub>)*, dan *Perpindahan (U<sub>1</sub>)* pada Eksentrisitas 0 cm *Meshing* 25

Time	RF1 ( <i>Force</i> )		U1 ( <i>Displacement</i> )	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
0	0	0	0	0





0,0001	0,0062	0,0003	0,0208	0,0175
0,0002	0,0124	0,0006	0,0415	0,0350
0,0003	0,0217	0,0010	0,0727	0,0612
0,0006	0,0357	0,0017	0,1194	0,1006
0,0009	0,0566	0,0027	0,1896	0,1596
0,0014	0,0880	0,0042	0,2947	0,2482
0,0022	0,1351	0,0065	0,4525	0,3810
0,0033	0,2057	0,0099	0,6892	0,5803
0,0050	0,3117	0,0150	1,0442	0,8793
0,0076	0,4707	0,0225	1,5768	1,3278
0,0114	0,7093	0,0339	2,3759	2,0008
0,0172	1,0673	0,0507	3,5748	3,0105
0,0258	1,6046	0,0756	5,3742	4,5259
0,0358	2,2263	0,1039	7,4557	6,2791
0,0458	2,8485	0,1317	9,5388	8,0336
0,0558	3,4713	0,1589	11,6233	9,7896
0,0658	4,0946	0,1856	13,7094	11,5469
0,0758	4,7185	0,2117	15,7971	13,3058
0,0858	5,3429	0,2373	17,8864	15,0661
0,0958	5,9679	0,2623	19,9772	16,8278
0,1058	6,5935	0,2867	22,0698	18,5911
0,1158	7,2196	0,3106	24,1639	20,3559
0,1258	7,8463	0,3339	26,2597	22,1222
0,1358	8,4736	0,3566	28,3573	23,8900
0,1458	9,1015	0,3787	30,4565	25,6594
0,1558	9,7300	0,4002	32,5574	27,4303
0,1658	10,3590	0,4212	34,6600	29,2028
0,1758	10,9887	0,4415	36,7644	30,9769
0,1858	11,6189	0,4613	38,8705	32,7526
0,1958	12,2497	0,4805	40,9783	34,5298
0,2058	12,8812	0,4990	43,0880	36,3086
0,2158	13,5132	0,5170	45,1994	38,0891
0,2258	14,1458	0,5344	47,3126	39,8711
0,2358	14,7790	0,5512	49,4277	41,6548
0,2458	15,4129	0,5673	51,5446	43,4402
0,2558	16,0473	0,5829	53,6633	45,2271
0,2658	16,6823	0,5979	55,7839	47,0157
0,2758	17,3180	0,6122	57,9063	48,8060
0,2858	17,9543	0,6260	60,0306	50,5979
0,2958	18,5911	0,6391	62,1568	52,3915
0,3058	19,2286	0,6516	64,2850	54,1868
0,3158	19,8667	0,6635	66,4150	55,9838
0,3258	20,5055	0,6747	68,5470	57,7825
0,3358	21,1448	0,6854	70,6810	59,5829
0,3458	21,7848	0,6954	72,8169	61,3850
0,3558	22,4254	0,7048	74,9548	63,1888





0,3658	23,0666	0,7136	77,0947	64,9944
0,3758	23,7085	0,7217	79,2366	66,8017
0,3858	24,3509	0,7293	81,3806	68,6108
0,3958	24,9941	0,7361	83,5266	70,4216
0,4058	25,6378	0,7424	85,6747	72,2342
0,4158	26,2822	0,7480	87,8248	74,0486
0,4258	26,9272	0,7530	89,9771	75,8648
0,4358	27,5729	0,7573	92,1315	77,6827
0,4458	28,2192	0,7610	94,2880	79,5025
0,4558	28,8661	0,7641	96,4466	81,3241
0,4658	29,5137	0,7665	98,6075	83,1475
0,4758	30,1620	0,7682	100,7705	84,9728
0,4858	30,8109	0,7693	102,9358	86,7999
0,4958	31,4604	0,7698	105,1033	88,6289
0,5058	32,1106	0,7696	107,2730	90,4597
0,5158	32,7615	0,7687	109,4451	92,2925
0,5258	33,4130	0,7672	111,6194	94,1271
0,5358	34,0652	0,7650	113,7960	95,9636
0,5458	34,7180	0,7622	115,9750	97,8020
0,5558	35,3715	0,7587	118,1563	99,6424
0,5658	36,0257	0,7545	120,3400	101,4847
0,5758	36,6805	0,7497	122,5262	103,3289
0,5858	37,3360	0,7442	124,7147	105,1751
0,5958	37,9922	0,7380	126,9058	107,0233
0,6058	38,6490	0,7312	129,0993	108,8735
0,6158	39,3066	0,7237	131,2953	110,7256
0,6258	39,9670	0,7133	133,6234	112,7097
0,6358	40,6347	0,6958	136,6453	115,3886
0,6458	41,3046	0,6756	140,2987	118,6992
0,6558	41,9189	0,7114	152,8085	130,8773
0,6658	42,4602	0,8200	175,1975	152,9254
0,6758	43,0098	0,9204	196,5028	173,8611
0,6858	43,5648	1,0154	217,3805	194,3422
0,6958	44,1238	1,1065	237,7946	214,3345
0,7058	44,7317	1,1485	249,1305	225,2663
0,7158	45,3600	1,1702	258,4059	234,1379
0,7258	46,0046	1,1757	266,5160	241,8431
0,7358	46,6551	1,1751	274,4531	249,3703
0,7458	47,3340	1,1463	283,4703	257,6109
0,7558	48,0424	1,0878	292,8869	265,9444
0,7658	48,7526	1,0277	301,5354	273,5426
0,7758	49,4660	0,9642	309,3493	280,3466
0,7858	50,1835	0,8968	316,8280	286,8243
0,7958	50,9113	0,8189	324,7948	293,7408
0,8058	51,6476	0,7326	333,1799	301,0318
0,8158	52,4121	0,6181	343,5147	309,8366



0,8258	53,1904	0,4898	356,9742	321,3940
0,8358	53,9649	0,3651	372,3902	334,7155
0,8458	54,7326	0,2549	385,8854	346,2772
0,8558	55,4801	0,1502	395,6749	354,4589
0,8658	56,2366	0,0437	404,5478	361,7935
0,8758	56,9915	0,0612	412,6373	368,4802
0,8858	57,7271	0,1469	419,8013	374,5312
0,8958	58,4665	0,2362	426,7840	380,4032
0,9058	59,2115	0,3313	433,7206	386,1959
0,9158	59,9667	0,4364	440,5398	391,8078
0,9258	60,7415	0,5613	448,4268	398,3699
0,9358	61,5235	0,6933	456,6845	405,2525
0,9458	62,3123	0,8320	465,9912	413,0786
0,9558	63,1085	0,9781	476,7310	422,2366
0,9583	63,3114	1,0186	479,6874	424,8258
0,9621	63,6330	1,0964	484,5640	429,1342
0,9635	63,7543	1,1264	486,4723	430,8228
0,9635	63,7567	1,1267	486,4811	430,8299
0,9636	63,7576	1,1268	486,4844	430,8326
0,9636	63,7590	1,1270	486,4894	430,8366
0,9636	63,7595	1,1270	486,4913	430,8381
0,9636	63,7597	1,1270	486,4920	430,8387
0,9636	63,7600	1,1271	486,4930	430,8395
0,9636	63,7600	1,1271	486,4931	430,8396
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8396
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4932	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4933	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4933	430,8397
0,9636	63,7600	1,1271	486,4933	430,8397

**Lampiran 2. Data Hasil Analisis Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm**

Tabel L.2.1

Time, Beban (RF<sub>1</sub>), dan Perpindahan (U<sub>1</sub>) pada Eksentrisitas 60 cm Meshing 4

Time	RF1 (Force)		U1 (Displacement)	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
0	0	0	0	0
0,0010	0,0529	0,0121	0,3032	0,2742
0,0020	0,1059	0,0241	0,6065	0,5484
0,0035	0,1853	0,0422	1,0614	0,9597
0,0058	0,3045	0,0692	1,7437	1,5765
0,0091	0,4834	0,1097	2,7675	2,5016
0,0142	0,7519	0,1703	4,3036	3,8890





0,0218	1,1549	0,2609	6,6090	5,9697
0,0318	1,6863	0,3794	9,6476	8,7094
0,0418	2,2185	0,4973	12,6899	11,4494
0,0518	2,7513	0,6145	15,7364	14,1901
0,0618	3,2847	0,7311	18,7875	16,9319
0,0718	3,8188	0,8470	21,8436	19,6750
0,0818	4,3536	0,9622	24,9050	22,4197
0,0918	4,8889	1,0769	27,9721	25,1663
0,1018	5,4249	1,1909	31,0452	27,9150
0,1118	5,9614	1,3044	34,1244	30,6659
0,1218	6,4985	1,4172	37,2101	33,4193
0,1318	7,0362	1,5295	40,3025	36,1752
0,1418	7,5745	1,6413	43,4019	38,9337
0,1518	8,1133	1,7524	46,5083	41,6951
0,1618	8,6527	1,8630	49,6221	44,4593
0,1718	9,1927	1,9731	52,7435	47,2266
0,1818	9,7331	2,0826	55,8727	49,9969
0,1918	10,2741	2,1916	59,0098	52,7704
0,2018	10,8157	2,3001	62,1552	55,5472
0,2118	11,3577	2,4081	65,3089	58,3273
0,2218	11,9003	2,5155	68,4713	61,1108
0,2318	12,4434	2,6224	71,6425	63,8979
0,2418	12,9869	2,7289	74,8227	66,6885
0,2518	13,5310	2,8348	78,0123	69,4827
0,2618	14,0756	2,9402	81,2113	72,2806
0,2718	14,6206	3,0452	84,4201	75,0823
0,2818	15,1661	3,1496	87,6388	77,8878
0,2918	15,7122	3,2536	90,8678	80,6973
0,3018	16,2586	3,3572	94,1072	83,5107
0,3118	16,8056	3,4602	97,3574	86,3282
0,3218	17,3534	3,5624	100,6334	89,1600
0,3318	17,9163	3,6495	104,4511	92,3613
0,3418	18,4878	3,7281	108,6073	95,8941
0,3518	19,0746	3,7913	113,3836	100,0352
0,3618	19,6624	3,8534	118,1994	104,1875
0,3718	20,2533	3,9125	123,1155	108,3648
0,3818	20,8322	3,9835	127,5861	112,1925
0,3918	21,4076	4,0581	131,9062	115,8383
0,4018	21,9776	4,1382	136,0093	119,2669
0,4118	22,5459	4,2198	140,0704	122,6987
0,4218	23,1160	4,2998	144,2112	126,2024
0,4318	23,6907	4,3751	148,4967	129,7179
0,4418	24,2691	4,4467	152,9101	133,2708
0,4518	24,8414	4,5243	157,1134	136,6888
0,4618	25,4166	4,5992	161,5008	140,3853
0,4718	25,9915	4,6743	166,1305	144,2935



0,4818	26,5490	4,7668	170,8956	148,2525
0,4918	27,1048	4,8610	175,5804	152,1021
0,5018	27,6609	4,9549	180,2909	155,9536
0,5118	28,2338	5,0320	185,8416	160,3046
0,5218	28,8235	5,0923	192,6185	165,4661
0,5318	29,4197	5,1461	199,8284	171,0169
0,5418	30,0264	5,1896	222,5291	186,2911
0,5424	30,0616	5,1948	223,9400	187,1852
0,5433	30,1138	5,2036	226,4453	188,7536
0,5434	30,1150	5,2038	226,4539	188,7600
0,5434	30,1155	5,2039	226,4571	188,7624
0,5434	30,1161	5,2040	226,5599	188,8251
0,5434	30,1172	5,2041	226,5671	188,8305
0,5434	30,1176	5,2042	226,5699	188,8325
0,5434	30,1181	5,2043	226,5740	188,8356
0,5434	30,1182	5,2043	226,5743	188,8358
0,5434	30,1183	5,2043	226,5749	188,8363
0,5434	30,1183	5,2043	226,5750	188,8363
0,5434	30,1183	5,2043	226,5750	188,8364
0,5434	30,1183	5,2043	226,5751	188,8364
0,5434	30,1183	5,2043	226,5751	188,8364

Tabel L.2.2

Time, Beban ( $RF_1$ ), dan Perpindahan ( $U_1$ ) pada Eksentrisitas 60 cm Meshing 25

Time	RF1 (Force)		U1 (Displacement)	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
0	0	0	0	0
0,0010	0,0529	0,0121	0,2718	0,3008
0,0020	0,1058	0,0242	0,5436	0,6016
0,0035	0,1851	0,0424	0,9513	1,0528
0,0058	0,3042	0,0696	1,5626	1,7297
0,0091	0,4828	0,1103	2,4794	2,7451
0,0142	0,7510	0,1712	3,8541	4,2683
0,0218	1,1537	0,2621	5,9152	6,5539
0,0318	1,6846	0,3812	8,6281	9,5653
0,0418	2,2164	0,4994	11,3400	12,5791
0,0518	2,7489	0,6169	14,0513	15,5958
0,0618	3,2821	0,7336	16,7622	18,6157
0,0718	3,8161	0,8497	19,4731	21,6391
0,0818	4,3508	0,9650	22,1843	24,6665
0,0918	4,8862	1,0796	24,8960	27,6979
0,1018	5,4223	1,1935	27,6083	30,7339
0,1118	5,9591	1,3067	30,3214	33,7744
0,1218	6,4965	1,4192	33,0355	36,8199
0,1318	7,0347	1,5311	35,7508	39,8705





0,1418	7,5734	1,6424	38,4673	42,9263
0,1518	8,1128	1,7530	41,1852	45,9878
0,1618	8,6529	1,8629	43,9046	49,0549
0,1718	9,1936	1,9722	46,6256	52,1279
0,1818	9,7349	2,0809	49,3482	55,2071
0,1918	10,2768	2,1890	52,0727	58,2925
0,2018	10,8194	2,2964	54,7990	61,3844
0,2118	11,3625	2,4032	57,5272	64,4830
0,2218	11,9063	2,5095	60,2575	67,5884
0,2318	12,4507	2,6151	62,9899	70,7009
0,2418	12,9956	2,7202	65,7244	73,8206
0,2518	13,5412	2,8246	68,4612	76,9477
0,2618	14,0873	2,9285	71,2003	80,0825
0,2718	14,6340	3,0318	73,9418	83,2251
0,2818	15,1814	3,1344	76,6918	86,3824
0,2918	15,7325	3,2333	79,5582	89,6714
0,3018	16,2923	3,3235	82,7443	93,3236
0,3118	16,8557	3,4100	86,0209	97,0987
0,3218	17,4217	3,4941	89,3696	100,9508
0,3318	17,9898	3,5760	92,7311	104,8510
0,3418	18,5563	3,6595	96,0267	108,6697
0,3518	19,1262	3,7396	99,3930	112,5924
0,3618	19,6966	3,8192	102,7350	116,5121
0,3718	20,2662	3,8996	106,3206	120,6838
0,3818	20,8301	3,9857	110,1124	125,1154
0,3918	21,3955	4,0702	113,9304	129,6254
0,4018	21,9561	4,1597	118,0423	134,4485
0,4118	22,5172	4,2486	122,1617	139,2983
0,4218	23,0790	4,3367	126,2816	144,1876
0,4318	23,6456	4,4202	130,1567	148,8100
0,4418	24,2223	4,4934	134,2701	153,7361
0,4518	24,8105	4,5552	138,8682	159,2709
0,4618	25,4113	4,6045	143,7957	165,2516
0,4718	26,0294	4,6364	149,2568	171,9172
0,4818	26,6652	4,6506	155,9535	180,1499
0,4843	26,8283	4,6500	157,8640	182,5149
0,4880	27,0731	4,6489	160,7289	186,0787
0,4937	27,4413	4,6464	164,9105	191,3220
0,5021	27,9936	4,6425	171,7431	200,1402
0,5046	28,1538	4,6448	175,1828	205,0617
0,5083	28,3914	4,6510	181,4422	214,4197
0,5098	28,4792	4,6545	184,2750	218,8087
0,5119	28,5938	4,6771	194,6177	236,9506
0,5120	28,6013	4,6781	195,1053	237,8352
0,5121	28,6089	4,6791	195,5946	238,7254
0,5123	28,6203	4,6805	196,3240	240,0575



0,5123	28,6214	4,6807	196,3291	240,0645
0,5123	28,6217	4,6808	196,3310	240,0671
0,5123	28,6219	4,6808	196,3317	240,0681
0,5124	28,6221	4,6808	196,3328	240,0696
0,5124	28,6222	4,6808	196,3332	240,0701
0,5124	28,6222	4,6808	196,3336	240,0706
0,5124	28,6223	4,6808	196,3338	240,0710
0,5124	28,6224	4,6808	196,3346	240,0720
0,5124	28,6224	4,6808	196,3346	240,0720
0,5124	28,6224	4,6808	196,3347	240,0721
0,5124	28,6224	4,6808	196,3347	240,0721
0,5124	28,6224	4,6808	196,3347	240,0721
0,5124	28,6224	4,6808	196,3347	240,0721

**Lampiran 3. Data Hasil Analisis Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm**

Tabel L.3.1

Time, Beban (RF<sub>1</sub>), dan Perpindahan (U<sub>1</sub>) pada Eksentrisitas 120 cm Meshing 4

Time	RF <sub>1</sub> (Force)		U <sub>1</sub> (Displacement)	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
0	0	0	0	0
0,0010	0,0452	0,0198	0,5997	0,5742
0,0020	0,0904	0,0396	1,1995	1,1484
0,0035	0,1582	0,0693	2,0994	2,0096
0,0058	0,2600	0,1137	3,4496	3,3010
0,0091	0,4128	0,1803	5,4758	5,2377
0,0142	0,6424	0,2798	8,5172	8,1415
0,0218	0,9873	0,4285	13,0843	12,4950
0,0318	1,4427	0,6231	19,1091	18,2248
0,0418	1,8993	0,8165	25,1470	23,9521
0,0518	2,3572	1,0086	31,1989	29,6776
0,0618	2,8163	1,1994	37,2658	35,4022
0,0718	3,2767	1,3891	43,3486	41,1263
0,0818	3,7383	1,5775	49,4479	46,8506
0,0918	4,2011	1,7647	55,5644	52,5753
0,1018	4,6651	1,9507	61,6987	58,3008
0,1118	5,1302	2,1356	67,8514	64,0275
0,1218	5,5966	2,3192	74,0229	69,7554
0,1318	6,0641	2,5017	80,2136	75,4849
0,1418	6,5328	2,6830	86,4241	81,2160
0,1518	7,0026	2,8631	92,6545	86,9487
0,1618	7,4737	3,0421	98,9054	92,6832
0,1718	7,9458	3,2200	105,1771	98,4196
0,1818	8,4191	3,3967	111,4698	104,1577



0,1918	8,8936	3,5722	117,7839	109,8976
0,2018	9,3692	3,7466	124,1196	115,6393
0,2118	9,8459	3,9198	130,4773	121,3826
0,2218	10,3314	4,0844	137,4134	127,5628
0,2318	10,8376	4,2282	145,7849	134,8340
0,2418	11,3625	4,3536	155,6138	143,5778
0,2518	11,8992	4,4667	166,3146	153,1573
0,2618	12,4452	4,5707	177,5371	163,0312
0,2718	12,9763	4,6895	187,5559	171,8896
0,2818	13,5078	4,8080	197,5198	180,6617
0,2918	14,0307	4,9350	206,6589	188,5659
0,3018	14,5470	5,0687	215,2380	195,9724
0,3118	15,0702	5,1957	224,2706	203,7870
0,3218	15,6078	5,3080	234,1403	212,0652
0,3318	16,1140	5,4521	245,3002	221,0581
0,3418	16,6068	5,6090	256,1767	229,9526
0,3518	17,1110	5,7548	268,3985	240,0737
0,3618	17,6072	5,9085	279,2726	248,8004
0,3718	18,0929	6,0729	290,1064	257,2483
0,3818	18,5985	6,2172	309,7184	271,4140
0,3918	19,1251	6,3407	326,1376	283,5223
0,4018	19,6603	6,4554	348,3675	299,2260
0,4118	20,2097	6,5561	375,2607	318,8253
0,4218	20,7273	6,6885	408,6639	341,2649
0,4318	21,2813	6,7845	433,2490	358,1654
0,4418	21,8423	6,8735	461,7266	376,8046
0,4518	22,4163	6,9495	488,1026	393,9636
0,4618	22,9972	7,0186	514,0349	409,8918
0,4718	23,6698	6,9960	547,1870	430,6264
0,4818	24,3454	6,9703	578,0395	450,3987
0,4918	25,0336	6,9322	615,7053	474,1431
0,5018	25,7541	6,8629	680,6642	512,2071
0,5018	25,7563	6,8620	680,9228	512,3518
0,5018	25,7570	6,8619	680,9818	512,3857
0,5018	25,7577	6,8619	681,0430	512,4204
0,5019	25,7588	6,8618	681,2022	512,5079
0,5019	25,7599	6,8621	681,2232	512,5189
0,5019	25,7600	6,8621	681,2247	512,5198
0,5019	25,7600	6,8621	681,2253	512,5202
0,5019	25,7603	6,8618	681,2500	512,5350
0,5019	25,7603	6,8618	681,2500	512,5350

Tabel L.3.2

*Time*, *Beban (RF<sub>1</sub>)*, dan *Perpindahan (U<sub>1</sub>)* pada Eksentrisitas 120 cm *Meshing* 25

<i>Time</i>	<i>RF<sub>1</sub> (Force)</i>		<i>U<sub>1</sub> (Displacement)</i>	
	<i>Kiri</i>	<i>Kanan</i>	<i>Kiri</i>	<i>Kanan</i>





0	0	0	0	0
0,0010	0,0451	0,0199	0,5910	0,5654
0,0020	0,0903	0,0397	1,1820	1,1308
0,0035	0,1580	0,0695	2,0686	1,9786
0,0058	0,2597	0,1140	3,3987	3,2499
0,0091	0,4124	0,1808	5,3944	5,1559
0,0142	0,6417	0,2805	8,3892	8,0130
0,0218	0,9863	0,4295	12,8846	12,2945
0,0318	1,4414	0,6244	18,8112	17,9259
0,0418	1,8979	0,8179	24,7466	23,5507
0,0518	2,3557	1,0101	30,6917	29,1694
0,0618	2,8149	1,2009	36,6472	34,7829
0,0718	3,2754	1,3904	42,6138	40,3915
0,0818	3,7373	1,5785	48,5923	45,9957
0,0918	4,2004	1,7654	54,5833	51,5960
0,1018	4,6649	1,9509	60,5871	57,1926
0,1118	5,1306	2,1352	66,6044	62,7859
0,1218	5,5976	2,3182	72,6354	68,3759
0,1318	6,0659	2,4999	78,6807	73,9630
0,1418	6,5355	2,6803	84,7406	79,5471
0,1518	7,0063	2,8594	90,8153	85,1284
0,1618	7,4784	3,0374	96,9053	90,7071
0,1718	7,9518	3,2140	103,0108	96,2830
0,1818	8,4264	3,3894	109,1321	101,8564
0,1918	8,9061	3,5597	115,6283	107,7215
0,2018	9,4001	3,7157	123,4052	114,7772
0,2118	9,9011	3,8647	131,6846	122,2432
0,2218	10,4083	4,0075	140,3125	130,0301
0,2318	10,9153	4,1505	148,7119	137,5265
0,2418	11,4268	4,2890	157,3352	145,2424
0,2518	11,9445	4,4213	166,2469	153,0818
0,2618	12,4562	4,5596	174,5546	160,4019
0,2718	12,9782	4,6876	183,5241	168,2962
0,2818	13,5016	4,8142	192,4043	176,0378
0,2918	14,0154	4,9504	201,2228	183,7179
0,3018	14,5338	5,0820	210,8230	192,0258
0,3118	15,0608	5,2050	221,3212	200,9450
0,3218	15,5817	5,3340	233,2721	211,0103
0,3318	16,1069	5,4589	250,4610	225,6301
0,3418	16,6464	5,5694	271,0177	242,4448
0,3443	16,7870	5,5913	276,9556	247,0354
0,3480	16,9992	5,6229	285,6828	253,7346
0,3537	17,3086	5,6791	298,5063	263,5037
0,3621	17,7615	5,7746	322,6152	282,2053
0,3721	18,3035	5,8826	351,3014	303,9471
0,3821	18,8528	5,9833	379,6650	324,8747



0,3921	19,4059	6,0802	408,4027	345,3538
0,4021	19,9947	6,1414	437,5785	365,9438
0,4121	20,5862	6,1999	470,6679	388,8248
0,4221	21,2029	6,2332	505,5299	411,6523
0,4321	21,8167	6,2694	544,5124	436,3451
0,4421	22,5220	6,2141	608,2202	476,4011
0,4446	22,6883	6,2103	626,9318	487,4193
0,4483	22,9295	6,2128	665,0530	508,6396
0,4486	22,9431	6,2145	669,4355	510,9302
0,4488	22,9561	6,2167	674,2710	513,4240
0,4489	22,9614	6,2171	676,1740	514,3984
0,4489	22,9633	6,2174	676,9176	514,7771
0,4490	22,9659	6,2180	678,4120	515,5268
0,4490	22,9668	6,2182	679,0628	515,8514
0,4490	22,9665	6,2203	682,4166	517,4850
0,4491	22,9678	6,2209	683,5892	518,0588
0,4491	22,9692	6,2213	684,4923	518,5024
0,4491	22,9715	6,2217	685,9018	519,1944
0,4492	22,9778	6,2194	688,6912	520,5648
0,4493	22,9873	6,2161	693,0423	522,6985
0,4494	23,0000	6,2125	696,9085	524,6167
0,4496	23,0188	6,2074	702,4591	527,3547
0,4500	23,0471	6,1998	710,8778	531,4572
0,4504	23,0894	6,1879	726,9291	538,9642
0,4506	23,1016	6,1877	730,3820	540,6012
0,4509	23,1193	6,1872	735,1562	542,8382
0,4510	23,1262	6,1871	736,9983	543,6989
0,4510	23,1287	6,1870	737,6791	544,0156
0,4511	23,1297	6,1897	746,1506	547,7046
0,4511	23,1300	6,1897	746,1542	547,7065
0,4511	23,1304	6,1898	746,1600	547,7095
0,4511	23,1311	6,1899	746,1690	547,7144
0,4511	23,1311	6,1899	746,1697	547,7148
0,4511	23,1311	6,1899	746,1705	547,7152
0,4511	23,1312	6,1899	746,1709	547,7154
0,4511	23,1312	6,1899	746,1711	547,7155
0,4511	23,1312	6,1899	746,1714	547,7157
0,4511	23,1312	6,1899	746,1715	547,7157
0,4511	23,1312	6,1899	746,1715	547,7157
0,4511	23,1312	6,1899	746,1715	547,7157

