

**EFEK BEBAN GEMPA DUA ARAH DAN TIGA ARAH TERHADAP
KAPASITAS STRUKTUR JEMBATAN WARREN**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SONNIA SYAFIRRA

NIM. 145060107111015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018



LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KAPASITAS STRUKTUR JEMBATAN RANGKA TIPE WARREN
DENGAN MUTU BAJA TIDAK SERAGAM DALAM MENAHAN BEBAN GEMPA
DUA ARAH DAN TIGA ARAH**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SONNIA SYAFIRRA

NIM. 145060107111015

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 31 Mei 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT
NIP. 201102 850221 2 001

Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc
NIP. 201102 840705 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

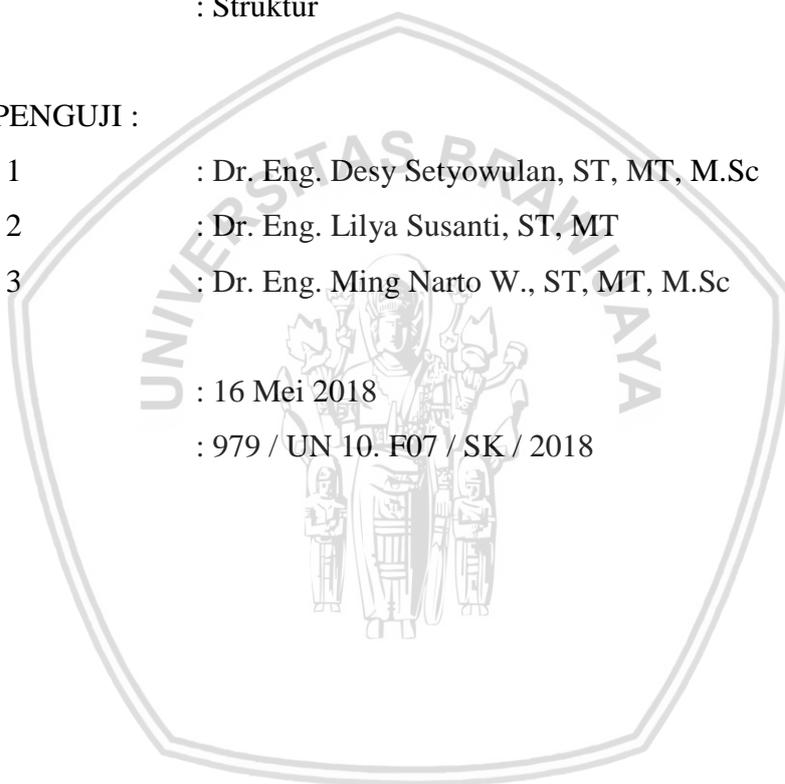
JUDUL SKRIPSI :

Analisis Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Tipe *Warren* Dengan Mutu Baja Tidak Seragam Dalam Menahan Beban Gempa Dua Arah Dan Tiga Arah

Nama Mahasiswa : Sonia Syafirra
NIM : 145060107111015
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT
Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc
Tanggal Ujian : 16 Mei 2018
SK Penguji : 979 / UN 10. F07 / SK / 2018



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

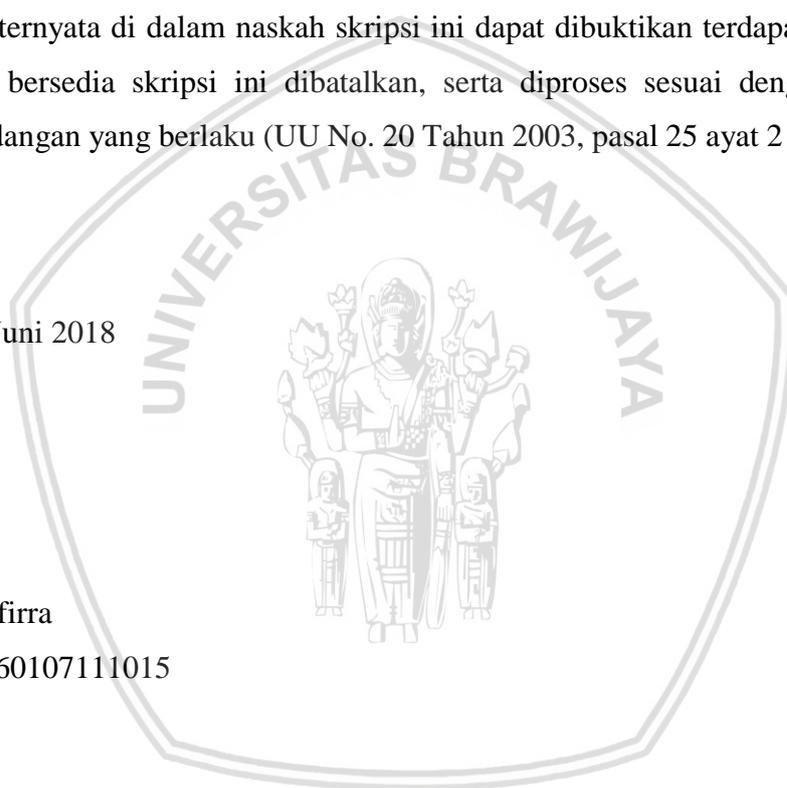
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang 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 2018

Sonnia Syafirra

NIM. 145060107111015



RIWAYAT HIDUP

Sonnia Syafirra, lahir di Balikpapan, 28 Juni 1996, anak ketiga dari Ayah Dradjat Sugiantoro dan Bunda Lilik Hafidah. Mulai memasuki bangku sekolah di SDN Kauman 1 Malang sejak tahun 2002 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 6 Malang dan lulus pada tahun 2011. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 8 Malang dan lulus pada tahun 2014. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2018 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 2015, anggota Himpunan Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, anggota Departemen AMERA Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2015/2016, 2016/2017, ketua divisi keuangan Departemen AMERA periode 2017/2018, anggota Civil Camp Teknik Sipil Universitas Brawijaya 2015/2016, Asisten Tugas Statika Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2016/2017, Asisten Tugas Mekanika Bahan Teknik Sipil Universitas Brawijaya periode 2017/2018, serta berbagai kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Juni 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat, hidayah dan karunia yang telah dilimpahkan penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “Efek Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Warren”.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT sumber segala hikmat, berkah, karunia, tenaga dan pikiran.
2. Ayah Dradjat Sugiantoro dan Bunda Lilik Hafidah yang selalu memberikan dukungan moral, materi, terlebih lagi doa yang selalu dipanjatkan serta motivasi yang kuat untuk menyelesaikan studi kuliah dan skripsi.
3. Kakak laki – laki Olly Bora Priyambodo, Kakak perempuan Rheandita Chyntia dan Ella Desideria Putri dan adik perempuan Salwa Zandrina yang selalu memberi doa, dukungan, dorongan dan semangat dalam penulisan skripsi.
4. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT dan Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
5. Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, masukan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
6. Dr. Eng. Ming Narto W., ST, MT, M.Sc selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan, masukan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
7. Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
8. Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng selaku dosen penasihat akademik yang selalu memberikan arahan, dukungan, dan bimbingan selama masa perkuliahan. Beliau selalu menjadi dosen yang sangat penulis banggakan.
9. Roland Martin Simatupang, ST., MT., M.Sc. selaku dosen penasihat akademik yang telah memberikan segala dukungan, bantuan, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan masa studi dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
10. Om dan Tante Penulis yang selalu memberi doa, dukungan, dorongan dan semangat dalam penulisan skripsi.

11. Rekan tim penelitian dan skripsi (ABAQUS Ceria), Isnana Puspitasari, Azka Fardany Ibady dan Muhammad Iqbal yang telah bekerja sama dan berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi.
12. Azka Fardany Ibady yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan laporan KKN-P, Studio Perancangan I, Studio Perancangan II dan skripsi
13. Isnana Puspitasari, Naadiyah Widyadhana Pertiwi, dan Septiyan Candra Dwi Kresna yang telah menjadi teman bahkan keluarga yang selalu saling membantu dan memberikan semangat selama masa perkuliahan
14. Seluruh anggota departemen AMERA dari periode 2012-2016 yang selalu ada untuk saling membantu satu sama lain, saling berbagi ilmu, pengalaman, dan saling memberikan semangat satu sama lain.
15. Desy Karuniayu Ningsih, Nanda Rahma Fitriana, Sekar Kusumaningtyas, dan Adhitya Satria Prabowo, yang tselalu meberikan semangat, dorongan, dan tempat berbagi cerita sejak di bangku SMA.
16. Wahyu Nursamhuda selaku tutor kursus *software*, dan teman- teman kursus *software* (NEC Group) Isnana Puspitasari, Nabil Akmal, Lola Kumala Ratri, Kamilyana, Faishal Pramudito, Faisal Abda, Desi Budiawati, Akbartino, dan Agung Widyastana yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penulis menjalani masa perkuliahan.
17. Teman – teman kursus TOEFL, Isnana Puspitasari, Arinda Rahma, Thiya Fiantika, Lola Kumala Ratri, Ida Ayu Sarithayanti, Azka Fardany Ibady, Muhammad Iqbal, Nabil Akmal, dan Faishal Pramudito yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penulis menjalani masa perkuliahan.
18. Teman- teman selama masa perkuliahan seluruh KBMS, serta seluruh mahasiswa Teknik Sipil Universitas Brawijaya angkatan 2014 yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penulis menjalani masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan sipil.

Malang, Juni 2018

Penyusun,
Sonia Syafirra



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Kegiatan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material Baja	5
2.1.1 Sifat Mekanik Baja	5
2.2 Jembatan	11
2.2.1 Umum	11
2.2.2 Jembatan Rangka	11
2.2.3 Bagian – Bagian Jembatan Rangka	14
2.2.3.1 Konstruksi Bangunan Atas (<i>Superstructure</i>)	14
2.2.3.2 Konstruksi Bangunan Batas (<i>Substructure</i>)	16
2.2.4 Pembebanan Jembatan	16
2.2.4.1 Beban Sendiri	16
2.2.4.2 Beban Hidup	19
2.2.4.3 Beban Lalu Lintas	19
2.2.4.4 Beban Angin	20
2.2.4.5 Beban Gempa	21
2.3 Teori Gempa Bumi	21
2.3.1 Umum	21
2.3.2 Penyebab Gempa Bumi	23
2.3.3 Wilayah Gempa	24

2.3.4 Ukuran Karakteristik Gempa	25
2.3.4.1 <i>Magintude</i>	26
2.3.4.2 Intensitas Gempa	27
2.4 Analisis Dinamis	30
2.4.1 Umum	30
2.4.2 Analisa Nilai Eigen	31
2.4.3 Prinsip Analisis Time History	33
2.5 <i>Software</i> ABAQUS	33
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Data Jembatan	37
3.1.1 Data Umum Jembatan	37
3.1.2 Data Teknis Jembatan	38
3.1.3 Gambar Perencanaan Struktur Jembatan	38
3.2 Analisis Nilai Eigen	40
3.3 Analisis Dinamis	41
3.4 Metode Penelitian	42
3.5 Pemodelan Dengan <i>Software</i> ABAQUS	44
3.6 Analisis Hasil Penelitian	48
BAB VI PEMBAHASAN	49
4.1 Pemodelan Struktur Jembatan Soekarno-Hatta	49
4.1.1 Gambaran umum	49
4.1.2 Spesifikasi material	50
4.2 Simulasi Numerik Jembatan Rangka	51
4.3 Respon Struktur Akibat Gempa Dua Arah	54
4.3.1 Batang dekat Tumpuan Sendi	57
4.3.2 Batang dekat Tumpuan Rol	59
4.3.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas	61
4.3.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	63
4.3.5 Batang Perbandingan	65
4.3.6 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	67
4.4 Respon Struktur terhadap Beban Gempa Tiga Arah	69
4.4.1 Batang dekat Tumpuan Sendi	71
4.4.2 Batang dekat Tumpuan Rol	74

4.4.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas	76
4.4.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	78
4.4.5 Batang Pembanding	81
4.4.6 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau	83
4.5 Perbandingan Respon Struktur Jembatan Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	94



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Baja Struktural	10
Tabel 2.2	Faktor Beban untuk Berat Sendiri	17
Tabel 2.3	Berat Isi Untuk Beban Mati (kN/m ³)	18
Tabel 2.4	Jenis – Jenis Magnitudo Gempa	26
Tabel 2.5	Skala MMI (Modified Mercalli Intensity Scale)	28
Tabel 2.6	Hubungan Antara Magnitudo Dengan Intensitas Gempa	29
Tabel 2.7	Tabel Rekomendasi Nilai Rasio Redaman Untuk Beberapa Tipe Dan Kondisi Struktur	32
Tabel 3.1	Dimensi Profil Baja Model Jembatan	39
Tabel 3.2	Nilai True Strain dan True Stress yang dimasukkan pada software ABAQUS	40
Tabel 4.1	Dimensi Profil Baja Model Jembatan.....	50
Tabel 4.2	Hasil Analisis Eigen pada Struktur Jembatan Rangka	52
Tabel 5.1	Rekapitulasi Hasil Analisis Numerik Akibat Beban Gempa Dua Arah	50
Tabel 5.2	Rekapitulasi Hasil Analisis Numerik Akibat Beban Gempa Tiga Arah.....	50
Tabel 5.3	Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tiap Batang Akibat Beban Gempa Dua Arah.....	50
Tabel 5.4	Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tiap Batang Akibat Beban Gempa Tiga Arah	50

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Benda Uji Dengan Uji Tarik	8
Gambar 2.2	Kurva Hubungan Tegangan (f) Dan Regangan (ϵ)	8
Gambar 2.3	Bagian Kurva Tegangan Dan Regangan Yang Diperbesar	9
Gambar 2.4	Tipe – Tipe Jembatan Rangka	12
Gambar 2.5	Jembatan Rangka Tipe – Warren	13
Gambar 2.6	Jembatan Rangka Tipe K – Truss	13
Gambar 2.7	Jembatan Lantai Atas	14
Gambar 2.8	Jembatan Lantai Bawah	14
Gambar 2.9	Beban Lajur “D”	19
Gambar 2.10	Beban “D” BTR vs Panjang Yang Dibebeani	20
Gambar 2.11	Beban Truk “T” (500Kn)	20
Gambar 2.12	Struktur Lapisan Bumi	22
Gambar 2.13	Ilustrasi Yang Menggambarkan Beberapa Jenis Lempeng	22
Gambar 2.14	Posisi Perbatasan Lempeng Pada Peta Dunia	23
Gambar 2.15	Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun	24
Gambar 2.16	SS Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCER) kelas situs SB	25
Gambar 2.17	S1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCER) kelas situs SB	25
Gambar 2.18	Rekaman gempa El Centro di California	30
Gambar 2.19	Prosedur analisis tahan gempa	31
Gambar 2.20	Diagram Aliran Proses Running	35
Gambar 3.1	Jembatan Rangka Soekarno-Hatta Malang	37
Gambar 3.2	Layout jembatan pada software ABAQUS	38
Gambar 3.3	Hubungan tegangan-regangan tipikal	39
Gambar 3.4	Data gempa El Centro California	42
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian	43

Gambar 3.6 Hasil input koordinat-koordinat setiap titik pada jembatan W-Truss .	44
Gambar 3.7 Penggabungan koordinat-koordinat membentuk jembatan W-Truss .	44
Gambar 3.8 Input mutu material baja yang digunakan	45
Gambar 3.9 Input dimensi profil baja yang digunakan	46
Gambar 3.10 Perintah input boundary condition	46
Gambar 3.11 Perintah assembly	47
Gambar 4.1 Layout Jembatan Soekarno-Hatta tampak 3 dimensi	49
Gambar 4.2 Layout Jembatan Soekarno-Hatta tampak 2D	50
Gambar 4.3 Hubungan tegangan-regangan tipikal	51
Gambar 4.4 Bentuk mode satu struktur jembatan rangka	53
Gambar 4.5 Bentuk mode sembilan struktur jembatan rangka	53
Gambar 4.6 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 2 arah	55
Gambar 4.7 Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 2 arah	55
Gambar 4.8 Displacement/regangan akibat beban gempa 2 arah	56
Gambar 4.9 Pembagian sisi struktur jembatan	56
Gambar 4.10 Pembagian sisi struktur jembatan	57
Gambar 4.11 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi	57
Gambar 4.12 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi	58
Gambar 4.13 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi	59
Gambar 4.14 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan sendi	59
Gambar 4.15 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol	60
Gambar 4.16 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol	60
Gambar 4.17 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol	61
Gambar 4.18 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan rol	63
Gambar 4.19 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas	62
Gambar 4.20 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas	63
Gambar 4.21 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas	64
Gambar 4.22 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian atas	64
Gambar 4.23 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah	65
Gambar 4.24 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah	65

Gambar 4.25 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah	66
Gambar 4.26 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian bawah	67
Gambar 4.27 Kurva tegangan pada batang pembanding	67
Gambar 4.28 Kurva regangan pada batang pembanding	68
Gambar 4.29 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang kritis	69
Gambar 4.30 Kurva displacement (U1) pada batang pembanding	69
Gambar 4.31 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama	70
Gambar 4.32 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau	71
Gambar 4.33 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah	72
Gambar 4.34 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah	73
Gambar 4.35 Displacement akibat beban gempa 3 arah	73
Gambar 4.36 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi	74
Gambar 4.37 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi	74
Gambar 4.38 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi	75
Gambar 4.39 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan sendi	76
Gambar 4.40 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol	76
Gambar 4.41 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol	77
Gambar 4.42 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi	78
Gambar 4.43 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan rol	78
Gambar 4.44 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas	79
Gambar 4.45 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas	79
Gambar 4.46 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas	80
Gambar 4.47 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian atas	81
Gambar 4.48 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah	81
Gambar 4.49 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah	82
Gambar 4.50 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah	83



Gambar 4.51 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian bawah	83
Gambar 4.52 Kurva tegangan pada batang pembanding	84
Gambar 4.53 Kurva regangan pada batang pembanding	84
Gambar 4.54 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang pembanding	85
Gambar 4.55 Kurva displacement (U1) pada batang pembanding	86
Gambar 4.56 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama	87
Gambar 4.57 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau	88
Gambar 4.58 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada batang dekat tumpuan sendi	88



RINGKASAN

Somnia Syafirra, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei, 2018, *Efek Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Warren*, Dosen pembimbing : Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT. dan Dr. Eng Ming Narto W., ST, MT, M.Sc

Jembatan merupakan salah satu sarana dan prasarana infrastruktur. Tipe jembatan rangka yang paling umum di Indonesia. adalah jembatan tipe warren (*W-Truss*). Dalam modelisasi jembatan, digunakan jembatan *warren* Soekarno-Hatta Malang. Hal tersebut dilakukan untuk memudahkan peeliti dalam menganalisis tanpa harus mendesain terlebih dahulu.

Jembatan merupakan salah satu sarana dan prasarana infrastruktur. Dalam perencanaan struktur syarat yang harus dipenuhi adalah, kekakuan, kekuatan, dan daktilitas, struktur jembatan juga perlu memperhitungkan secara tepat total beban yang akan diterima oleh jembatan. Beban jembatan yang sukar diprediksi dan tidak terduga adalah beban gempa. Indonesia merupakan negara dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi.

Dalam menganalisis struktur jembatan akibat beban gempa terlebih dahulu memodelkan struktur jembatan pada software ABAQUS *Student Edition* dengan data jembatan menggunakan jembatan rangka eksisting di malang. Setelah struktur jembatan dimodelkan selanjutnya dilakukan analisis nilai eigen sehingga mendapatkan dua nilai *mode shape* terbesar. Setelah itu diperlukan perhitungan frekuensi alami untuk mengetahui karakteristik dinamis yang utama pada struktur tersebut sehingga terlihat bagaimana perilaku dominan struktur jembatan rangka yang dimodelkan.

Selanjutnya setelah analisis nilai eigen dilakukan analisis dinamis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *time history analysis* (analisis riwayat waktu) dengan menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition*. Analisis dan modelisasi struktur dilakukan secara dua dan tiga dimensi pada Jembatan Sokarno-Hatta Kota Malang. Pada analisis ini didapatkan data gempa yang berupa percepatan dan waktu.

Hasil analisis menunjukkan bahwa akibat bertambahnya arah gempa dari dua arah menjadi tiga arah mengakibatkan meningkatnya tegangan pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 5,9303%. Jembatan dari beban gempa dua arah di tingkatkan menjadi beban gempa tiga arah, mengakibatkan penurunan modulus elastisitas jembatan sebesar 2,5641 % dari modulus elastisitas pada kondisi struktur jembatan akibat beban gempa dua arah . Dari besarnya persentase kenaikan tegangan yang tidak begitu besar, dan persentase penurunan modulus elastisitas yang tidak begitu besar sehingga, analisis jembatan dengan menggunakan beban gempa tiga arah tidak begitu berpengaruh besar jika dibandingkan dengan beban gempa dua arah. Sehingga sudah cukup analisis jembatan menggunakan beban gempa dua arah.

Kata Kunci : jembatan, jembatan rangka tipe warren, analisis, kapasitas struktur, beban gempa, *mode shape*, *time history analysis*, ABAQUS *Student Edition*.

SUMMARY

Somnia Syafirra, Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Brawijaya Universitas, May, 2018, *The effect of bi-directional and tri-directional seismic load on the capacity of warren truss bridge*, Advisors : Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT. and Dr. Eng Ming Narto W., ST, MT, M.Sc

The bridge is one of the infrastructure facilities. The most common type of skeleton bridge in Indonesia. is a warren type bridge (W-Truss). In bridge modeling, used warren Soekarno-Hatta bridge Malang. It is done to facilitate the researchers in analyzing without having to design first.

The bridge is one of the infrastructure facilities. In the structural planning, the requirements to be met are stiffness, strength, and ductility, the bridge structure also needs to calculate exactly the total load to be received by the bridge. Unpredictable bridge loads are earthquake loads. Indonesia is a country with high level of earthquake risk.

In analyzing the bridge structure due to earthquake load, the first thing to be done is to model the bridge structure in ABAQUS Student Edition software with bridge data using existing truss bridge in Malang. After the bridge structure is modeled then eigenvalue analysis is done so that it gets two values of the largest shape mode. After that, it is necessary to calculate the natural frequency to know the main dynamic characteristic of the structure so that it can be seen how the dominant behavior of the truss structure of the modeled bridge.

Furthermore, after the analysis of eigenvalues performed dynamic analysis conducted in this study was time history analysis (analysis of time history) by using ABAQUS Student Edition software. Analysis and modelization of the structure were done in two and three dimensions on Sukarno-Hatta Bridge of Malang City. In this analysis, the data obtained by the earthquake in the form of acceleration and time.

The result of the analysis showed that the result of increasing the direction of the earthquake from two directions into three directions resulted in the increase of voltage on the stem near the joints of 5.9303%. The bridge from the two-way earthquake load is increased to a three-way earthquake load, resulting in a decrease in the bridge's elastic modulus of 2.5641% of the elastic modulus under bridge structure due to the two-way earthquake load. From the relatively small percentage of voltage increase, and the percentage decrease of the modulus of elasticity is not so large, the bridge analysis using three-way earthquake load is not so big as compared with the two-way earthquake load. So that is enough bridge analysis using two-way earthquake load.

Keywords: bridge, warren truss bridge, analysis, structural capacity, earthquake load, shape mode, time history analysis, ABAQUS Student Edition

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia terus meningkat tiap tahunnya. Sehingga berakibat terhadap kinerja pemerintah dalam mengatasi pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk ini akan berdampak positif khususnya dalam hal ketersediaan tenaga kerja. Dengan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia maka bertambah pula ketersediaan tenaga kerja. Namun tidak hanya berdampak positif, pertumbuhan penduduk yang pesat juga dapat berdampak negatif. Apabila pertumbuhan penduduk tidak diimbangi dengan sarana dan prasarana yang layak dan memadai untuk memenuhi kebutuhan penduduk.

Sarana dan prasarana merupakan satu kesatuan komponen/sistem yang digunakan untuk mencapai keberhasilan suatu proses agar dapat tercapai makna dan tujuan yang telah disusun sebelumnya. Sarana dan prasarana yang digunakan untuk menjamin kesejahteraan dan keselamatan masyarakat adalah sarana dan prasarana infrastruktur. Sarana dan prasarana infrastruktur dapat berupa jalan, jembatan, pelabuhan, bandara, irigasi dan sanitasi.

Jembatan merupakan salah satu sarana dan prasarana infrastruktur. Jembatan memiliki peran sangat penting dalam menjamin kesejahteraan dan keselamatan masyarakat khususnya dalam lancarnya pergerakan lalu lintas. Fungsi dari jembatan adalah untuk menghubungkan lintasan yang terpisah akibat adanya sungai, rawa, danau, jalan raya, dan perlintasan lainnya. Terdapat berbagai macam tipe jembatan rangka. Tipe jembatan rangka yang paling umum di Indonesia, adalah jembatan tipe warren (*W-Truss*). Dalam pembangunannya jembatan rangka menggunakan material baja.

Dalam perencanaan struktur syarat yang harus dipenuhi adalah, kekakuan, kekuatan, dan daktilitas. Kekakuan berhubungan dengan besarnya material dalam menahan gaya yang terjadi, parameternya berupa tegangan *ultimate* dan tegangan leleh. Kekakuan berhubungan dengan besarnya gaya yang dapat menghasilkan deformasi, parameternya berupa Modulus Elastisitas. Sedangkan untuk daktilitas berhubungan dengan besarnya deformasi yang dihasilkan sebelum terjadi keruntuhan pada struktur jembatan.

Apabila syarat kekakuan, kekuatan, dan daktilitas dijadikan sebagai dasar dalam pemilihan material jembatan maka baja merupakan material yang lebih unggul dibandingkan dengan material yang lain. Sebab baja merupakan material yang paling daktil, baja juga memiliki nilai Modulus Elastisitas dan tegangan leleh yang tinggi. Selain itu baja merupakan material yang diproduksi dipabrik, sehingga baja dapat terjaga kualitas mutu bahannya.

Selain pemilihan material, yang terpenting dalam perencanaan struktur jembatan yaitu memperhitungkan secara tepat total beban yang akan diterima oleh jembatan. Beban jembatan yang sukar diprediksi dan tidak terduga adalah beban gempa. Indonesia merupakan negara dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi. Oleh karena itu dalam perencanaan jembatan di Indonesia beban gempa merupakan beban yang harus diperhatikan dalam mendesain dan menganalisis jembatan. *Time history analysis* atau analisis riwayat waktu merupakan analisis dinamis yang dapat dilakukan dengan memperhatikan pergerakan tanah di sekitar lokasi struktur. Hasil analisis ini berupa beban gempa untuk setiap waktu selama durasi gempa, sehingga diperoleh nilai percepatan gempa itu sendiri.

Pada umumnya analisis gempa yang dilakukan berupa beban gempa dua arah, namun menurut Ahmad (2016) gempa menimbulkan getaran/goyangan pada tanah dalam segala arah dan menggetarkan bangunan yang berdiri di atas tanah, sehingga penulis dalam penelitian ini menggunakan analisis beban gempa tiga arah agar mendapatkan hasil yang mendekati dengan kondisi sebenarnya.

1.2 Rumusan masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan untuk analisis adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas struktur jembatan tipe *warren* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?
2. Bagaimana daktilitas struktur jembatan tipe *warren* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?

1.3 Maksud dan tujuan

Maksud dan tujuan penulisan skripsi ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kapasitas struktur jembatan tipe *warren* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?
2. Mengetahui daktilitas struktur jembatan tipe *warren* apabila diberikan beban gempa dua arah dan tiga arah?

1.4 Batasan masalah

Adapun batasan - batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Jembatan yang digunakan merupakan jembatan rangka tipe *warren*.
2. Jembatan yang dianalisis merupakan rangka utama jembatan *warren* Soekarno-Hatta Malang.
3. Spesifikasi dimensi jembatan disesuaikan dengan melakukan pendekatan melalui pengukuran di lapangan.
4. Pemodelan struktur jembatan dilakukan dengan menggunakan *software ABAQUS Student Edition*.
5. Material yang digunakan disesuaikan dengan mutu baja yang ada di SNI 03-1729-2002 yakni BJ-41.
6. Pembebanan yang digunakan hanya beban sendiri dan beban gempa dua arah dan tiga arah.
7. Menggunakan analisis dinamis *non-linear* yaitu dengan *time-history* (riwayat waktu) gempa El Centro di California.
8. Analisis dinamis riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan *software ABAQUS Student Edition*.

1.5 Manfaat kegiatan

Manfaat yang diharapkan dari analisis ini adalah analisis ini dapat menjadi sebuah pengetahuan baru serta dapat digunakan sebagai referensi untuk bahan penelitian ataupun dalam pembuatan model oleh para engineer.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Baja

2.1.1 Sifat mekanik baja

Untuk mendapatkan sifat mekanik dari material baja maka pengujian yang tepat adalah uji tarik. Selain lebih mudah pelaksanaannya daripada uji tekan, uji tarik juga dapat memberikan data yang akurat terhadap sifat mekanik baja. Pada Gambar 2.2 dan 2.3 menunjukkan hasil dari uji tarik baja pada suhu kamar dengan memberikan laju regangan normal. Tegangan normal (f) pada benda uji diplot pada sumbu vertikal, dan untuk regangan (ϵ) diplot pada sumbu horizontal.

Tegangan merupakan besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul tiap satuan luas (A). Ketika tegangan merata pada seluruh luasan (A) dan tegangan bernilai konstan, maka dapat menggunakan persamaan berikut, Singer (1995) :

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

(2.1)

Dimana :

σ = tegangan (kN/mm^2)

F_n = gaya yang bekerja (kN)

A = luas penampang (mm^2)

Tegangan normal dianggap positif ketika mengalami tarik (*tensile*) dan dianggap negatif ketika mengalami tekan (*compression*). Tegangan normal (σ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas (Timoshenko dan Goodier, 1986)

Tegangan menurut Marciniak dkk. (2002) dibedakan menjadi dua yaitu, *engineering stress* dan *true stress*. *Engineering stress* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{eng} = \frac{F}{A_0} \quad (2.2)$$

Dimana :

σ_{eng} = *Engineering stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas permukaan awal (mm²)

Sedangkan untuk *true stress* adalah tegangan dari hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi luas permukaan sebenarnya. *True stress* dapat dihitung dengan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Dimana :

σ = *True stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm²)

Ketika suatu material diberi gaya tarik atau tekan, akibatnya material tersebut akan mengalami ketegangan antar partikel di dalam elemen yang besarnya berbanding lurus. Akibat dari perubahan tegangan partikel ini mengakibatkan bergesernya struktur material regangan yang besarnya juga berbanding lurus. Akibatnya terjadi deformasi dari bentuk material tersebut misal penambahan panjang yang awalnya L_0 menjadi L. Rasio perbandingan antara penambahan panjang dengan panjang awal disebut dengan regangan (*strain*) dan disimbolkan dengan (ϵ).

Untuk dapat memperoleh satuan deformasi atau regangan (ϵ) yaitu membagi perpanjangan ($L - L_0$) dengan panjang material mula-mula (L_0). Hal ini sesuai dengan pernyataan Singer (1995) yaitu :

$$\epsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (2.4)$$

Dimana :

ε = regangan

$(L - L_0)$ = perubahan panjang (m)

L_0 = panjang awal (m)

Menurut Marciniak dkk. (2002) regangan dibagi menjadi dua, *engineering strain* dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung tergantung pada dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\varepsilon_{eng} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana :

ε_{eng} = *Engineering strain*

Δl = Perubahan panjang

l_0 = Panjang mula-mula

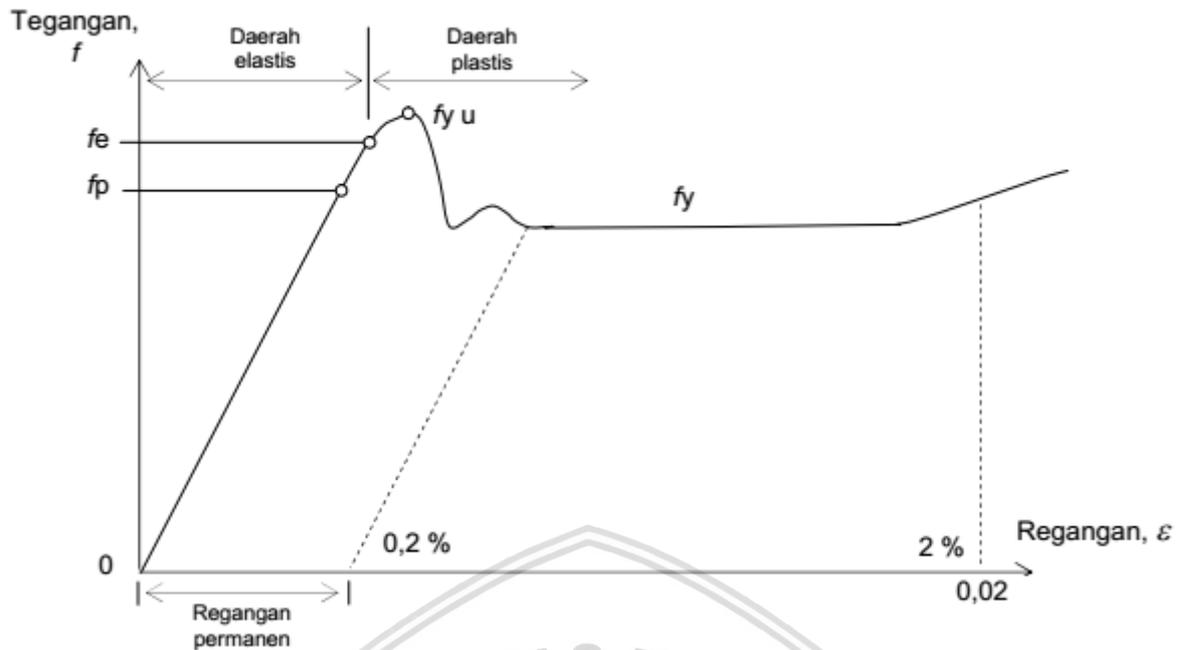
l = Panjang setelah diberi gaya

Sedangkan *True strain* merupakan regangan yang dihitung secara bertahap (*increment strain*), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Sehingga persamaan regangan untuk *true strain* (ε) adalah :

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.6)$$

Dimana :

ε = *True strain*



Gambar 2.3 Bagian kurva tegangan dan regangan yang diperbesar
Sumber : Agus Setiawan (2013)

Titik – titik penting dalam kurva tegangan – regangan adalah :

- f_p : batas proporsional
- f_e : batas elastis
- f_{yu}, f_y : tegangan leleh atas dan bawah
- f_u : tegangan putus
- ϵ_{sh} : regangan saat mulai terjadi efek strain hardening (penguatan regangan)
- ϵ_{sh} : regangan saat tercapainya tegangan putus

Titik – titik diatas mebagi kurva menjadi beberapa daerah yaitu :

1. Daerah linear diantara titik 0 dan f_p berlaku Hukum Hooke :

$$\Delta L = \frac{P.L}{E.A} \quad (2.7)$$

Dimana, $f = \frac{P}{A} = \text{Tegangan}$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \text{Regangan}$$

$$E = \frac{f}{\epsilon} = \text{Young modulus} = \text{Modulus elastisitas}$$

2. Daerah linear pada titik 0 dan f_p , pada daerah ini berlaku Hukum Hooke, sisi miring dari kurva ini disebut sebagai Modulus Elastisitas atau Modulus Young, $E = \frac{f}{\epsilon}$

3. Daerah elastis pada titik 0 dan f_e , pada daerah ini ketika benda uji diberi beban maka benda uji mengalami perpanjangan. Ketika beban dihilangkan benda uji akan kembali ke bentuk semula. Bisa dikatakan benda uji bersifat elastis.
4. Daerah plastis yang dibatasi regangan di 2% hingga 1,2 – 1,5%, ini adalah daerah dimana ketika tegangan hampir konstan baja mengalami regangan yang besar. Pada daerah ini juga menunjukkan tingkat daktilitas material baja.
5. Daerah diantara ϵ_{sh} dan ϵ_u dinamakan daerah penguatan regangan (strain – hardening). Pada daerah ini tegangan kembali mengalami kenaikan dengan regangan yang besar melebihi 15 – 20 kali regangan elastis maksimum. Pada daerah ini kemiringan grafik lebih kecil dibandingkan dengan kemiringan pada daerah elastis. Daerah ini dinamakan daerah penguatan regangan hingga baja mencapai tegangan putus.

Dalam perencanaan struktur, diambil sifat mekanik baja dari (SNI 03-1729-2002) sebagai berikut :

Modulus Elastisitas, E	= 200.000 Mpa
Modulus Geser, G	= 80.000 Mpa
Rasio poisson	= 0,30
Koefisien muai panjang, α	= $12 \times 10^{-6}/^{\circ}C$

Berdasarkan (SNI 03-1729-2002) tegangan leleh dan tegangan putus dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut :

Tabel 2.1

Sifat Mekanik Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Maksimum (Mpa)	Tegangan Leleh Minimum (f_u) (Mpa)	Regangan Minimum (%) (f_y)
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

Sumber : SNI 03-1729-2002

Definisi daktilitas baja dari rasio antara ϵ_{sh} dan ϵ_u (Kuzmanovic dan William, 1977) :

$$\psi = \frac{\epsilon_{sh}}{\epsilon_y} \quad (2.8)$$

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk memiliki regangan yang besar dari titik dimana material leleh sampai mengalami putus. Nilai daktilitas pada material baja berbeda – beda. Baja mutu tinggi cenderung memiliki nilai daktilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan mutu rendah.

2.2 Jembatan

2.2.1 Umum

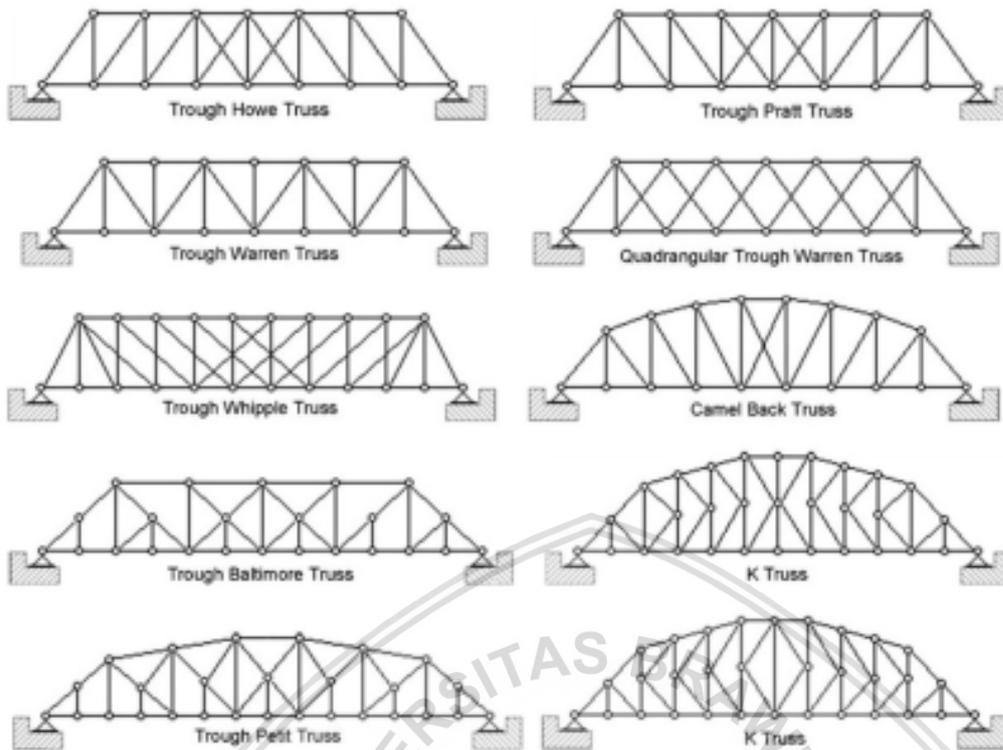
Jembatan merupakan suatu konstruksi yang memungkinkan untuk suatu jalan dapat melewati sungai/saluran air, lembah, atau jalan lain yang memiliki ketinggian lebih rendah. Jembatan juga merupakan salah satu sarana prasarana transportasi yang menghubungkan satu daerah ke daerah lain dikarenakan adanya rintangan, yang berupa sungai, jurang, maupun laut (Ir. H.J. Struyk). Terdapat berbagai macam bentuk jembatan, salah satunya adalah Jembatan Rangka.

2.2.2 Jembatan Rangka

Rangka merupakan struktur yang berasal dari batang – batang baja yang disusun dan dihubungkan sehingga menjadi satu kesatuan stuktur yang kokoh. Jembatan rangka sendiri merupakan jembatan yang terbentuk dari rangka – rangka dan jembatan ini mampu untuk menyalurkan beban ke setiap rangka – rangkanya yang tersusun dari batang tarik dan batang tekan.

Batang tarik merupakan batang yang menerima gaya tarik. Dalam mendesain batang tarik didasarkan pada tegangan ijin batang tarik. Dimana tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan ijin. Batang tekan merupakan batang yang diberi gaya tekan aksial searah dengan panjang batangnya.

Jembatan rangka memiliki beberapa tipe jembatan. Berikut ini merupakan beberapa tipe jembatan rangka yang dapat digunakan :

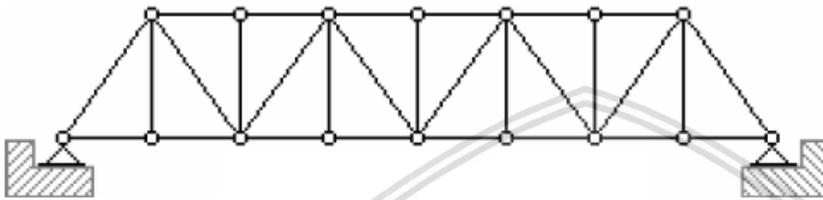


Gambar 2.4 Tipe – tipe jembatan rangka
 Sumber : Modul kuliah struktur baja 1, Ir. Thamrin Nasution (2011)

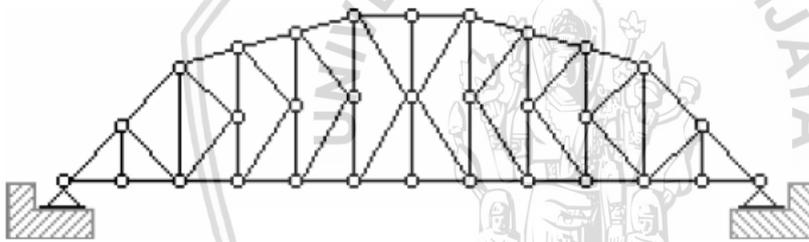
Perbandingan beberapa tipe konfigurasi jembatan ditinjau dari segi berat struktur total dan lendutan jembatan diberikan oleh Prayogi (2014) yang meninjau pengaruh pemberian chamber. Dari penelitian disebutkan bahwa jembatan tipe K-Truss memiliki lendutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jembatan rangka baja lain seperti tipe pratt, howe, dan warren. Sedangkan untuk jembatan rangka tipe pratt, howe, dan warren yang sering kita temui di wilayah Indonesia adalah tipe *warren*.

Jembatan rangka K-Truss adalah jembatan dengan tipe rangka yang berbentuk seperti huruf K, bentuk ini dapat mengurangi tekanan pada batang vertikal. Dan juga telah disebutkan di atas bahwa jembatan tipe K-Truss memiliki lendutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jembatan rangka baja lain seperti tipe pratt, howe, dan warren. Akan tetapi tipe jembatan ini termasuk tipe jembatan yang memiliki struktur yang rumit. Dikarenakan jembatan tipe ini membutuhkan adanya batang tambahan sehingga berakibat pada berat total jembatan, jembatan ini memiliki berat total yang lebih besar dibandingkan dengan jembatan tipe lain.

Akan tetapi jembatan *K-Truss* jarang kita temui di Indonesia. Lain halnya dengan jembatan tipe *warren*. Jembatan *warren* banyak ditemui di seluruh wilayah Indonesia. Jembatan tipe *warren* dapat memaksimalkan kinerja tiap – tiap batang jembatan dikarenakan penyaluran beban dapat merata keseluruhan rangka jembatan. Untuk pelaksanaannya pun tidak terlalu rumit karena merupakan jembatan dengan struktur yang sederhana. Akan tetapi jembatan tipe ini tidak dapat bekerja dengan baik ketika mendapat beban terpusat. Jembatan tipe *warren* baik digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang.



Gambar 2.5 Jembatan rangka Tipe – Warren

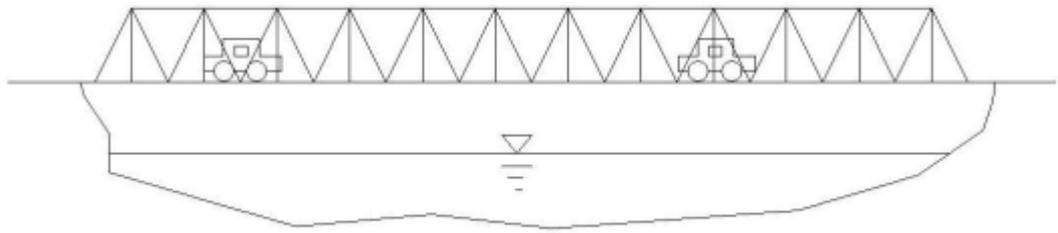


Gambar 2.6 Jembatan rangka Tipe K – Truss

Berdasarkan letak lantainya, jembatan rangka dibagi menjadi beberapa bagian :

1. Jembatan lantai bawah

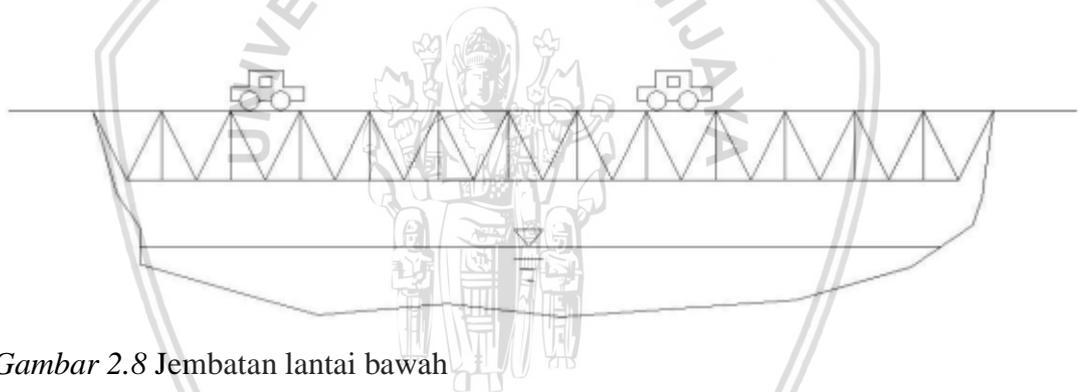
Jembatan lantai bawah adalah dimana struktur rangka utama jembatan berada di atas lantai jembatan. Sehingga, batang bagian atas jembatan mengalami tekan dan batang bawah jembatan mengalami tarik. Pada umumnya jembatan tipe ini memerlukan pengaku diatas dan dibawah yang juga bisa digunakan sebagai ikatan angin. Jembatan ini cocok untuk perairan dengan muka air yang tinggi karena pada bagian bawah jembatan tidak ada struktur rangka yang menghalangi perairan



Gambar 2.7 Jembatan lantai atas

2. Jembatan lantai atas

Jembatan tipe ini struktur rangka utama berada di bawah jembatan. Sehingga jembatan ini cocok untuk digunakan pada jembatan dengan kendaraan berat. Karena tidak ada rangka pada bagian atas lantai jembatan sehingga tidak menghalangi pergerakan kendaraan. Jembatan ini cocok untuk perairan dengan muka air yang rendah, sebab pada bagian bawah jembatan terhalangi struktur rangka jembatan.



Gambar 2.8 Jembatan lantai bawah

2.2.3 Bagian – bagian jembatan rangka

Berikut ini merupakan bagian – bagian jembatan beserta fungsi dan manfaatnya :

2.2.3.1 Konstruksi bangunan atas (superstructure)

Struktur atas jembatan merupakan struktur yang menerima beban jembatan secara langsung seperti berat sendiri dari struktur, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas, gaya rem, dan beban pejalan kaki. Struktur atas terdiri dari :

a. Trotoar

Trotoar merupakan bagian dari jembatan yang digunakan sebagai daerah bagi pejalan kaki yang ada pada bagian kanan dan kiri jembatan. Trotoar memiliki ketinggian yang lebih tinggi dibanding lantai kendaraan. Trotoar terdiri dari :

- Sandaran dan tiang sandaran
- Slab lantai trotar

b. Lantai kendaraan dan perkerasan

Lantai kendaraan merupakan bagian jembatan yang menerima langsung beban berjalan pada jembatan. Dalam perencanaan memperhitungkan beban hidup / beban (T) yang berasal dari tekanan roda kendaraan. Dan juga memperhitungkan beban (D) beban sendiri lantai kendaraan.

c. Balok memanjang

Balok ini memiliki fungsi untuk menyalurkan beban mati (D) dan beban hidup (T), ke balok melintang.

d. Balok melintang

Balok ini menerima beban dari balok memanjang dan meneruskan ke rangka batang

e. Ikatan angin

Ikatan angin berfungsi untuk menerima beban angin dan menyalurkan ke struktur rangka jembatan.

f. Rangka jembatan

Rangka merupakan struktur induk dari jembatan rangka. Rangka dibagi menjadi dua yaitu :

- Rangka diagonal
- Rangka vertikal

g. Pengaku

h. Sambungan

Sambungan berfungsi untuk menggabungkan antar satu batang dengan batang yang lain sehingga terbentuk struktur rangka.

i. Perletakan rol dan sendi

Perletakan berfungsi untuk menyalurkan beban jembatan ke seluruh struktur jembatan.

2.2.3.2 Konstruksi bangunan bawah (substructure)

Struktur bawah jembatan menerima seluruh beban yang berasal dari struktur atas jembatan dan juga beban lain dari tekanan tanah, aliran air, dan gesekan pada tumpuan lalu diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar. Struktur bawah terdiri dari :

- Pangkal jembatan (abutment)

Bagian jembatan yang memikul jembatan tepat pada kedua ujungnya, lalu beban dari struktur atas jembatan tersebut diteruskan ke pondasi.

- Pilar jembatan (pier)

Pilar merupakan bagian jembatan yang berada pada tengah bentang atau berada diantara ujung jembatan. Berfungsi untuk memagi beban jembatan dan mempendek bentang jembatan.

- Pondasi jembatan

Pondasi berfungsi untuk meneruskan keseluruhan beban baik yang berasal dari struktur atas jembatan dan bawah jembatan lalu pondasi meneruskan beban – beban tersebut ke tanah dasar. Pada umumnya pondasi pada jembatan rangka menggunakan tiang pancang atau bor pile.

2.2.4 Pembebanan jembatan

Berikut ini merupakan analisis pembebanan dalam perhitungan struktur jembatan menurut Peraturan Pembebanan Jembatan SNI T-02-2005. Pembebanan dikelompokkan dalam beberapa jenis beban yaitu :

- a. Beban Sendiri
- b. Beban Hidup
- c. Beban Lalu Lintas
- d. Beban Angin
- e. Beban Gempa

2.2.4.1 Beban sendiri

Beban sendiri adalah semua beban yang berasal dari tiap – tiap bagian jembatan baik bersifat struktural maupun yang non – struktural. Didalam perencanaan jembatan, seluruh beban – beban dihitung menjadi satu – kesatuan beban terfaktor.

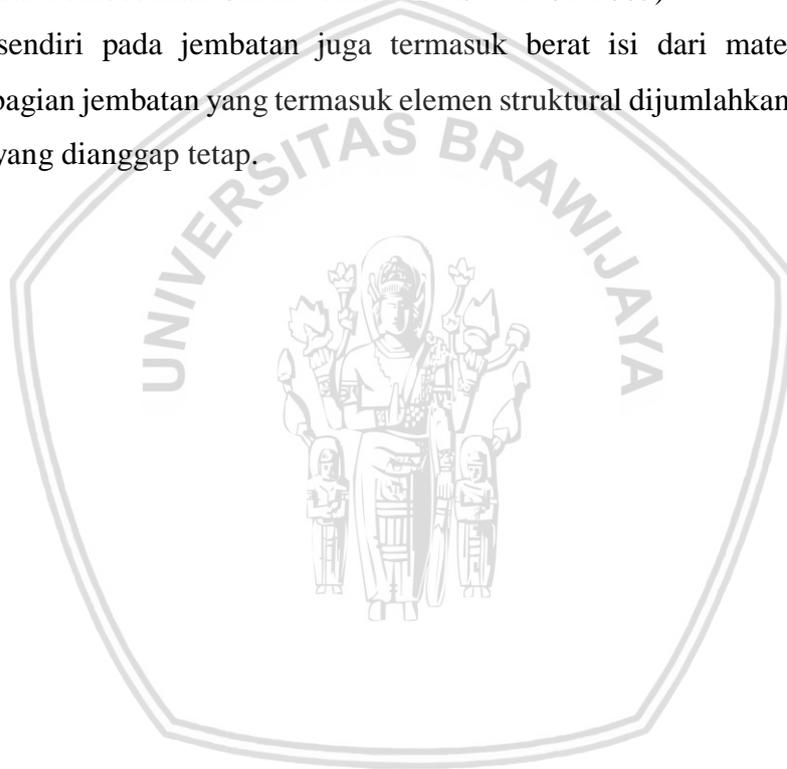
Tabel 2.2

Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
		Ks MS	Ku MS	
BIASA			TERKURANGI	
TETAP	Baja, alumunium	1,0	1,1	0,9
	Beton pratekan	1,0	1,2	0,85
	Beton di cor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Berat sendiri pada jembatan juga termasuk berat isi dari material pembuatan jembatan dan bagian jembatan yang termasuk elemen struktural dijumlahkan dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.



Tabel 2.3

Berat Isi Untuk Beban Mati (kN/m³)

No.	Bahan	Berat / Satuan Isi (kN/m ³)	Kecepatan (Kg/m ³)	Massa
1	Campuran alumunium	26,7	2720	
2	Lapisan permukaan aspal	22,0	2240	
3	Besi tuang	71,0	7200	
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1760	
5	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2320	
6	Aspal beton	22,0	2240	
7	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000	
8	Beton	22,0 – 25,0	2240 – 2560	
9	Beton prategang	25,0 – 26,0	2560 – 2840	
10	Beton bertulang	23,5 – 25,5	2400 – 2600	
11	Timbal	111	11400	
12	Lempung lepas	12,5	1280	
13	Batu pasangan	23,5	2400	
14	Neoprin	11,3	1150	
15	Pasir kering	15,7 -17,2	1600 – 1760	
16	Pasir Basah	18,0 – 18,8	1840 – 1920	
17	Lumpur lunak	17,2	1760	
18	Baja	77,0	7850	
19	Kayu (ringan)	7,8	800	
20	Kayu (keras)	11,0	1120	
21	Air murni	9,8	1000	
22	Air garam	10,0	1025	
23	Besi tempa	75,5	7680	

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

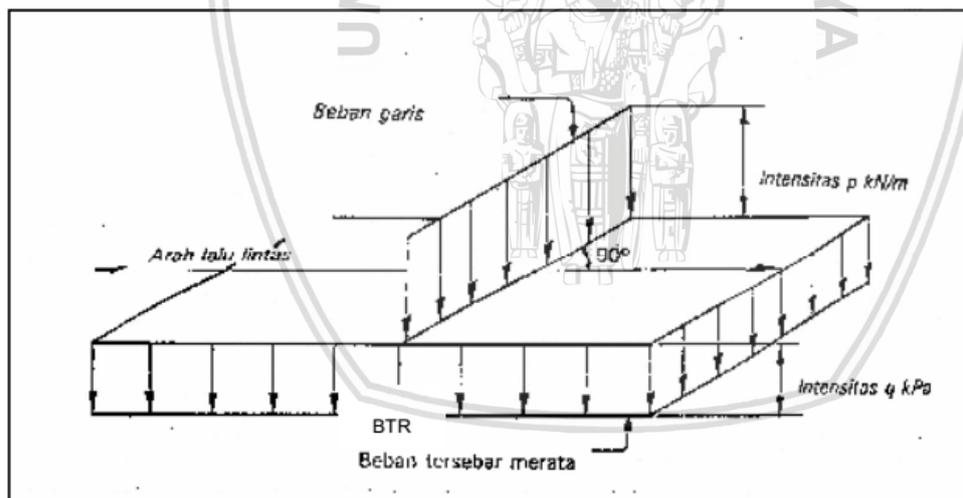
2.2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban bergerak yang melewati jembatan, termasuk pejalan kaki yang melintas pada jembatan tersebut.

2.2.4.3 Beban Lalu Lintas

Dalam perencanaan jembatan berdasarkan beban lalu lintas terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” adalah beban lajur lalu lintas yang berada pada elemen struktur pendukung seperti gelagar induk, gelagar melintang, dan gelagar memanjang. Beban lalu lintas yang diperhitungkan terdiri dari Beban Jalur Merata dan Beban Jalur yang saling berkerja sama dengan arah yang sejajar dengan bentang jembatan seperti pada gambar.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas jembatan rencana. Secara umum, beban “D” akan menjadi penentu dalam penentuan perhitungan beban jembatan yang memiliki bentang sedang sampai panjang. Sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan.



Gambar 2.9 Beban lajur “D”

Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005

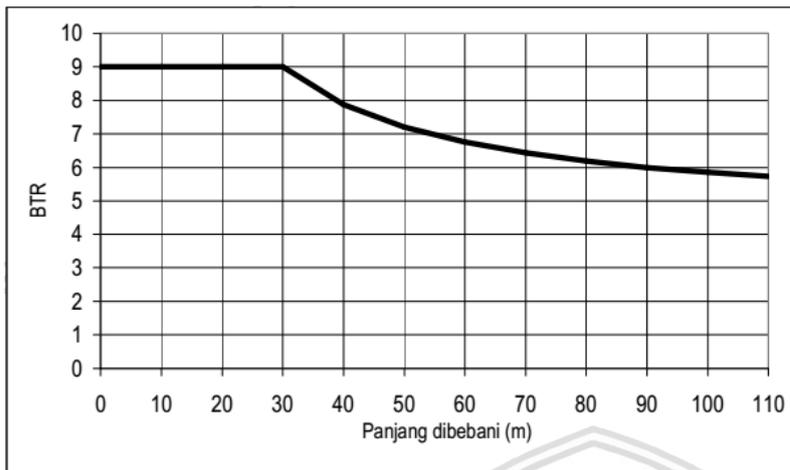
Susunan beban “D” terdiri dari beban merata dan beban garis. Dimana beban merata memiliki intensitas $q = \text{kPa}$, dimana besar q tergantung pada panjang bentang bagian jembatan yang dibebani :

Untuk $L \leq 30 \text{ m}$ $q = 9 \text{ kPa}$

Untuk $L > 30 \text{ m}$ $q = 9 [0,5 + 15/L] \text{ kPa}$

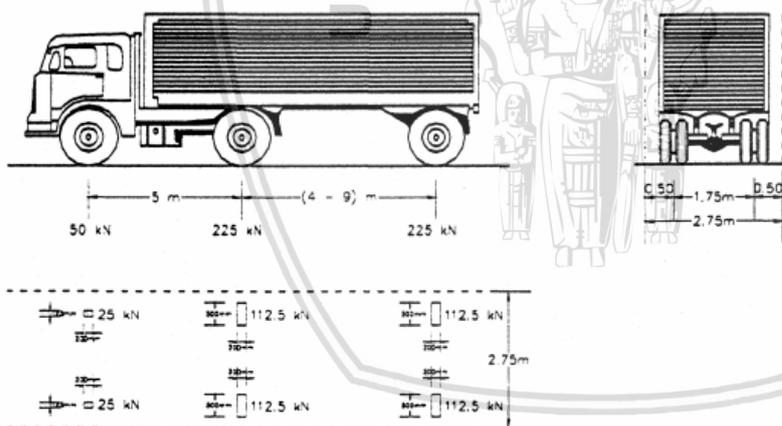
Sedangkan, untuk beban garis memiliki intensitas $P = \text{Kn/m}$ adalah $P = 49,0 \text{ Kn/m}$.

Dan untuk beban merata juga dapat ditentukan melalui grafik berikut :



Gambar 2.10 Beban “D” BTR vs panjang yang dibebani
Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005

Beban “T” suatu beban yang disusun berdasarkan beban suatu kendaraan berat dengan 3 roda yang ditempatkan pada beberapa posisi jalur rencana seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 2.11 Beban truk “T” (500kN)
Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005

2.2.4.4 Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang diperhitungkan pada gelagar induk. Beban angin adalah tekanan dari tiupan angin yang bekerja tegak lurus bidang struktur dan bidang lalu lintas di sepanjang bentang jembatan. Luas ekuivalen diambil sebagai luas pada bidang pengaruh pada struktur jembatan dalam elevasi proyeksi tegak lurus. Luas ekuivalen pada jembatan rangka diambil sebesar 30 % dari luas yang dibatasi unsur rangka terluar.

2.2.4.5 Beban Gempa

Pada struktur sederhana, pengaruh gempa dapat dianalisis menggunakan statik ekuivalen. Untuk struktur yang rumit misal jembatan maka pengaruh beban gempa terhadap struktur dapat dianalisis menggunakan analisis dinamis. Pengaruh gempa ditinjau hanya pada kondisi batas ultimit saja. Untuk beban rencana minimum dapat diperoleh dari rumus berikut :

$$T_{EQ} = \frac{K_h}{W_T} \quad (2.9)$$

Dimana,

$$K_h = C \cdot S \quad (2.10)$$

Keterangan :

T_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (KN)

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien geser dasar untuk daerah sesuai waktu dan kondisi setempat

I = Faktor kepentingan

S = Faktor tipe bangunan

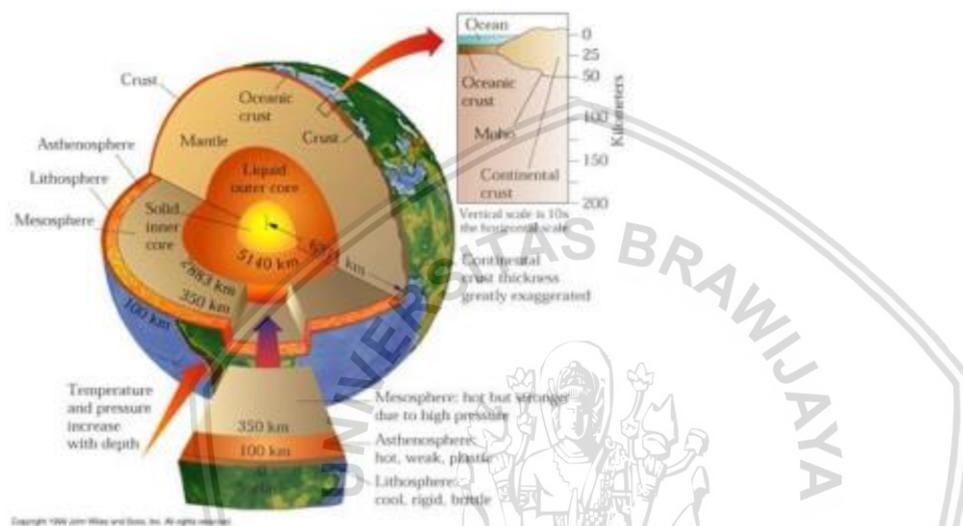
W_T = Berat total nominal bangunan. Beban mati + beban mati tambahan (KN)

2.3 Teori gempa bumi

2.3.1 Umum

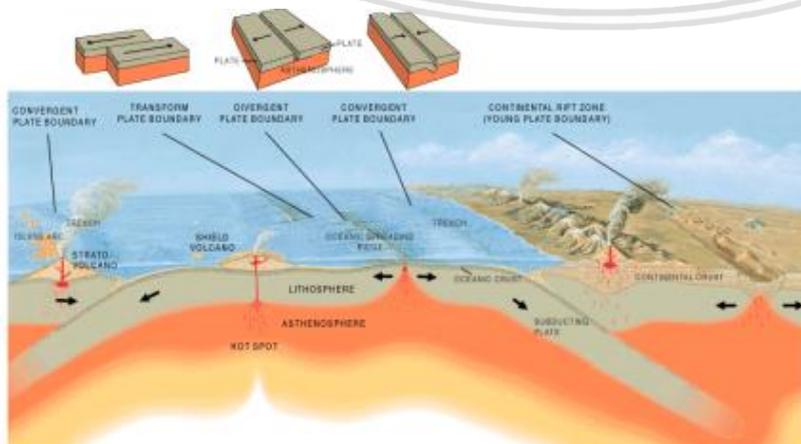
Gempa bumi merupakan peristiwa bumi bergetar akibat adanya pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba – tiba dan ditandai dengan adanya patahan pada lapisan batuan yang berada pada kerak bumi. Secara keseluruhan energi yang menjadi penyebab terjadinya gempa bumi berasal dari pergerakan lempeng – lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan menyebar kesegala arah berbentuk gelombang gempa bumi sampai ke permukaan bumi. Kerak bumi terbagi-bagi menjadi beberapa bagian yang disebut lempeng. Lempeng – lempeng ini mampu untuk bergerak dengan arah dan kecepatan yang tidak seragam.

Pergerakan lempeng terjadi karena adanya arus konveksi. Lapisan atas bumi terdiri dari lithosfer dan asthenosfer. Lithosfer memiliki densitas yang relatif lebih besar, mudah untuk patah, dan bersifat kaku. Asthenosfer memiliki densitas yang relatif lebih kecil dibanding dengan lithosfer, suhunya lebih tinggi dan kental. Bumi berputar secara terus-menerus sehingga akibatnya timbul arus pada asthenosfer yang memiliki suhu tinggi. Arus ini merupakan arus konveksi yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan yang rendah. Gerakan dari asthenosfer ini mengakibatkan lithosfer yang berbentuk lempeng – lempeng ikut bergerak.

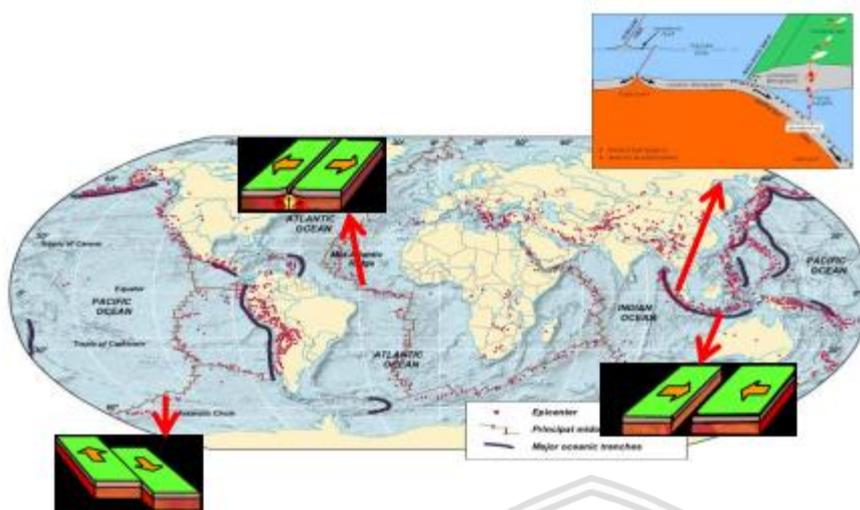


Gambar 2.12 Struktur lapisan bumi
Sumber : www.bmkg.go.id , 2015

Terdapat tiga jenis pergerakan lempeng terhadap lempeng lainnya, yaitu apabila kedua lempeng saling menjauhi (spreading), saling mendekati (collision) dan saling bergeseran (transform).



Gambar 2.13 Ilustrasi yang menggambarkan beberapa jenis batas lempeng
Sumber : USGS (2001)



Gambar 2.14 Posisi perbatasan lempeng pada peta dunia
Sumber : BMKG (2001)

Apabila dua lempeng saling bertabrakan maka batas di antara dua lempeng tersebut akan terjadi tegangan (stress). Tegangan ini akan berlangsung secara terus – menerus hingga melampaui kekuatan dari lapisan kerak bumi itu sendiri. Pada daerah terlemah kerak bumi akan mudah untuk mengalami patahan. Kulit bumi yang telah patah akan berusaha untuk kembali ke posisi semula dengan melepaskan energinya. Peristiwa pelepasan energi yang disebut dengan gempa bumi.

2.3.2 Penyebab gempa bumi

Gempa bumi adalah getaran yang ada pada lapisan kerak bumi. Berdasarkan garis besar gempa bumi dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu :

1. Gempa bumi vulkanik

Gempa bumi vulkanik terjadi karena adanya pergerakan magma sebelum meletusnya gunung api. Ketika keaktifan gunung api semakin meningkat sehingga mengakibatkan timbulnya ledakan bahkan terjadinya gempa bumi.

2. Gempa bumi tektonik

Gempa bumi tektonik ini merupakan jenis gempa bumi yang sering terjadi. Gempa ini disebabkan oleh adanya bergesernya lempeng – lempeng tektonik dengan tiba – tiba sehingga mengakibatkan menyebar dan merambatnya gelombang seismik yang dapat menimbulkan kerusakan yang dahsyat bahkan dapat mengakibatkan tsunami. Gempa bumi tektonik biasanya getarannya jauh lebih kuat jika dibandingkan dengan

jenis gempa lain. Oleh karena itu gempa bumi tektonik sering mengakibatkan kerusakan di permukaan bumi dan membahayakan banyak orang. Besarnya kerusakan bergantung pada besarnya getaran yang mencapai permukaan bumi.

3. Gempa bumi runtuhan

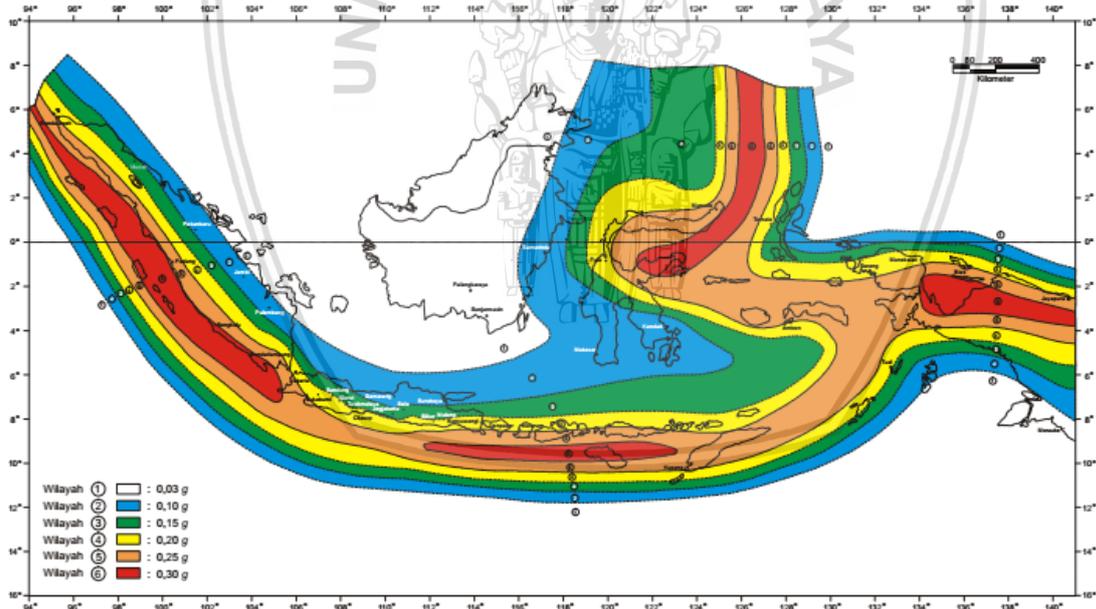
Gempa bumi ini disebabkan akibat adanya reruntuhan baik di atas permukaan maupun di bawah permukaan bumi. Gempa ini biasanya terjadi di daerah kapur dan pertambangan.

4. Gempa bumi buatan

Gempa bumi buatan merupakan gempa yang terjadi akibat aktivitas manusia seperti peledakan bom, dinamit, ataupun nuklir.

2.3.3 Wilayah Gempa

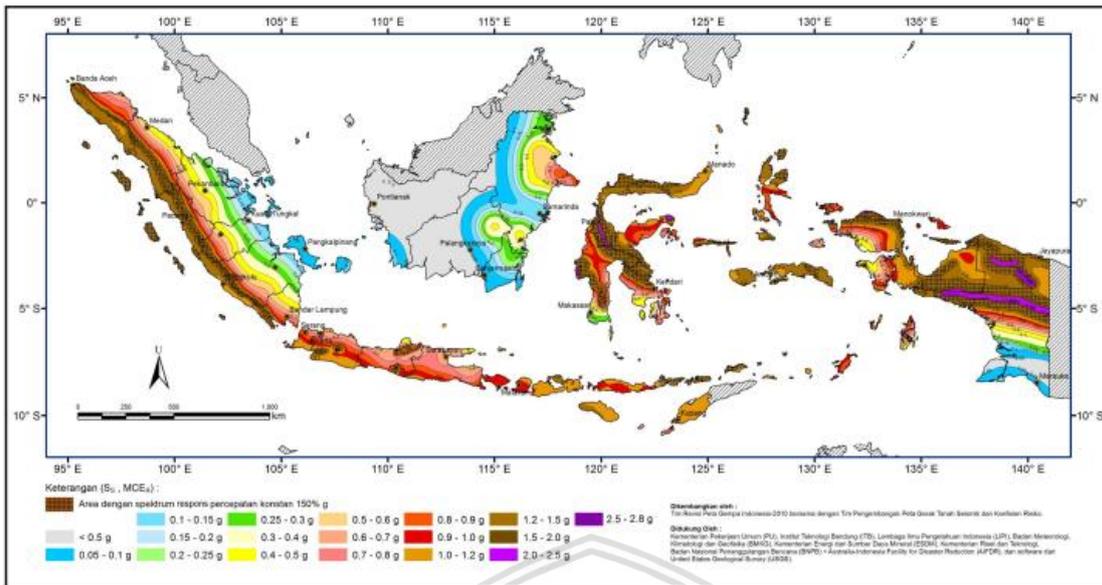
Indonesia terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti pada gambar 2.15. Wilayah gempa 1 merupakan wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 merupakan wilayah dengan kegempaan paling tinggi. (SNI 03-1726-2002 pasal 4.7).



Gambar 2.15 Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun

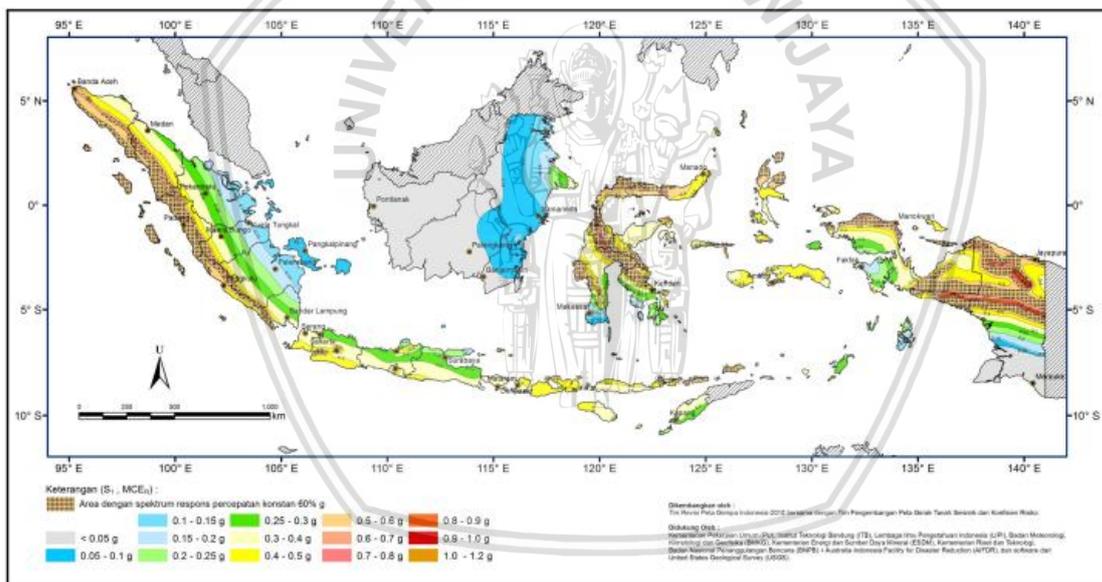
Sumber : SNI 03-1726-2002

Wilayah gempa juga dapat dilihat berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Terlihat pada gambar 0.0 dan 0.0. (SNI 03-1726-2012 pasal 14).



Gambar 2.16 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R) kelas situs SB

Sumber : SNI 03-1726-2012



Gambar 2.17 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R) kelas situs SB

Sumber : SNI 03-1726-2012

2.3.4 Ukuran karakteristik gempa

Menurut Clough (1982), Hal yang paling diperhatikan oleh ahli teknik gempa adalah seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan gempa terhadap struktur, pengaruh dalam bentuk tegangan, deformasi, atau jumlah kerusakan yang terjadi. Tingkat kerusakan tentu saja bergantung pada besarnya gempa itu sendiri. Terdapat dua ukuran gempa yang dapat digunakan untuk menunjukkan besarnya gempa, yaitu :

2.3.4.1 Magnitude

Untuk menentukan besarnya gempa yang terjadi maka dapat menggunakan cara *magnitude* atau dapat disebut magnitudo gempa. Magnitudo gempa adalah bentuk kuantifikasi terhadap terjadinya gempa agar masyarakat dapat mengetahui besar kecilnya gempa. Pada umumnya dipakai empat macam magnitudo gempa.

Tabel 2.4

Jenis – Jenis Magnitudo Gempa

No.	Nama	Definisi	Aplikasi
1.	Local Magnitude M_L	Magnitudo gempa lokal, $T_s \pm 1$ detik <i>wave length</i> 300 m – 6000 m. Untuk jarak episenter $R < 1000$ km.	Untuk gempa dengan $M_L = 3 - 7$.
2.	Surface Magnitude M_s	Magnitudo gempa berdasar <i>surface wave</i> untuk $R > 1000$ km. <i>Wave length</i> 60 km, T -wave ± 20 detik.	Untuk gempa dengan $M_s = 5 - 7,5$
3.	Body Magnitude M_b	Untuk gempa dalam, sehingga berdasar pada <i>P-wave</i> (small strain), <i>T-wave</i> 1-3 detik.	Untuk gempa dengan $M_b = 5 - 7$
4.	Moment Magnitude M_w	Dihitung berdasarkan <i>elastic strain energy released</i> .	Untuk $M_w > 7,5$

Sumber : Buku seismologi teknik & rekayasa kegempaan, Widodo Pawirodikromo (2012)

Berikut merupakan pembahasan dari tiap macam – macam magnitudo gempa :

- Local Magnitude (M_L)

Magnitudo gempa berhubungan dengan pelepasan energi pada saat terjadinya gempa bumi. Kemudian Richter (1935) memberikan notas M sebagai simbol magnitudo gempa yang kemudian dikenal sebagai M skala Richter (*M Richter scales*). Karena gempa yang diukur sifatnya lokal maka magnitudo gempa diberi notasi M_L .

- **Surface Magnitude (M_S)**
Kramer (1996) mengatakan bahwa *Local Magnitude* tidak dapat membedakan pengaruh jenis gelombang. Pada lokasi yang jauh dari episenter, maka *body waves* menjadi melemah sehingga getaran tanah lebih didominasi oleh *surface waves*.
- **Body Magnitude (M_B)**
Body Magnitude dihitung berdasarkan gelombang *P-wave*. Magnitude gempa M_B digunakan apabila gempa yang terjadi relatif dalam. Ketika kondisi gelombang permukaan *surface waves* melemah, sebaliknya gelombang *P-wave* menjadi dominan.
- **Moment Magnitude (M_W)**
Gempa yang diukur dari beberapa lokasi akan menghasilkan hasil magnitudo gempa yang berbeda. Kramer (1996) mengatakan bahwa pengukuran gempa dengan parameter gerakan tanah menjadi kurang maksimal pada gempa-gempa besar jika dibandingkan dengan gempa yang lebih kecil. Hal ini pada umumnya disebut dengan *earthquake magnitude saturation*. *Saturation* adalah kondisi dimana perhitungan magnitudo menjadi kurang teliti. Sehingga perlu dicari parameter lain untuk menentukan magnitudo gempa. Jadi parameter yang dapat digunakan adalah akibat langsung yang disebabkan oleh gempa yaitu geometri dan konfigurasi patahan. Dengan demikian terutama untuk gempa yang skalanya lebih besar maka perhitungannya tidak lagi memakai *wave amplitude* akan tetapi menggunakan besaran *energy released*.

2.3.4.2 Intensitas gempa

Selain menggunakan cara magnitudo gempa, terdapat cara lain untuk menggambarkan seberapa besar gempa yang terjadi yaitu dengan melihat seberapa besar kerusakan akibat gempa. Kemudian cara ini menghasilkan apa yang dimaksud dengan intensitas gempa. Konsep intensitas gempa ini didasarkan pada kejadian langsung di lokasi gempa. Secara umum intensitas gempa merupakan klarifikasi kekuatan guncangan yang didasarkan pada efek terekam dan yang terjadi di lapangan. Klarifikasi tersebut dinyatakan dalam bentuk angka Romawi (I, II, III, IV, V dan seterusnya).

Tabel 2.5
Skala MMI (*Modified Mercalli Intensity Scale*)

Skala	Keterangan
Intensitas	
I	Tidak terasa orang, hanya tercatat oleh pencatat yang peka.
II	Getaran terasa oleh orang yang sedang istirahat, terutama yang berada di lantai dan di atasnya.
III	Benda-benda yang tergantung bergoyang, bergetar ringan.
IV	Getaran seperti truk lewat. Jendela, pintu dan barang pecah belah bergemerincing.
V	Getaran terasa oleh orang di luar gedung, orang tidur terbangun, benda-benda tidak stabil di atas meja terguling atau jatuh, pintu bergerak menutup dan membuka.
VI	Getaran terasa oleh semua orang, banyak orang takut dan keluar rumah, berjalan kaki sulit, kaca jendela pecah, meja dan kursi bergerak.
VII	Sulit berdiri, getaran terasa oleh pengendara motor dan mobil, genteng di atap terlepas.
VIII	Pengemudi mobil terganggu, tembok bangunan retak.
IX	Semua orang panik, tembok bangunan mengalami kerusakan berat, pipa-pipa dalam tanah putus.
X	Sebagian konstruksi portal dan temboknya rusak beserta pondasinya, tanggul dan bendungan rusak berat, rel kereta api bengkok sedikit, banyak terjadi tanah longsor.
XI	Rel kereta api rusak berat, pipa-pipa dalam tanah rusak.
XII	Terjadi kerusakan total, bangunan-bangunan mengalami kerusakan, barang-barang terlempar ke udara.

Sumber: Chen (2000).

Tabel 2.6

Hubungan antara Magnitude dengan Intensitas Gempa

Magnitude (Richter)	Intensitas (MMI)	Pengaruh-pengaruh Tipikal
≤ 2	I-II	Pada umumnya tidak terasa.
3	III	Terasa di dalam rumah, tidak ada kerusakan.
4	IV-V	Terasa oleh banyak orang, barang-barang bergerak, tidak ada kerusakan struktural.
5	VI-VII	Terjadi beberapa kerusakan struktural, seperti retak-retak pada dinding.
6	VII-VIII	Kerusakan menengah, seperti hancurnya dinding.
7	IX-X	Kerusakan besar, seperti runtuhnya bangunan.
≥ 8	XI-XII	Rusak total atau hamper hancur total.

Sumber: Chen (2000).

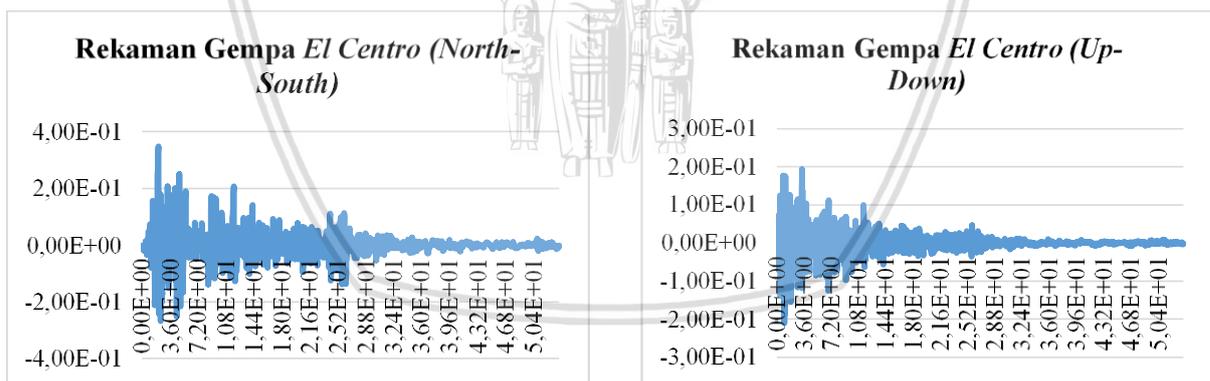
Konsep intensitas gempa yang ditemukan oleh Mallet kemudian digunakan oleh para ahli seismologi sebagai salah satu karakteristik gempa. Kemudian intensitas gempa dijadikan sebagai derajat kerusakan bangunan, kerusakan muka tanah, dan reaksi orang-orang pada saat terjadinya gempa. Dengan berjalannya waktu maka konsep intensitas berkembang sesuai dengan pengetahuan manusia tentang fenomena gempa bumi. Pengukuran intensitas gempa dengan skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) didasarkan pada empat parameter pokok yaitu :

1. Perasaan orang – orang saat terjadinya gempa
2. Respon dari suatu objek akibat guncangan dari gempa
3. Kerusakan bangunan di lapangan akibat gempa
4. Kerusakan lingkungan akibat terjadinya gempa

2.4 Analisis Dinamis

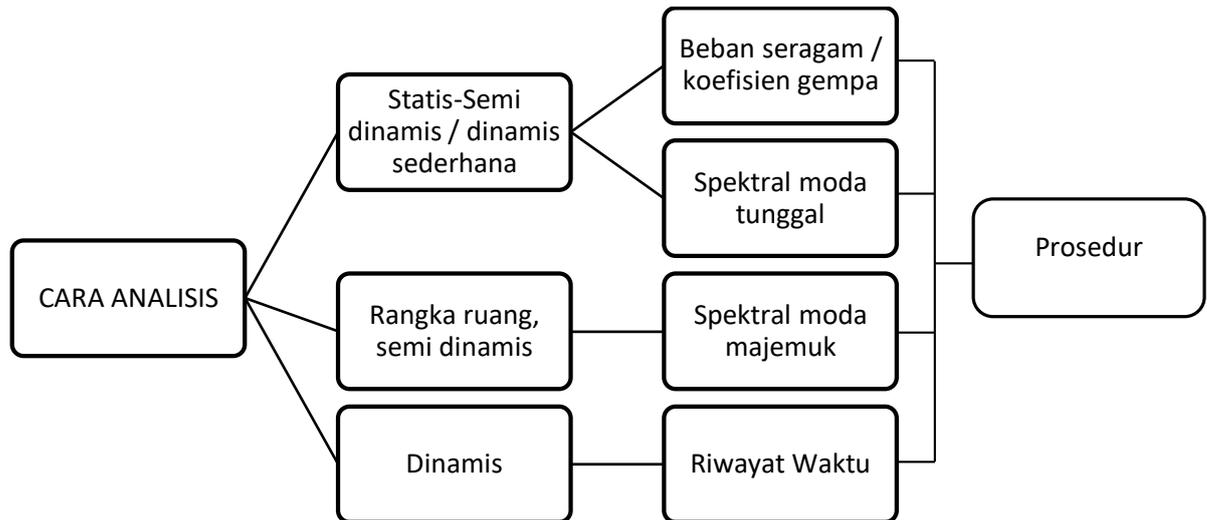
2.4.1 Umum

Dalam analisis bangunan akibat gempa dapat menggunakan statik maupun dinamis. Analisis statik yang umumnya digunakan yaitu analisis gaya lateral ekuivalen. Analisis statik ekuivalen adalah dimana beban gempa dimodelkan sebagai beban terpusat pada tiap-tiap lantai bangunan / struktur gedung, dimana beban gempa berkerja secara statis. Sehingga pada umumnya analisis statik ekuivalen digunakan untuk struktur yang sederhana seperti bangunan gedung. Sedangkan untuk analisis dinamis terbagi menjadi dua bagian yaitu analisis respons spektrum dan analisis riwayat waktu dengan respons seismik (*time-history*). Analisis dinamis didasarkan pada teori mekanika vibrasi dengan memperhitungkan faktor simpangan, kecepatan dan percepatan suatu bangunan sebagai fungsi waktu. Berdasarkan SNI-1725-2012, terdapat banyak batasan yang digunakan dalam analisis statis ekuivalen. Batasan – batasan ini digunakan karena hasil analisis ekuivalen kurang mendekati kondisi sebenarnya. Menurut Widodo (2001) analisis riwayat waktu (*time-history*) adalah metode yang paling mendekati dan dapat meramalkan respons parameter struktur akibat beban gempa. Sehingga perlu adanya analisis dinamis untuk dapat mendapatkan respons bangunan yang lebih mendekati respons struktur pada kondisi yang sebenarnya ketika terjadi gempa.



Gambar 2.18 Rekaman gempa El Centro di California
Sumber : El Centro (1979)

Analisis dinamis juga diperlukan sebagai verifikasi, apabila perilaku struktur gempa tidak diwakili sepenuhnya oleh analisis statis dan semi dinamis.



Gambar 2.19 Prosedur analisis tahan gempa
Sumber : Pd-T-04-2004-B

Dalam analisis dinamis untuk jembatan perlu mempertimbangkan beberapa hal yaitu :

- Bentang utama lebih dari 200 m
- Jembatan fleksibel dengan periode panjang yang lebih dari 1,5 detik
- Tinggi pilar jembatan lebih dari 30 m
- Jembatan pelengkung dengan tipe rantai di atas, struktur kabel (cable-stayed), jembatan gantung, dan jembatan yang menggunakan isolasi dasar.

2.4.2 Analisa Nilai Eigen

Sebelum melakukan analisis dinamis perlu dilakukan analisa nilai eigen value. Analisa nilai eigen menghasilkan bentuk ragam getaran bebas tanpa redaman dan frekuensi dari sistem. Dari ragam getaran tersebut bisa dilihat perilaku suatu struktur ketika mengalami gaya gempa. Kemudian setiap mode yang dominan dianalisis untuk mengetahui karakteristik dinamis yang utama pada struktur tersebut.

Persamaan gerak untuk keseimbangan dinamis:

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K] u(t) = P(t) \quad (2.11)$$

Dimana $[M]$, $[C]$, $[K]$ berturut –turut adalah matriks yang lebih kompleks.

Nilai-nilai *Eigen* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$[K - \omega^2 M] \Phi = 0 \quad (2.12)$$

Analisa nilai eigen bertujuan untuk mengetahui nilai *damping ratio* untuk input analisis dinamis struktur. Untuk perhitungan koefisien α dan β yang akan dipakai pada analisis dinamis adalah sebagai berikut:

Adapun beberapa parameter yang mempengaruhi respon dinamik struktur, antara lain:

a. Periode getar

Periode getar adalah waktu yang diperlukan struktur untuk melakukan satu siklus getaran harmonik sederhana dalam satu mode getarnya. Hubungan antara periode getar dan frekuensi alami ω_n dan frekuensi alami cyclic f_n adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.13)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.14)$$

b. Mode getar

c. Redaman

Menurut Chopra (1995), redaman merupakan proses dimana getaran bebas berkurang amplitudonya. Pada redaman, energi dari system yang bergetar terdisipasi melalui berbagai macam mekanisme. Newmark dan Hall (1982) menentukan rekomendasi nilai rasio redaman untuk beberapa tipe dan kondisi struktur.

Tabel 2.7

Tabel Rekomendasi Nilai Rasio Redaman untuk Beberapa Tipe dan Kondisi Struktur

1.	Piping	0,5 %
2.	Welded steel	1,0 %
3.	Structural steel building frames	2,0 %
4.	Prestressed concrete	2,0 %
5.	Reinforced concrete	5,0 %

Sumber : J.D. Stevenson (1980)

2.4.3 Prinsip Analisis *Time History*

Analisis riwayat waktu merupakan metode analisis gempa yang lebih mendekati dengan perancangan struktur pada kondisi yang sebenarnya, dimana metode ini dengan mengambil nilai percepatan tanah maksimum dari beberapa catatan respons gempa pada setiap interval waktu.

Dalam analisis riwayat waktu perlu adanya data gempa besar tipikal yang berada di sekitar daerah lokasi jembatan. Gerakan gempa dibentuk berupa gelombang akselerasi dengan amplitudo yang dimodifikasi berdasarkan wilayah frekuensi gempa (*frequency zone*) sehingga dapat sesuai dengan akselerasi standar respon spektra. Gempa tipikal harus dipilih berdasarkan pada kondisi tanah dan topografi yang serupa dengan lokasi jembatan, sehingga dapat dilakukan modifikasi amplitudo.

Gerakan gempa masukan di permukaan tanah dimodifikasi dengan rumus berikut :

$$S = c_z \cdot c_D \cdot S_o \quad (2.15)$$

Keterangan :

- S = Akselerasi gerakan gempa masukan
- c_z = Faktor modifikasi wilayah gempa
- c_D = Faktor modifikasi nilai redaman
- S_o = Akselerasi standar respon spektra

2.5 Software ABAQUS

Software ABAQUS Student Edition merupakan penyedia program yang dapat memodelkan benda yang akan dianalisis dalam bentuk CAE. Program tersebut berfungsi sebagai desain model yang kekuatan dari materialnya dapat dimasukkan dari data-data material yang ada. Seperti berbagai program komputer yang ada di pasaran, *software ABAQUS Student Edition* memiliki CAD / CAM/ CAE yang berfungsi sebagai program untuk analisis elastis dan plastis. Keunggulan *ABAQUS Student Edition* dibandingkan dengan program lainnya yang sejenis adalah menu yang ada pada *ABAQUS Student Edition* lengkap pada *part modulnya*. Selain itu, kita juga bisa melakukan pengujian terhadap material dengan memasukkan data material secara manual di dalam *input file*. Pengembangan bahasa program dalam *ABAQUS Student Edition* membuat para desainer lebih mudah dalam menentukan metode yang digunakan untuk melakukan proses simulasi dan analisis (*ABAQUS Student Edition User manual*, 2003).

Kemungkinan terjadi kegagalan dan kesalahan selama proses *running* dari *input file* yang sudah dimasukkan biasanya disebabkan karena kesalahan dalam meng-*input* data pada *module ABAQUS Student Edition*. Analisis *ABAQUS Student Edition* secara lengkap terdiri dari tiga tahap, yaitu:

1. Proses Awal (*Preprocessing*).

Bagian ini merupakan langkah awal untuk menentukan model yang akan dilakukan analisis. Pemodelan part dilakukan dalam software *ABAQUS Student Edition* dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, dapat menggunakan koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum dilakukan simulasi, terlebih dahulu harus memeriksa semua *keyword* dan parameter yang digunakan agar tidak terjadi kesalahan. Selain itu, urutan dalam memasukkan data harus diperhatikan dengan benar serta tidak lupa memastikan satuan yang digunakan dalam input data.

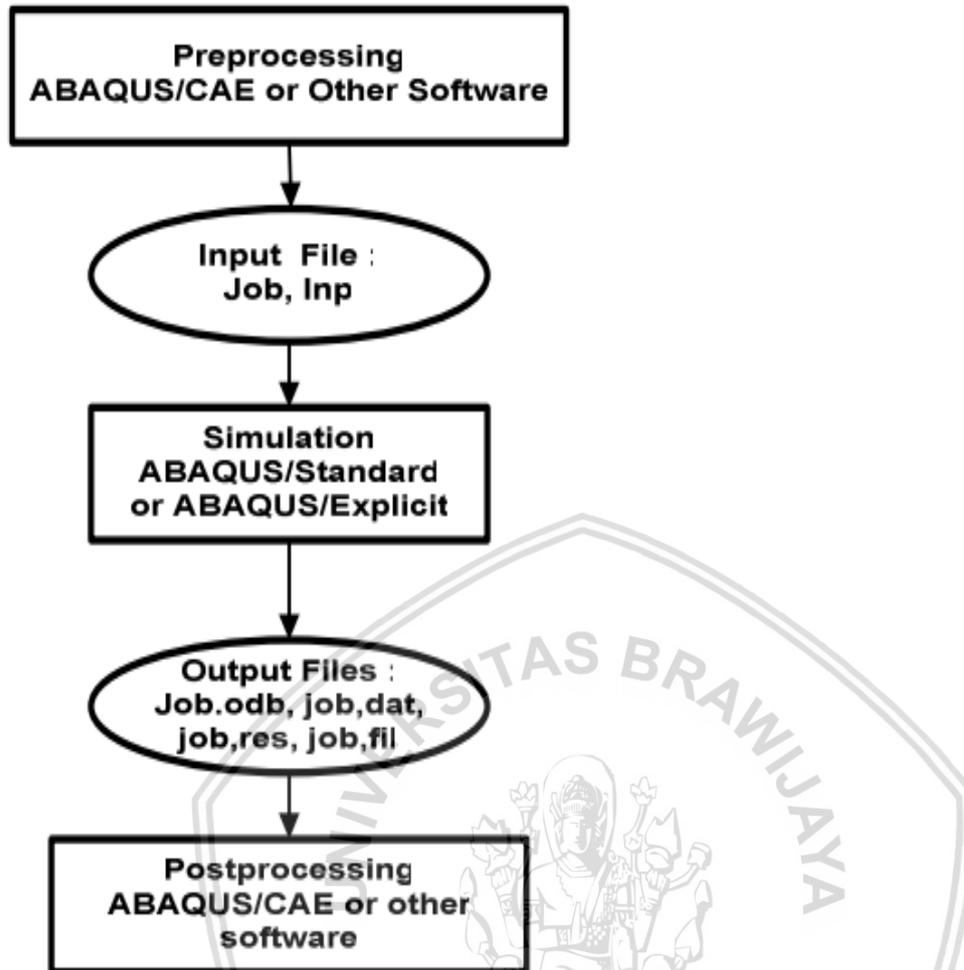
2. Simulasi (*Simulation*).

Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses merupakan tahap dimana program *ABAQUS Student Edition* memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model.

3. Proses Akhir (*Postprocessing*)

Pada proses ini dapat diambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai berupa perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

Apabila dibentuk menjadi sebuah diagram alir, maka analisis dalam *ABAQUS Student Edition* sebagai berikut:



Gambar 2.20 Diagram Aliran Proses *Running*
Sumber: ABAQUS *Student Edition* Analysis User's Manual 6.9.

Dengan mengikuti alur diagram di atas suatu permasalahan dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Sebagai suatu program untuk desain dan analisis numerik, ABAQUS *Student Edition* dapat bekerja pada daerah elastis dan plastis dengan hasil tampilan sebuah grafik yang berupa diagram *linier-non linier* lengkap.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini jembatan rangka baja dengan skala penuh digunakan sebagai benda uji dan benda uji dimodelkan menggunakan *software* numerik ABAQUS Student Edition. Pemodelan ini digunakan untuk mendapatkan tegangan dan regangan pada jembatan tipe *warren* yang disebabkan adanya beban sendiri akibat jembatan dan beban gempa dua dan tiga arah. Dalam analisis beban gempa digunakan analisis dinamis dengan menggunakan metode riwayat waktu (*time-history*). Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kemampuan / kapasitas jembatan dalam menahan beban – beban yang terjadi.

3.1 Data Jembatan

3.1.1 Data Umum Jembatan

Berikut ini merupakan data umum jembatan yang menjadi objek dalam analisis :

Nama struktur model	: Jembatan Soekarno-Hatta.
Lokasi	: Kota Malang, Provinsi Jawa Timur.
Kelas	: Kelas I.
Fungsi	: Jalan Raya.



Gambar 3.1 Jembatan Rangka Soekarno-Hatta Malang
Sumber: www.malangvoice.com

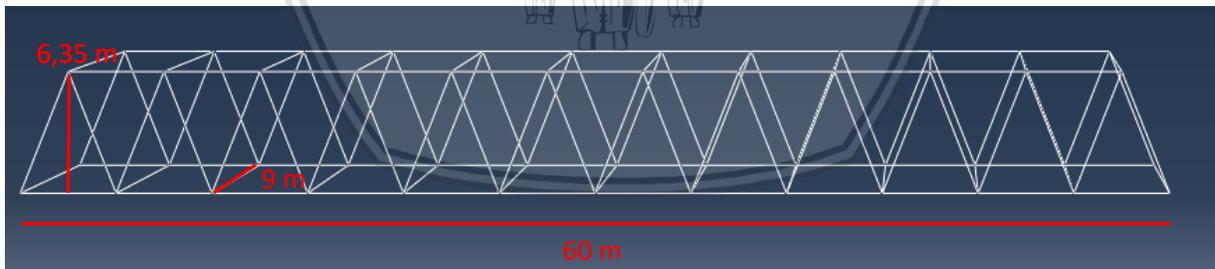
3.1.2 Data Teknis Jembatan

Jembatan rangka yang menjadi fokus penelitian ini memiliki data teknis sebagai berikut:

Type	: Jembatan Rangka Batang.	
Bentang	: 60 meter.	
Lebar	: 1. Lantai beton bertulang	= 9,00 m.
	2. Jarak dengan rangka samping	= 0,20 m.
	3. Rangka	= 2 x 0,42 m.
	4. Total	= 10,04 m.
	5. Lajur lalu lintas kendaraan	= 7,00 m.
	6. Lajur pejalan kaki	= 2 x 1,00 m.
Tinggi	: 1. Sistem rangka	= 6,35 m.
	2. Tinggi bebas vertikal	= 5,10 m.
Material	: Baja	
Tumpuan	: Sendi – rol	

3.1.3 Gambar Perencanaan Struktur Jembatan

Detail pemodelan struktur jembatan dilakukan dengan melalui proses pendekatan dengan jembatan rangka di lapangan.



Gambar 3.2 Layout jembatan pada software ABAQUS Student Edition

Dalam penentuan dimensi dan profil baja pada jembatan menggunakan desain jembatan rangka yang berada pada pusat Kota Malang yaitu Jembatan Soekarno-Hatta. Analisis dilakukan dengan menggunakan mutu baja dan modulus elastisitas yang seragam pada seluruh struktur jembatan dan dengan mutu baja, modulus elastisitas, dan rasio poisson yang disesuaikan dengan SNI 03-1729-2002 yaitu :

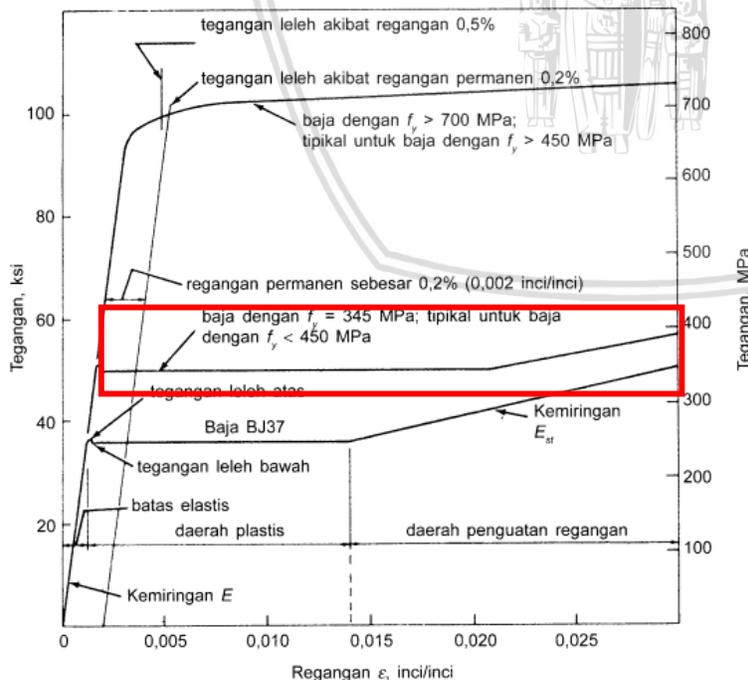
- Modulus elastisitas E = 200.000 MPa
- Rasio poisson = 0,3
- Mutu baja = BJ – 41

Tabel 3.1

Dimensi Profil Baja Model Jembatan

No.	Bagian Struktur	Dimensi Profil
1.	Rangka Utama	WF 400.300.145.15
2.	Rangka Utama Tepi (Dekat Tumpuan)	WF 400.350.170.40
3.	Balok Melintang Atas	WF 200.150.6.9
4.	Balok Melintang Bawah	WF 400.300.145.15

Sedangkan untuk data tegangan didapatkan dari hubungan tegangan – regangan yang digambarkan pada Gambar 3.2, kemudian diambil 10 titik yang terhitung setelah baja melewati kondisi leleh dan titik-titik tersebut digunakan sebagai nilai dari tegangan dan regangan yang akan dimasukkan ke dalam *software* ABAQUS Student Edition.



Gambar 3.3 Hubungan tegangan-regangan tipikal

Sumber: Salmon & Johnson, *Srceel Structures Design and Behavior*, 4^r ed

Tabel 3.2 merupakan data dari 10 titik yang akan dimasukkan ke dalam ABAQUS Student Edition.

Tabel 3.2

Nilai True Strain dan True Stress yang dimasukkan pada software ABAQUS Student Edition

Regangan	Tegangan	True Strain	True Stress
0.0019	342	0.0019	342.6498
0.005	342	0.0050	343.71
0.01	342	0.0100	345.42
0.015	342	0.0149	347.13
0.02	342	0.0198	348.84
0.0206	342	0.0204	349.0452
0.0228	358.3	0.0225	366.4692
0.025	362.5	0.0247	371.5625
0.0275	375	0.0271	385.3125
0.03	391.7	0.0296	403.451

3.2 Analisis Nilai Eigen

Analisa nilai eigen dilakukan untuk mengetahui nilai *damping ratio* (α dan β) untuk input analisis dinamis struktur. Dalam analisis ini, jembatan terlebih dahulu dibagi menjadi 10 bagian. Kemudian dilakukan analisa nilai eigen sehingga mendapatkan dua nilai *mode shape* terbesar. Setelah itu diperlukan perhitungan frekuensi alami untuk mengetahui karakteristik dinamis yang utama pada struktur tersebut sehingga terlihat bagaimana perilaku dominan struktur jembatan rangka yang dimodelkan.

$$\omega = 2 \pi f \quad (3.1)$$

Kemudian melakukan perhitungan koefisien α dan β dengan menggunakan rumus sebagai berikut ini:

$$\alpha = \xi \cdot 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (3.2)$$

dan

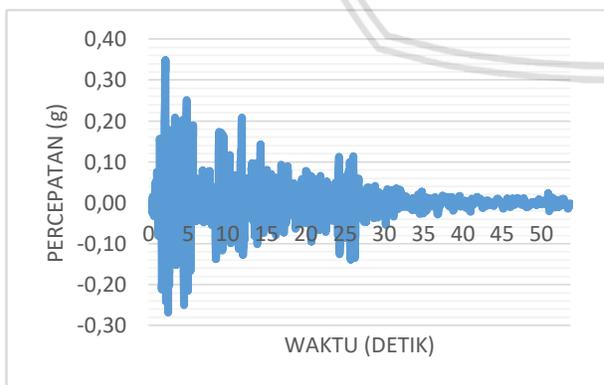
$$\beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad (3.3)$$

dimana untuk frame baja digunakan $\xi = 2\%$

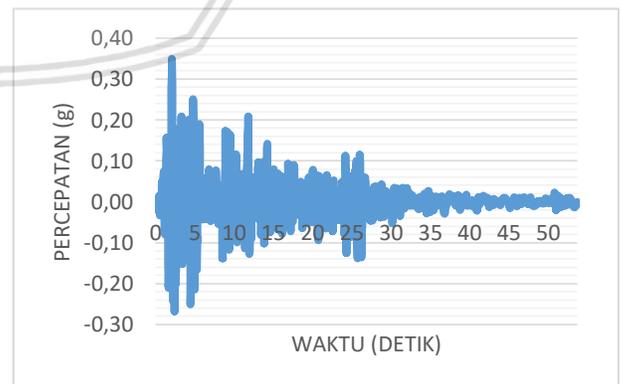
Selanjutnya dapat dilakukan analisis dinamis jembatan rangka dengan menggunakan metode *time history*.

3.3 Analisis dinamis

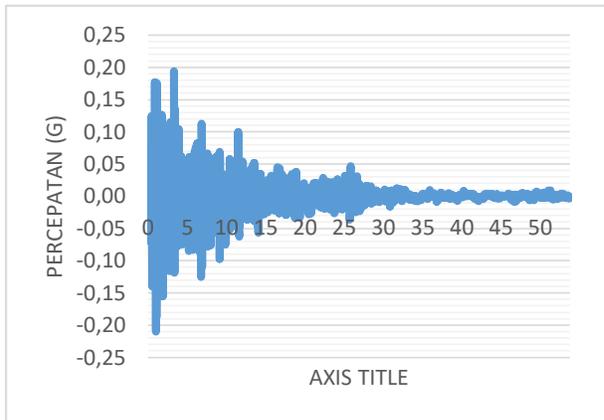
Analisis dinamis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *time history analysis* (analisis riwayat waktu) dengan menggunakan *software ABAQUS Student Edition*. Analisis dan modelisasi struktur dilakukan secara dua dan tiga dimensi pada Jembatan Sokarno-Hatta Kota Malang. Pada analisis ini didapatkan data gempa yang berupa percepatan dan waktu. Data gempa didapatkan dari data gempa El Centro California tahun 1979. Gambar 3.3 dan 3.4 merupakan rekaman gempa yang digunakan dalam analisis ini. Beban gempa akan diperbesar hingga jembatan mengalami keruntuhan untuk mengetahui tegangan dan regangan maksimum jembatan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.4 Data gempa El Centro, California (a) Gempa arah east-west, (b) Gempa arah north-south, (c) Gempa arah up-down

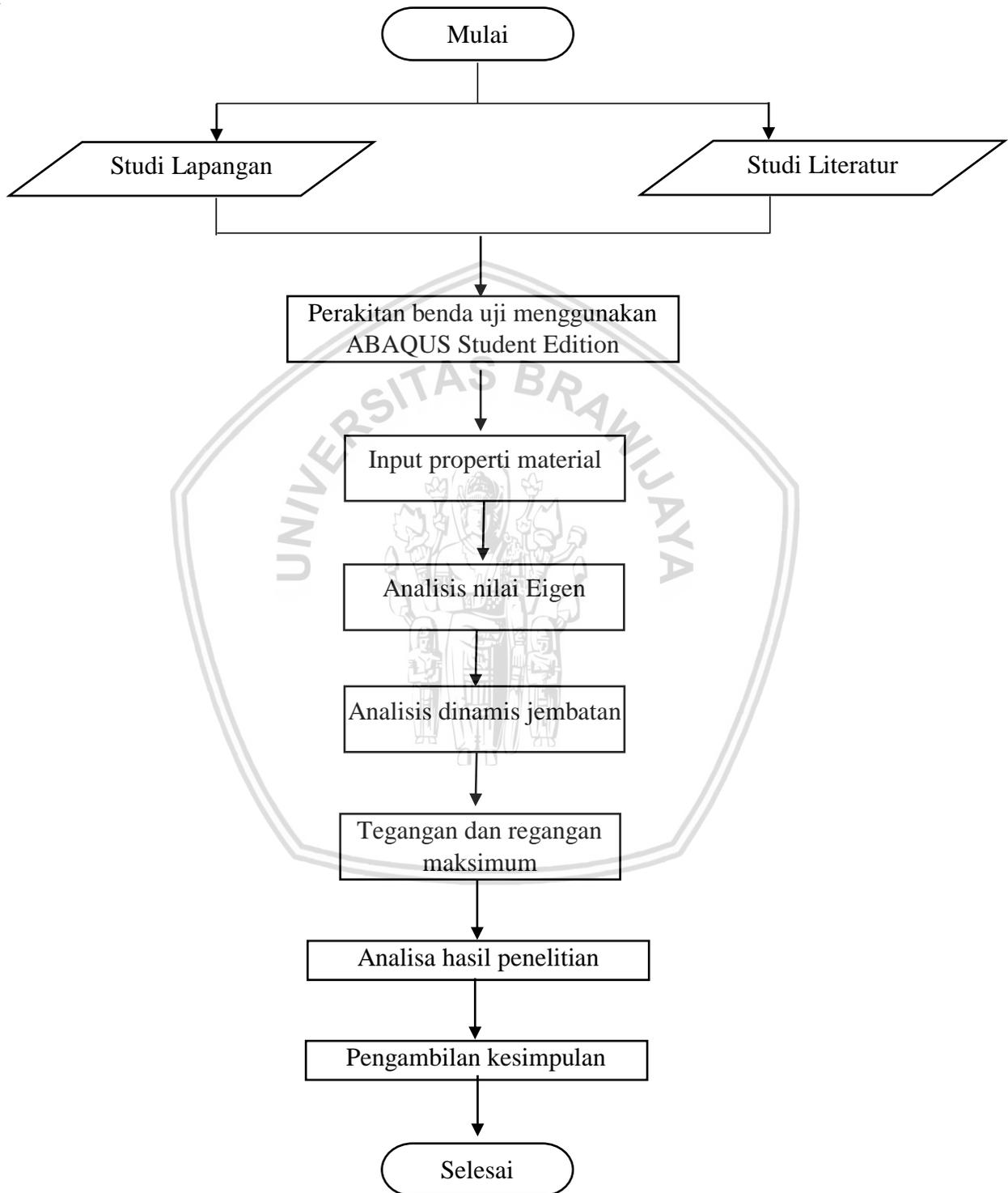
3.4 Metode Penelitian

Langkah-langkah penelitian kali ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- 1.) Menentukan topik yang akan digunakan untuk penelitian.
- 2.) Studi lapangan dan literatur.
Penulis melakukan studi lapangan dan literatur sebagai dasar teori untuk menganalisis permasalahan. Selain itu, studi lapangan juga digunakan sebagai pemodelan struktur jembatan yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut pada software *ABAQUS Student Edition*.
- 3.) Melakukan perakitan model jembatan rangka ke dalam software *ABAQUS Student Edition*.
- 4.) Memasukkan input data property material ke dalam software *ABAQUS Student Edition*.
- 5.) Melakukan analisis nilai eigen
- 6.) Melakukan analisis dinamis jembatan sehingga didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum.
- 7.) Melakukan analisa penelitian.
- 8.) Menyimpulkan hasil analisa penelitian
- 9.) Selesai

Meliputi hal utama yang bisa diambil setelah dilakukannya penelitian.

Diagram alir penelitian yang menjelaskan tentang prosedur dan tahapan penelitian disajikan pada Gambar 3.5.



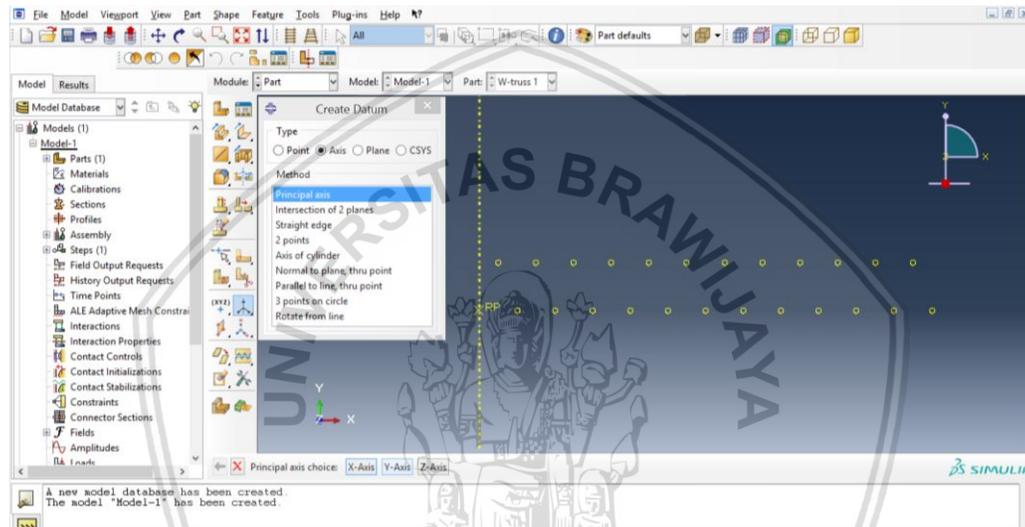
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

3.5 Pemodelan dengan *Software ABAQUS Student Edition*

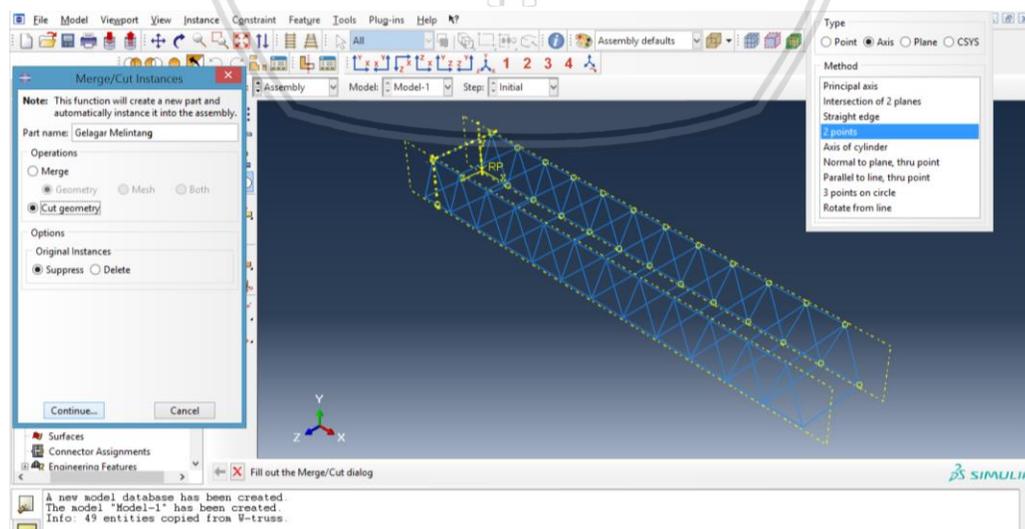
Berikut ini adalah cara-cara dalam menggambarkan model spesimen uji dengan menggunakan fasilitas *ABAQUS Student Edition*. Langkah-langkah pemodelan dengan *ABAQUS Student Edition* adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan Benda Uji.

Pada langkah ini benda uji dimodelkan dengan membuat koordinat-koordinat. Kemudian setelah koordinat-koordinat terbentuk, digabungkan hingga terbentuk jembatan rangka yang akan diuji dengan model (*W-Truss*).



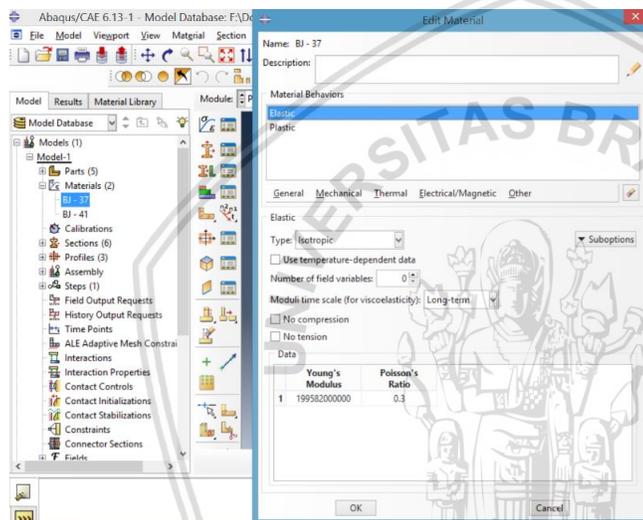
Gambar 3.6 Hasil input koordinat-koordinat setiap titik pada jembatan *W-Truss*.



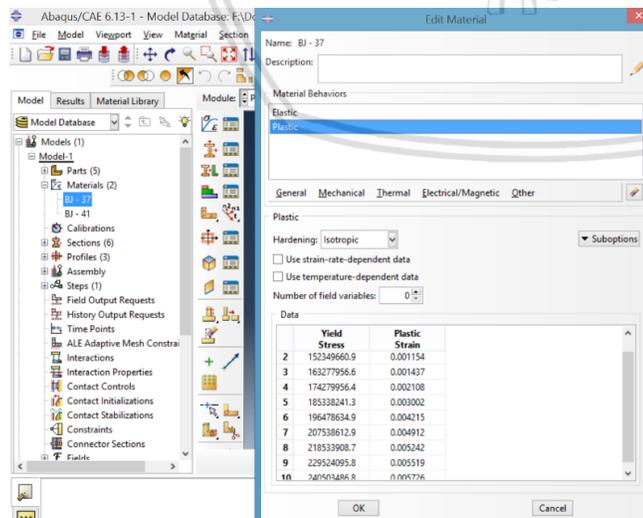
Gambar 3.7 Penggabungan koordinat-koordinat membentuk jembatan *W-Truss*.

2. *Input Property.*

Langkah berikut ini jembatan rangka yang telah terbentuk dimasukkan material, profil dan *section assignment*. Pada bagian material, dimasukkan mutu baja yang digunakan beserta nilai tegangan-regangan yang sesuai dengan mutu baja tersebut. Setelah itu *input* nilai modulus elastisitas dan *poisson rasio*. Sedangkan, pada bagian profil dimasukkan dimensi profil baja yang digunakan. Kemudian *create section*, disesuaikan dengan mutu baja dan profil yang digunakan pada tiap-tiap elemen jembatan rangka. Selanjutnya *section* yang telah dibuat tersebut, di *input* pada tiap-tiap bagian jembatan rangka yang sebelumnya telah dibuat pada *section* pada menu *model tree*.

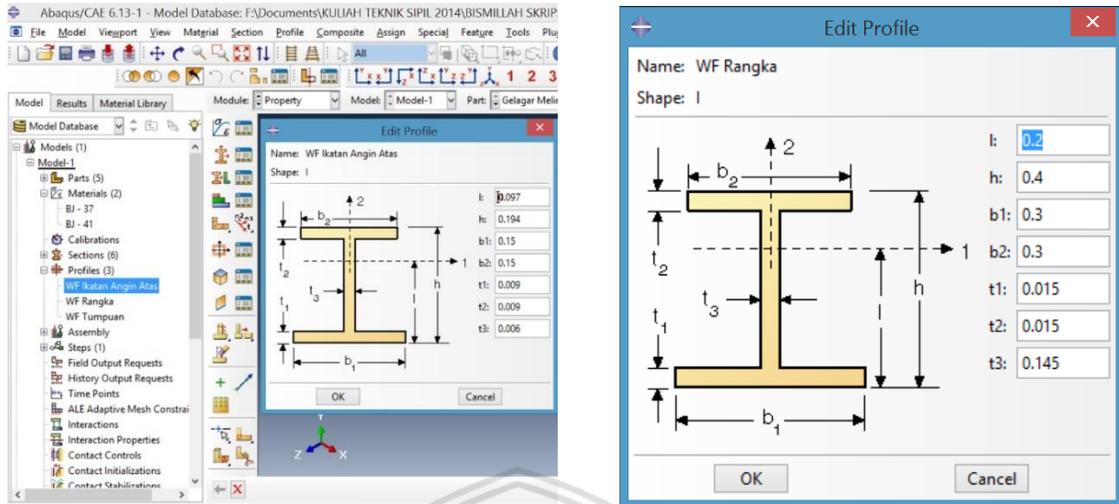


(a)



(b)

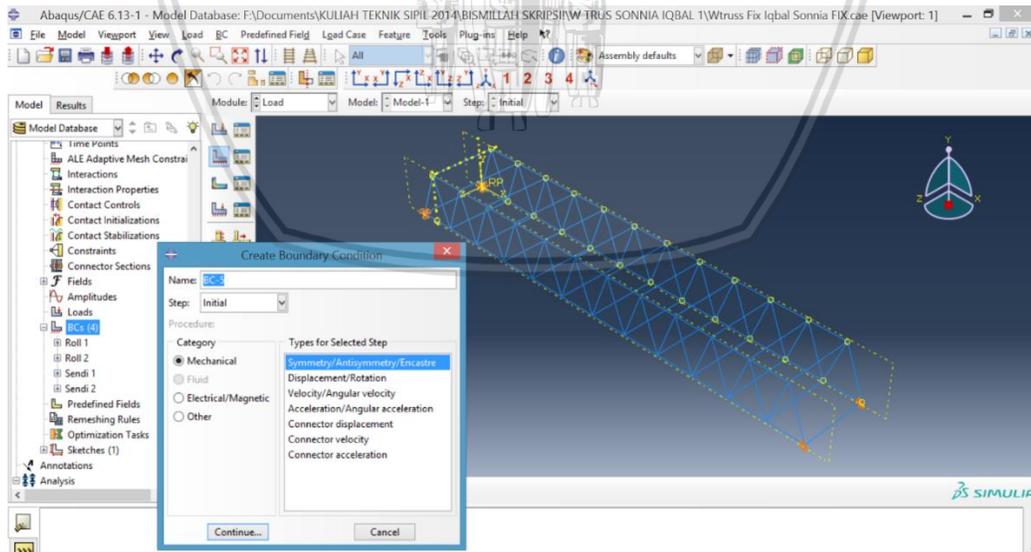
Gambar 3.8 *Input* mutu material baja yang digunakan.



Gambar 3.9 Input dimensi profil baja yang digunakan.

3. Input Tumpuan (Boundary Condition)

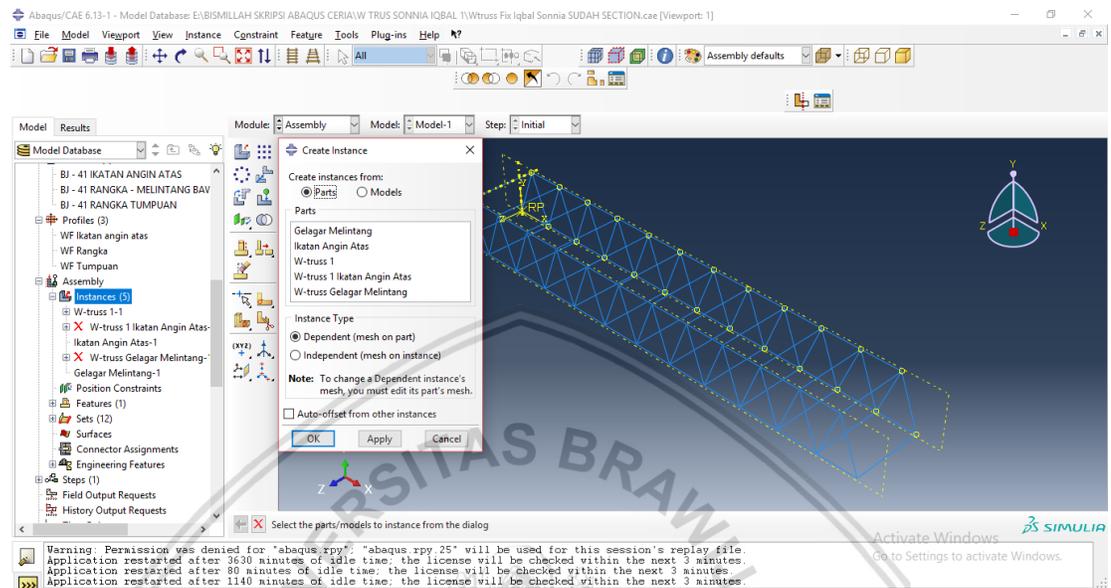
Pada langkah ini ditentukan tumpuan yang digunakan untuk menganalisis benda uji. Total boundary condition yang digunakan berjumlah 4 yaitu 2 sendi dan 2 roll. Sendi menggunakan symmetry/antisymmetry/encastre dan roll menggunakan displacement rotation.



Gambar 3.10 Perintah input boundary condition.

4. Assembly

Langkah *assembly* merupakan modul untuk menggabungkan part-part menjadi satu bentuk atau model.



Gambar 3.11 Perintah *assembly*

5. Meshing

Pada langkah ini rangka yang telah kita buat dibagi menjadi beberapa node dan elemen. Jumlah mesh yang diberikan pada benda uji ditentukan sesuai dengan kebutuhan.

6. Analisis Eigen

Selanjutnya, pada analisis eigen akan didapatkan frekuensi natural yang merupakan bahan untuk mencari nilai alpha dan beta. Setelah didapatkan alpha dan beta, kemudian alpha dan beta tersebut dianalisis dengan data time history yang telah didapatkan sehingga menghasilkan beban gempa yang akan diinput di dalam *ABAQUS Student Edition*.

7. Input beban berat struktur dan beban gempa pada *ABAQUS Student Edition*.

8. Menentukan output yang diinginkan.

Pada tahap ini hasil yang diinginkan berupa tegangan, regangan, reaksi tumpuan dan perpindahan.

9. Running.

Hasil yang telah ditentukan didapatkan setelah semua model yang diinput di running.

10. Mengambil output yang diinginkan dari hasil running.

3.6 Analisis Hasil Penelitian

Setelah didapatkan output yang diinginkan dari *ABAQUS Student Edition*, langkah selanjutnya adalah menganalisa hasil penelitian tersebut. Output yang didapatkan yaitu tegangan, regangan, reaksi tumpuan dan perpindahan. Setelah itu dianalisis hasil output tersebut dan didapatkan hasil maksimum dari tiap-tiap output. Sehingga dapat diketahui kinerja model struktur jembatan rangka yang diuji.



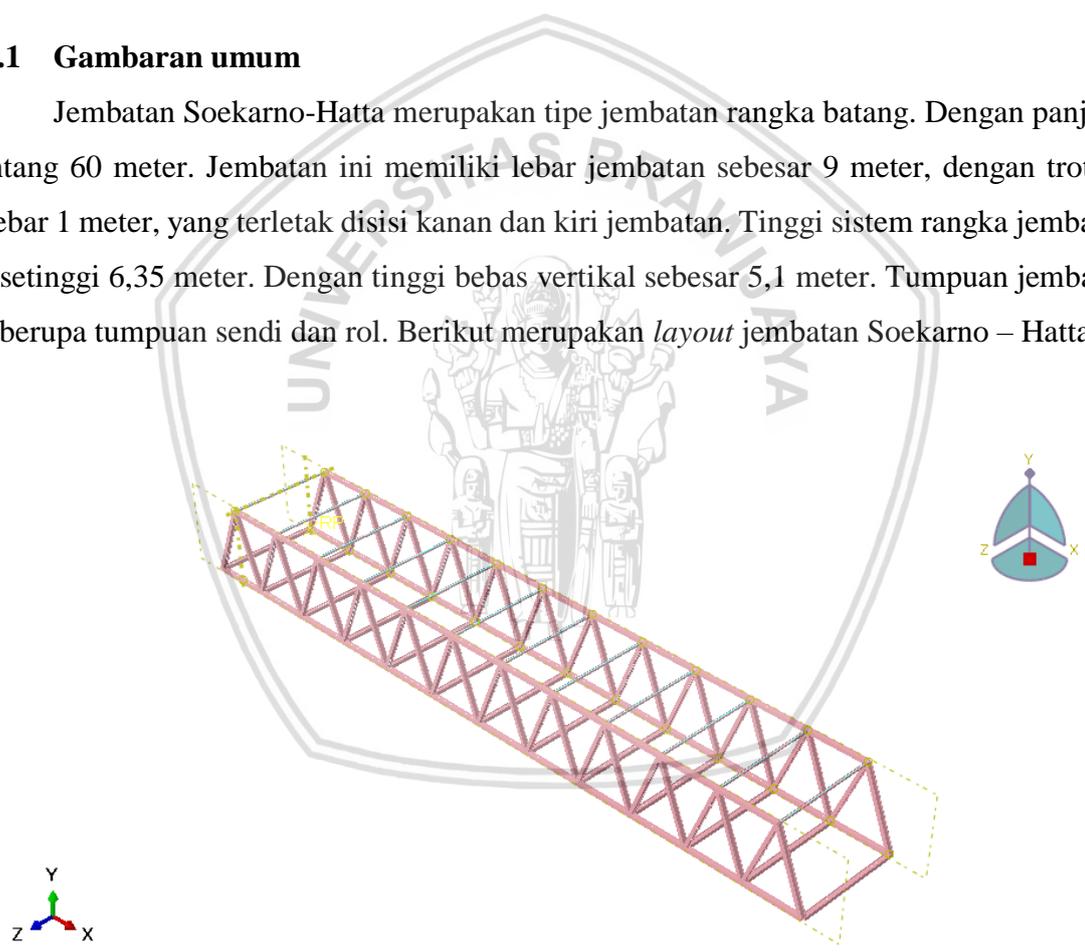
BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Jembatan Soekarno-Hatta

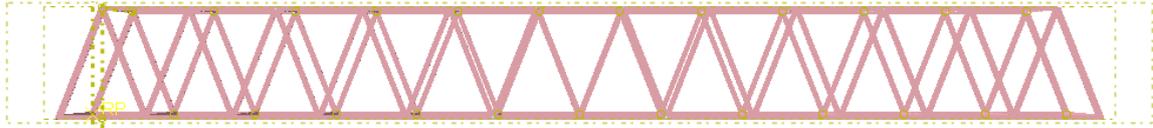
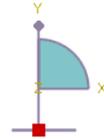
Untuk model jembatan yang akan dianalisis merupakan model struktur jembatan tipe Warren. Dengan melakukan *survey* langsung dan melakukan beberapa pendekatan sehingga didapatkan pemodelan dimensi dan material jembatan. Untuk pemodelan jembatan dilakukan menggunakan program ABAQUS CAE Student Edition.

4.1.1 Gambaran umum

Jembatan Soekarno-Hatta merupakan tipe jembatan rangka batang. Dengan panjang bentang 60 meter. Jembatan ini memiliki lebar jembatan sebesar 9 meter, dengan trotoar selebar 1 meter, yang terletak disisi kanan dan kiri jembatan. Tinggi sistem rangka jembatan ini setinggi 6,35 meter. Dengan tinggi bebas vertikal sebesar 5,1 meter. Tumpuan jembatan ini berupa tumpuan sendi dan rol. Berikut merupakan *layout* jembatan Soekarno – Hatta :



Gambar 4.1 Layout Jembatan Soekarno-Hatta tampak 3 dimensi



Gambar 4.2 Layout Jembatan Soekarno-Hatta tampak 2D

4.1.2 Spesifikasi material

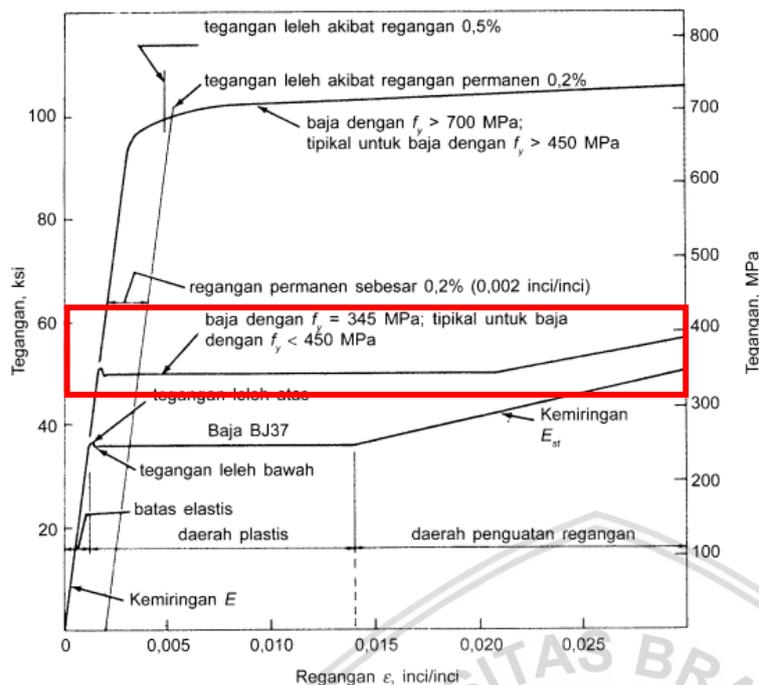
Dari data lapangan didapatkan data dimensi profil jembatan dan mutu baja pada jembatan. Untuk dimensi profil jembatan sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 4.1

Dimensi Profil Baja Model Jembatan

No.	Bagian Struktur	Dimensi Profil
1.	Rangka Utama	WF 400.300.145.15
2.	Rangka Utama Tepi (Dekat Tumpuan)	WF 400.350.170.40
3.	Balok Melintang Atas	WF 200.150.6.9
4.	Balok Melintang Bawah	WF 400.300.145.15

Analisis dilakukan dengan mutu baja pada seluruh rangka menggunakan BJ-41, sedangkan untuk data tegangan dan regangan didapatkan dari **Gambar 4.3.** dari gambar didapatkan bahwa kondisi tegangan leleh pada kondisi awal senilai 342649800 Pa. Apabila kondisi tegangan pada batang setelah diberi beban gempa melebihi tegangan leleh pada kondisi awal maka batang tersebut sudah mengalami tahap inelastis atau bisa dikatakan batang tersebut sudah rusak.



Gambar 4.3 Hubungan tegangan-regangan tipikal
Sumber: Salmon & Johnson, Srcel Structures Design and Behavior, 4^r ed

4.2 Simulasi Numerik Jembatan Rangka

Simulasi numerik yang dilakukan terhadap jembatan menggunakan software ABAQUS *Student Edition*. Dilakukannya analisis menggunakan *software ABAQUS Student Edition* ini dikarenakan *software* ini memiliki kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan *software* sejenis lainnya. *Output* yang diberikan *software* ini juga lebih detail. Dalam proses analisis, batang dibagi menjadi lima elemen agar memperoleh data yang lebih spesifik dan akurat. Untuk pemodelan jembatan data disesuaikan dengan kondisi sebenarnya dilapangan.

Sebelum dilakukannya analisis dinamis dengan metode *time history*, maka terlebih dahulu dilakukan analisis nilai eigen yang digunakan untuk mendapatkan nilai *damping ratio* sebagai input analisis dinamis struktur. Analisis nilai eigen juga menghasilkan data periode alami dan rasio massa efektif. Dari data yang dihasilkan nilai eigen didapatkan mode yang dominan yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan karakteristik dinamis yang utama pada struktur jembatan. Posisi periode alami struktur dipengaruhi oleh rasio massa efektif yang maksimum pada sumbu X, Y, dan Z.

Hasil perhitungan analisis nilai eigen disajikan dalam Tabel 4.2. Tabel ini menggambarkan frekuensi alami, periode alami serta rasio massa efektif pada setiap mode yang dominan. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa perilaku dominan struktur jembatan rangka yang dimodelkan pada mode pertama terjadi pada arah Z, seperti terlihat pada **Gambar 4.4**. Sedangkan mode sembilan terjadi pada arah X dan Y, yang secara jelas terlihat pada **Gambar 4.5**.

Tabel 4.2

Hasil Analisis Eigen pada Struktur Jembatan Rangka

Mode	Frekuensi			Rasio Massa Efektif (%)		
	f (Hz)	$\omega = 2\pi f$ (rad/sec)	T (sec)	X	Y	Z
1	0.110	0.694	9.058	0.00	0.00	84.00
2	0.310	1.949	3.224	0.00	0.00	10.63
3	0.494	3.106	2.023	0.00	0.00	0.89
4	0.546	3.429	1.832	0.00	0.00	1.73
5	0.732	4.601	1.366	0.00	0.00	0.07
6	0.844	5.300	1.186	0.00	0.00	1.62
7	1.090	6.851	0.917	0.00	0.00	0.04
8	1.248	7.839	0.802	0.00	0.00	0.99
9	1.421	8.927	0.704	99.49	100.00	0.00
10	1.537	9.657	0.651	0.51	0.00	0.02

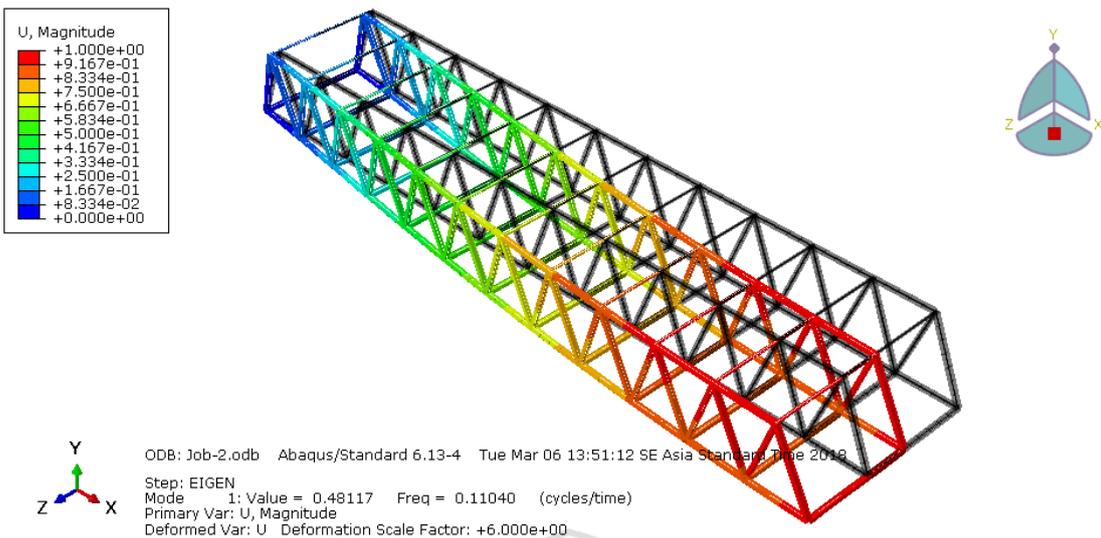
Untuk perhitungan koefisien α dan β yang akan dipakai pada analisis dinamis adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \xi \cdot 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad \text{dan} \quad \beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad \text{dimana untuk frame baja digunakan } \xi = 2\%$$

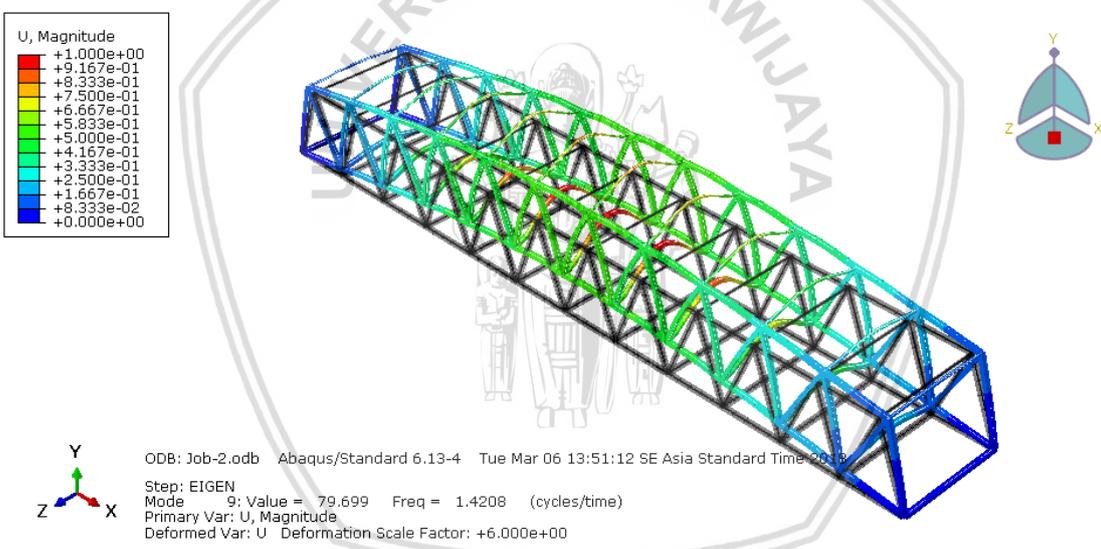
Sehingga:

$$\alpha = 0.02 \times 2 \times \frac{0,694 \times 8,927}{0,694 + 8,927} = 0.0258$$

$$\beta = 0.02 \times \frac{2}{0,694 + 8,927} = 0.0042$$



Gambar 4.4 Bentuk mode satu struktur jembatan rangka



Gambar 4.5 Bentuk mode sembilan struktur jembatan rangka

Setelah mendapatkan nilai *damping ratio* yang berupa koefisien α dan β , selanjutnya dilakukan analisis dinamis jembatan rangka dengan metode *time history*. Pada metode *time history* diperlukan rekaman percepatan tanah guna mengetahui pergerakan tanah yang terjadi. Dengan adanya rekaman percepatan tanah, besar dan arah suatu gempa, sehingga pengaruh gempa terhadap struktur jembatan dapat analisis.

Data gempa yang digunakan dalam analisis dinamis menggunakan data gempa yang berasal dari gempa El Centro 1979. Beban gempa yang diberikan berupa beban gempa dua arah dan tiga arah yakni arah East-West, North-South, dan Up-Down yang bekerja pada masing – masing tumpuan sendi dan rol.

Pada tumpuan sendi bekerja beban gempa dua arah dan untuk tumpuan rol bekerja beban gempa satu arah. Untuk mendapatkan kapasitas jembatan maka dilakukan penambahan percepatan gempa hingga 10 kali percepatan gempa.

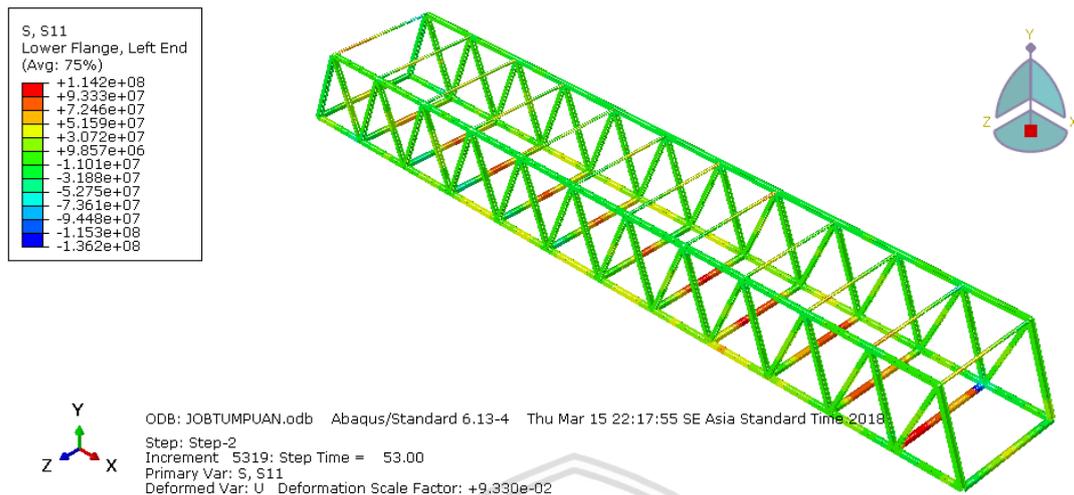
Hal ini dikarenakan pertimbangan bahwa dengan percepatan gempa satu kali percepatan dianggap jembatan mampu menahannya, dan juga beban gempa merupakan salah satu gempa yang sudah pasti di perhitungkan dalam proses mendesain jembatan. Sehingga dari awal proses desain, jembatan harus sudah dipastikan menahan beban gempa. Setelah beban gempa dimasukkan, selanjutnya didapatkan hasil berupa stress/tegangan, strain/regangan, dan displacement/perpindahan.

4.3 Respon Struktur Akibat Gempa Dua Arah

Untuk simulasi numerik terhadap beban gempa dua arah, data time history yang dimasukkan ke dalam software ABAQUS Student Edition adalah gempa arah sumbu X yaitu arah gempa utara – selatan, dan gempa arah sumbu Z yaitu gempa barat – timur. Dimana tumpuan sendi menerima beban gempa arah sumbu X dan sumbu Z, dan tumpuan rol menerima beban gempa arah Z. Setelah model jembatan diberikan beban gempa dua arah, selanjutnya dilakukan analisis terhadap struktur, sehingga dapat dilihat respon yang terjadi pada struktur akibat beban gempa dua arah.

Data yang dihasilkan diantaranya tegangan aksial, regangan aksial, dan perpindahan. Respon struktur jembatan untuk tegangan aksial disajikan dalam bentuk tegangan aksial tarik dan aksial tekan yang terjadi di masing – masing batang yang disajikan pada **Gambar 4.6**, sedangkan untuk regangan aksial juga menghasilkan regangan aksial tarik dan tekan seperti pada **Gambar 4.7**.

Terlihat pada bagian jembatan bahwa batang tarik dan batang tekan yang memiliki tegangan yang maksimum adalah batang dekat tumpuan yang ditandai dengan batang berwarna kuning pada jembatan. Keterangan yang berbentuk kotak pada gambar merupakan keterangan tegangan dan regangan aksial akhir yang dicapai oleh struktur jembatan.

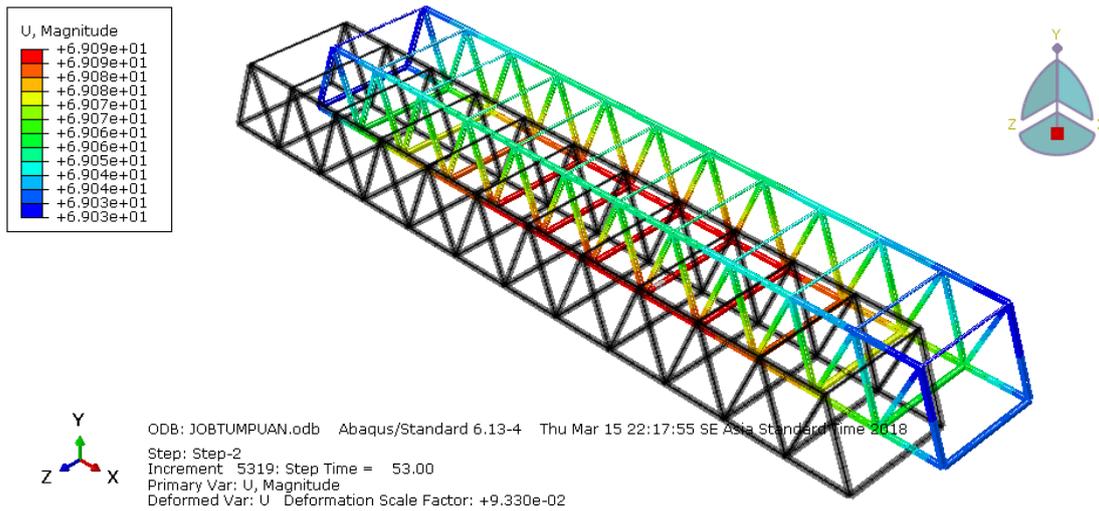


Gambar 4.6 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 2 arah



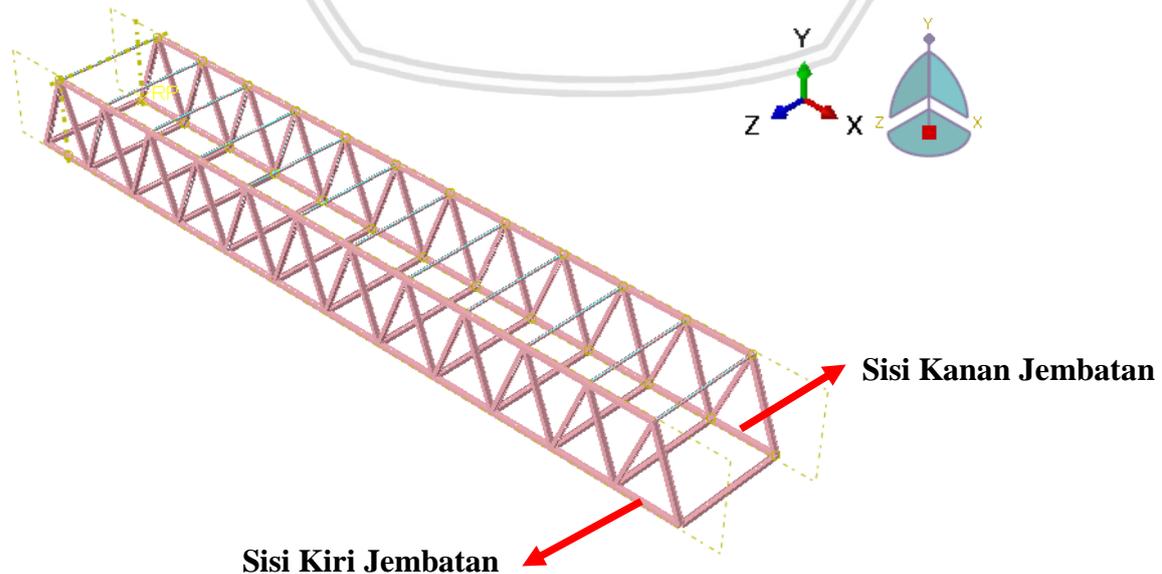
Gambar 4.7 Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 2 arah

Respon struktur akibat beban dua arah juga menghasilkan yang displacement atau perpindahan. Perpindahan yang terjadi diakibatkan adanya beban gempa dua arah yang diterima oleh jembatan. Untuk hasil perpindahan berupa U_1 , U_2 , dan U_3 . Untuk U_1 merupakan perpindahan arah X, U_2 perpindahan arah Y, dan U_3 perpindahan arah Z. Untuk perpindahan yang dihasilkan terdapat pada **Gambar 4.8**.

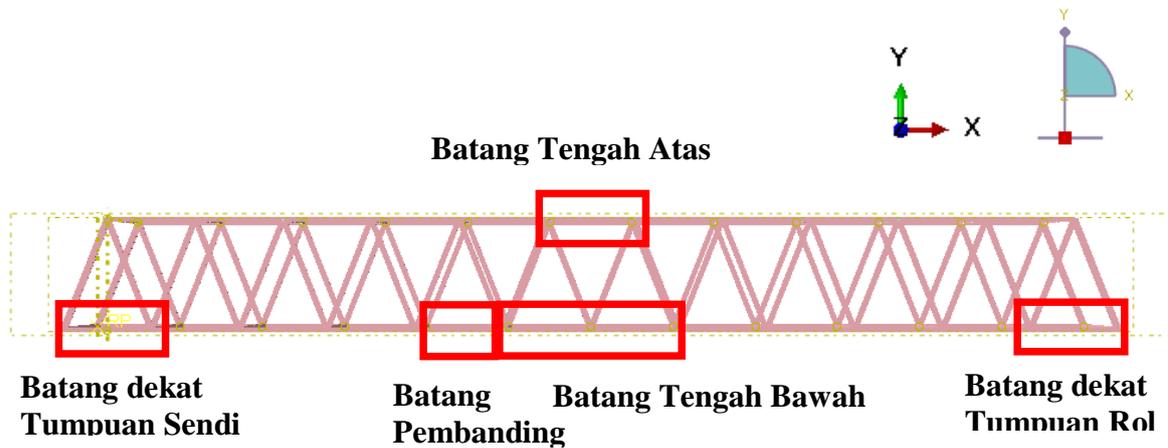


Gambar 4.8 Displacement akibat beban gempa 2 arah

Dalam analisis jembatan dibagi menjadi dua sisi, yaitu sisi kanan jembatan dan sisi kiri jembatan seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9**. Pada tiap sisinya dibagi menjadi empat bagian batang, yaitu batang dekat tumpuan sendi, batang bagian dekat tumpuan rol, batang tengah atas, batang tengah bawah dan batang pembanding seperti pada **Gambar 4.10**. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum dari seluruh bagian struktur jembatan. Batang pembanding yang disebutkan sebelumnya merupakan batang dengan regangan maksimum yang didapatkan dari penelitian (Iqbal). Hal ini berguna untuk melengkapi data perbandingan antar struktur jembatan dengan mutu seragam dan tidak seragam.



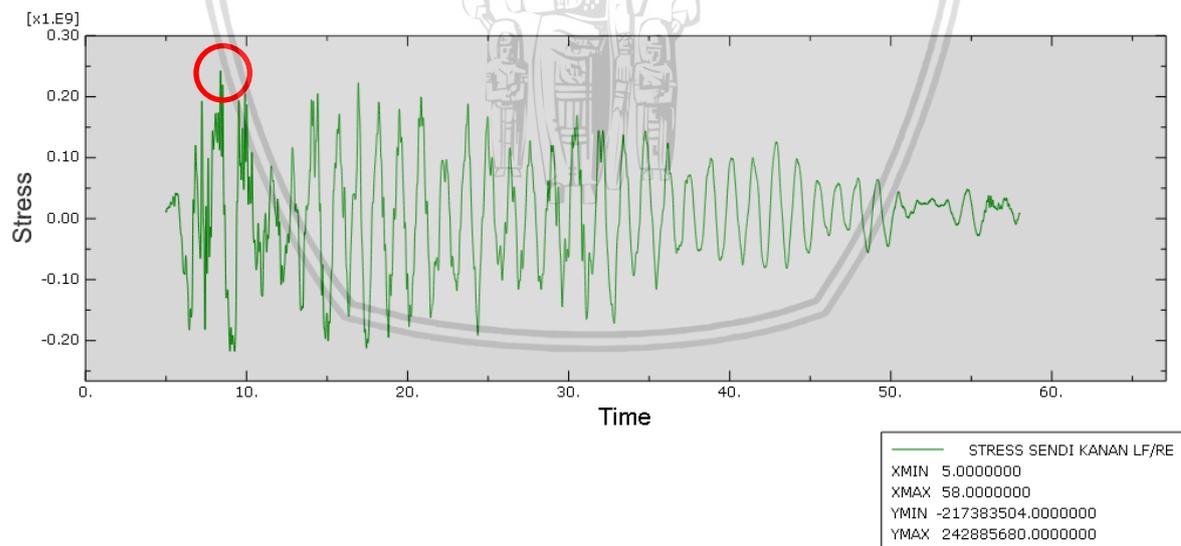
Gambar 4.9 Pembagian sisi struktur jembatan



Gambar 4.10 Pembagian sisi struktur jembatan

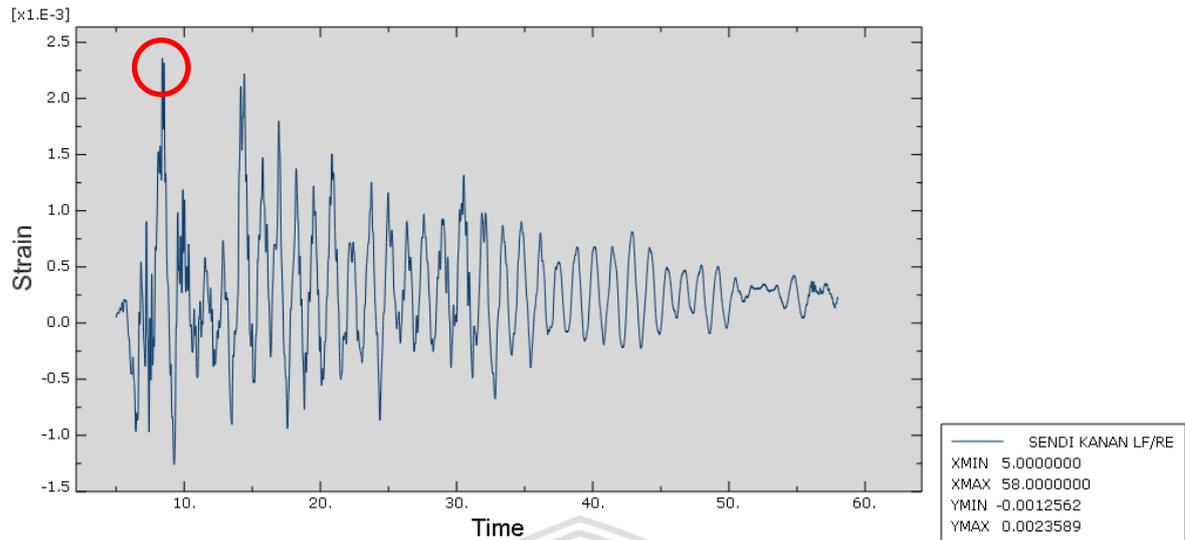
4.3.1 Batang dekat Tumpuan Sendi

Dari analisis numerik didapatkan besarnya tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa dua arah. **Gambar 4.11** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban dua arah pada batang dekat tumpuan sendi. Kurva menunjukkan tegangan maksimum sebesar 242,885680 MPa yang merupakan tegangan tarik, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 217,383504 MPa yang merupakan tegangan tekan.



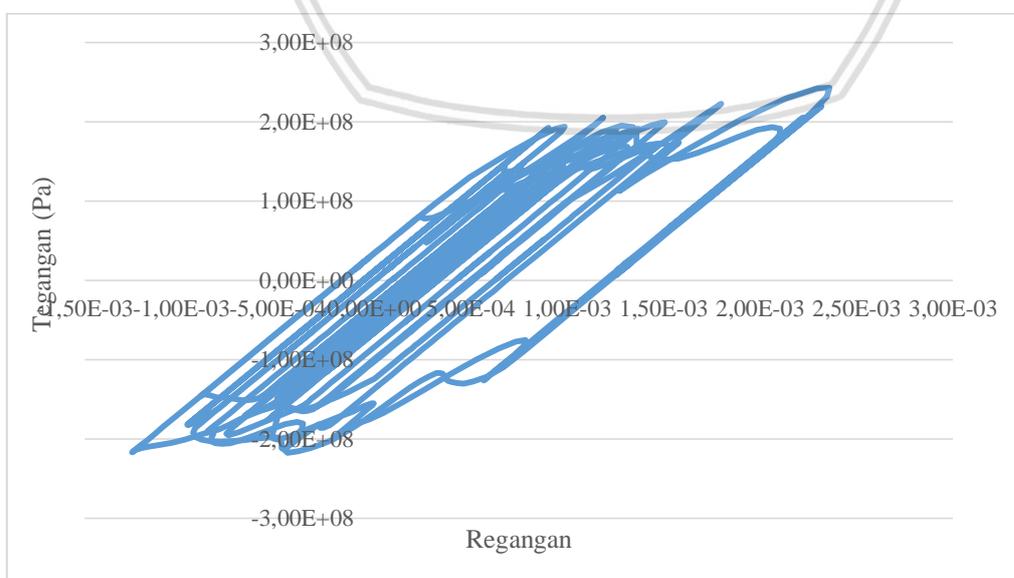
Gambar 4.11 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi

Sedangkan **Gambar 4.12** menunjukkan hasil regangan dari analisis numerik beban dua arah pada batang dekat tumpuan sendi. Grafik menunjukkan regangan maksimum sebesar 0,0023589 yang merupakan regangan tarik, sedangkan untuk regangan minimum sebesar 0,0012562 yang merupakan regangan tekan.



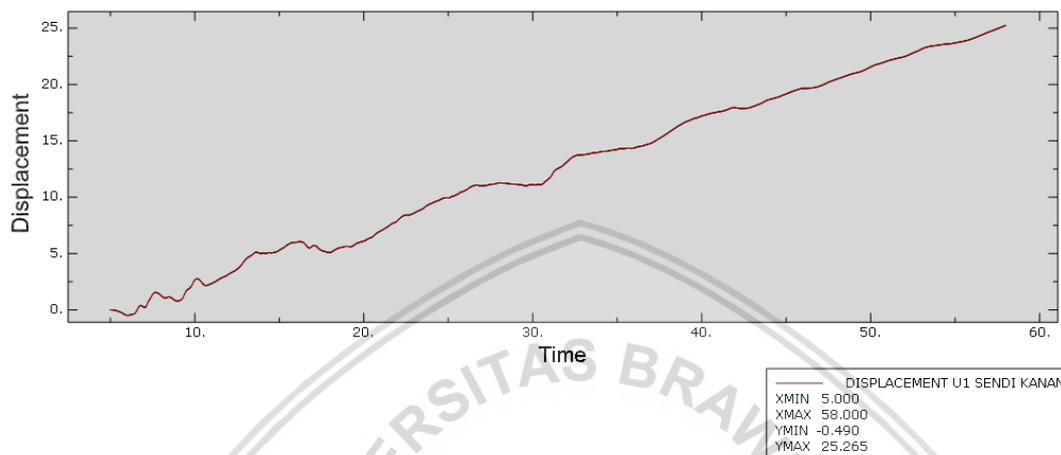
Gambar 4.12 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 242,885680 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 217,383504 Mpa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. Akan tetapi dari **Gambar 4.13** menunjukkan bahwa regangan batang sudah tidak kembali pada regangan awal batang. Sehingga bisa disimpulkan keruntuhan batang ini bukan keruntuhan akibat leleh, hal ini dapat disebabkan akibat jenis keruntuhan yang lain.



Gambar 4.13 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi

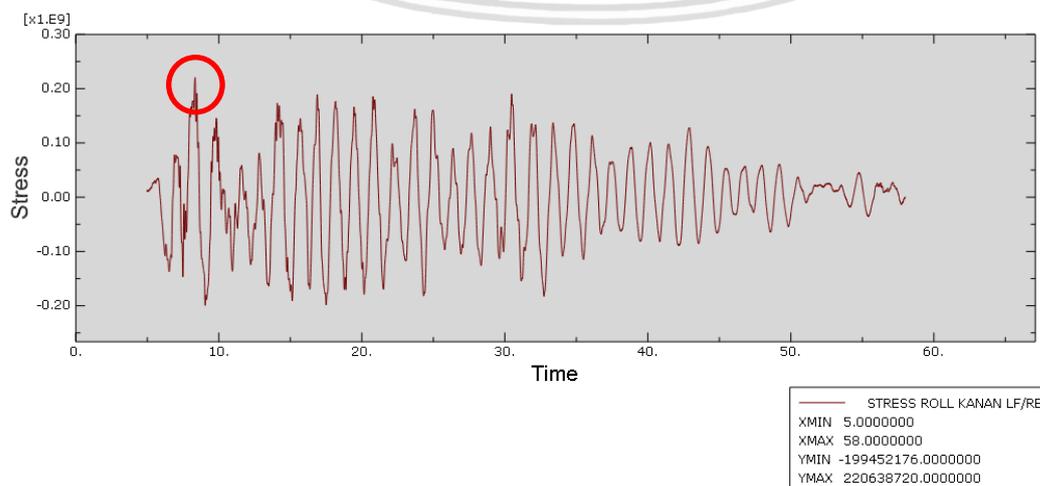
Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa dua arah yang terjadi pada batang dekat tumpuan sendi. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,265 m seperti pada **Gambar 4.14**, arah Y sebesar 0,002 m, dan arah Z sebesar 0,213 m.



Gambar 4.14 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan sendi

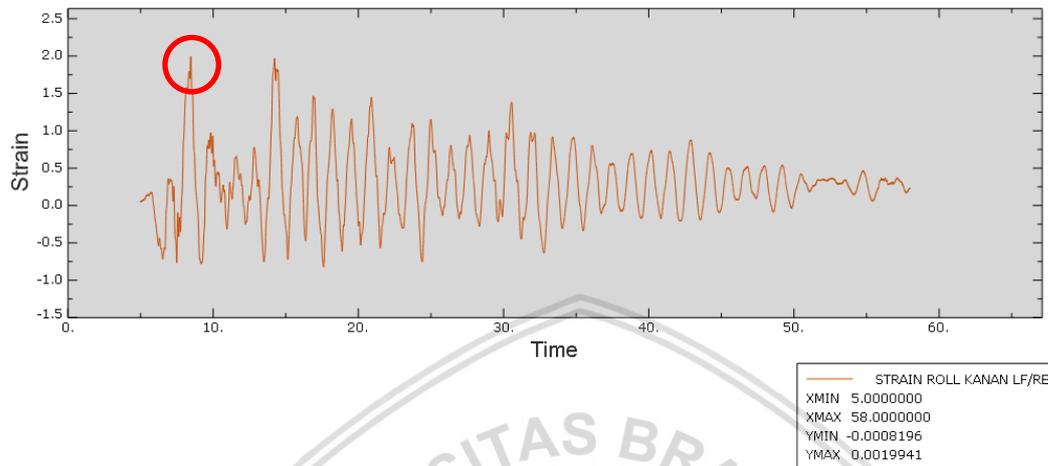
4.3.2 Batang dekat Tumpuan Rol

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan rol akibat beban gempa dua arah. **Gambar 4.15** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban dua arah pada batang dekat tumpuan rol. Kurva menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 220,638720 MPa yang merupakan tegangan tarik, Sedangkan tegangan minimum sebesar 199,452176 MPa yang merupakan tegangan tekan.



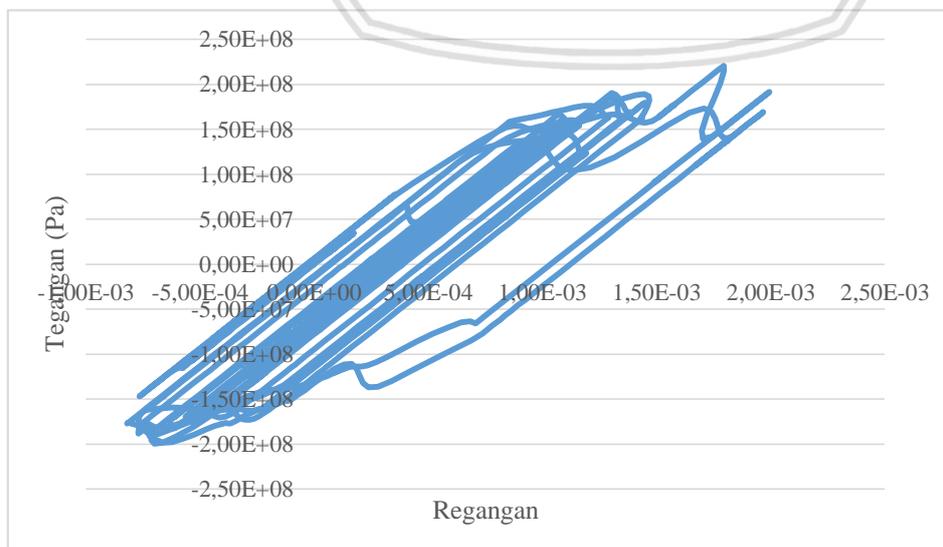
Gambar 4.15 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol

Untuk regangan yang dihasilkan dari analisis numerik akibat beban gempa dua arah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.16**. Kurva menunjukkan regangan maksimum sebesar 0,0019941 yang merupakan regangan tarik dan untuk regangan minimum sebesar 0,0008196 yang merupakan regangan tekan .



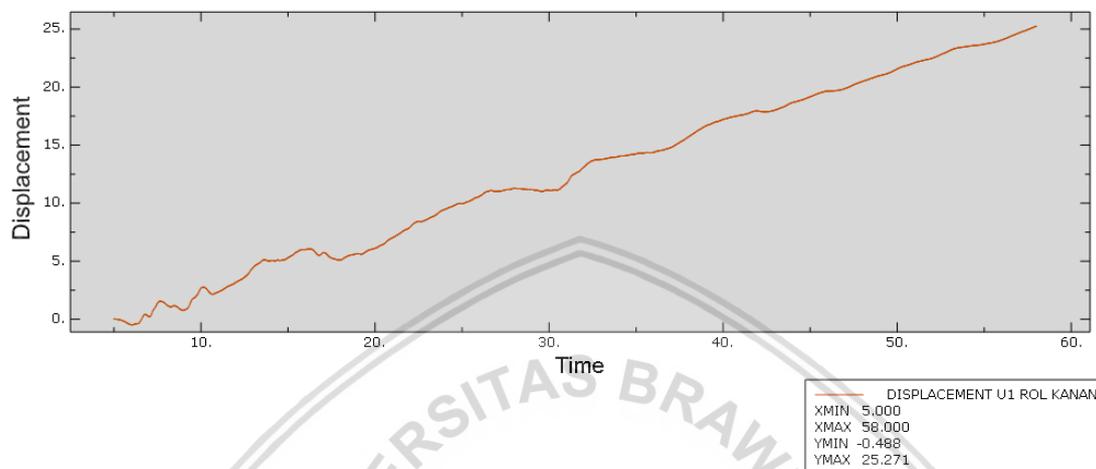
Gambar 4.16 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang dekat tumpuan rol sebesar 220,638720 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 199,452176 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. Akan tetapi dari **Gambar 4.17** menunjukkan bahwa regangan batang sudah tidak kembali pada regangan awal batang. Sehingga bisa disimpulkan keruntuhan batang ini bukan keruntuhan akibat leleh, hal ini dapat disebabkan akibat jenis keruntuhan yang lain.



Gambar 4.17 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan rol

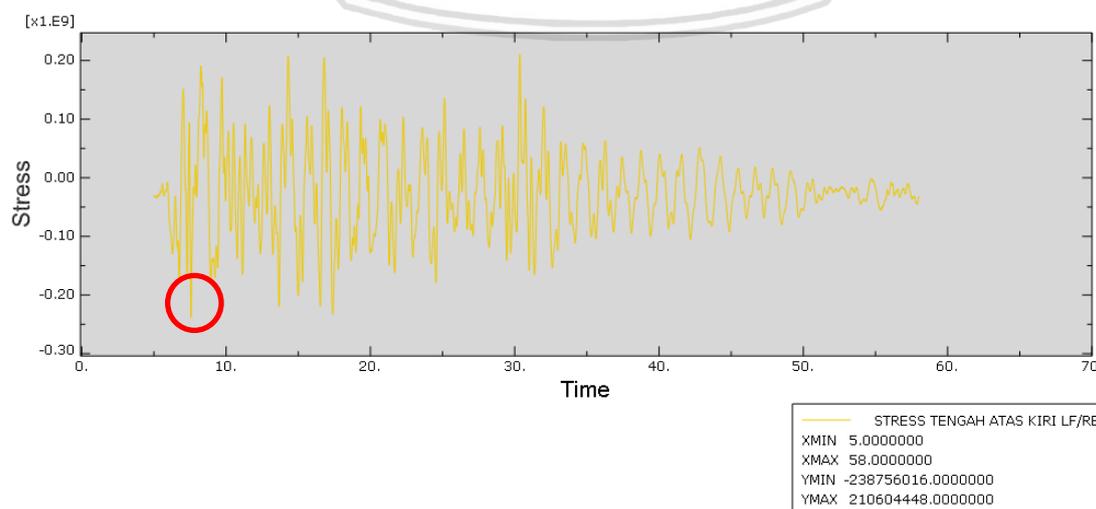
Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa dua arah yang terjadi pada batang dekat tumpuan rol. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,271 m seperti pada **Gambar 4.18**, arah Y sebesar 0,003 m, dan arah Z sebesar 0,213 m.



Gambar 4.18 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan rol

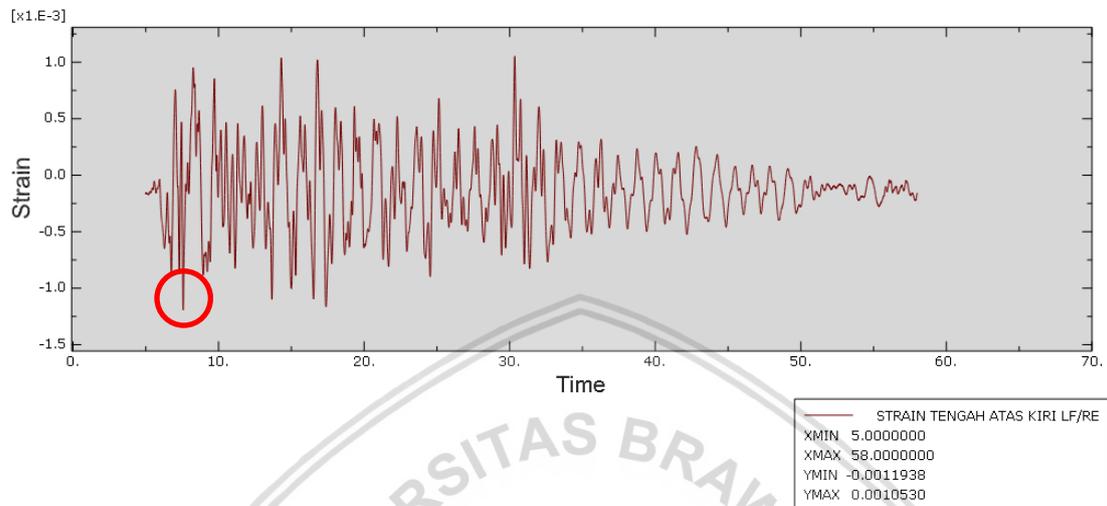
4.3.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan rol akibat beban gempa dua arah. **Gambar 4.19** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban dua arah pada batang segmen tengah bagian atas. Pada kurva terlihat bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada batang bagian tengah atas senilai 238,756016 MPa yang merupakan tegangan tekan, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 210,604448 MPa yang merupakan tegangan tarik.



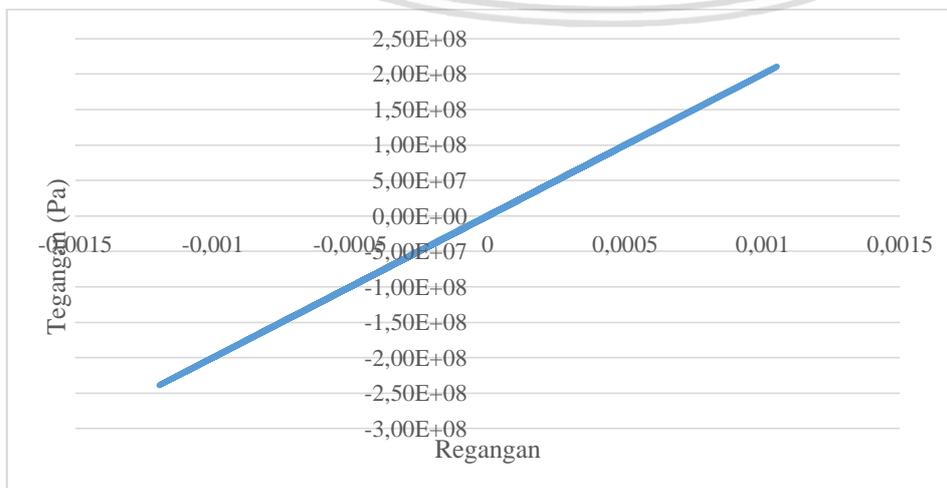
Gambar 4.19 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas

Seperti yang terlihat pada **Gambar 4.20** untuk regangan maksimum yang terjadi pada batang sebesar 0,0011938 yang merupakan regangan tekan, sedangkan untuk regangan minimum senilai 0,001053 yang merupakan regangan tarik.



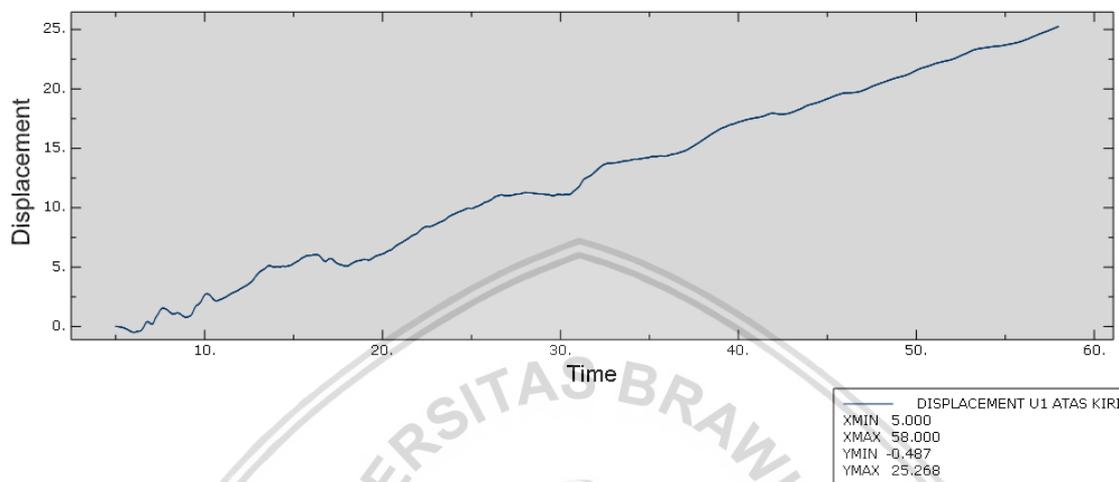
Gambar 4.20 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang segmen tengah bagian atas sebesar 238,756016 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 210,604448 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. **Gambar 4.21** juga menunjukkan bahwa batang masih dalam kondisi elastis terlihat regangan batang kembali pada regangan awal batang. Sehingga dapat disimpulkan batang belum mengalami keruntuhan baik keruntuhan lentur maupun tekuk.



Gambar 4.21 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas

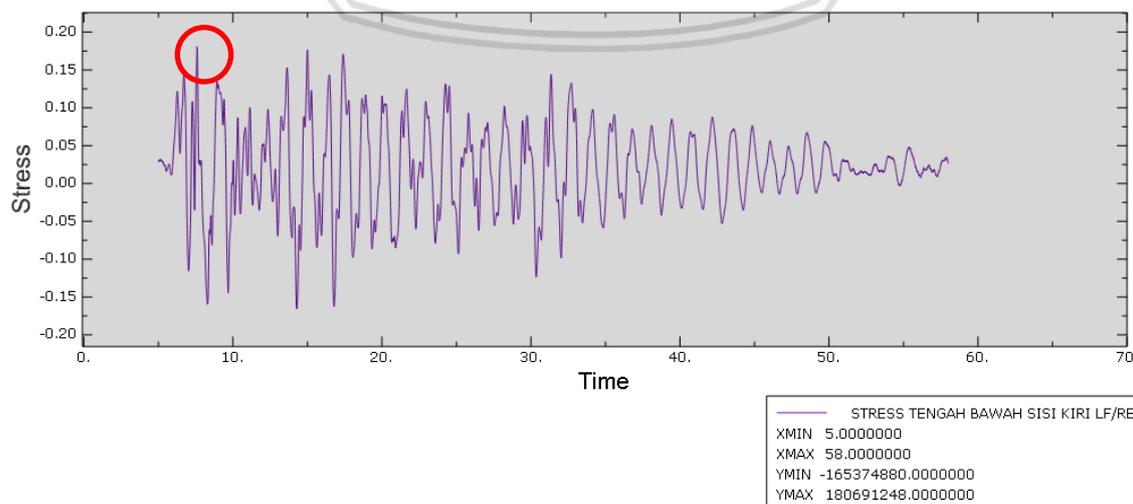
Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa dua arah yang terjadi pada batang tengah atas. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,268 m seperti pada **Gambar 4.22**, arah Y sebesar 0,014 m, dan arah Z sebesar 0,479 m.



Gambar 4.22 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian atas

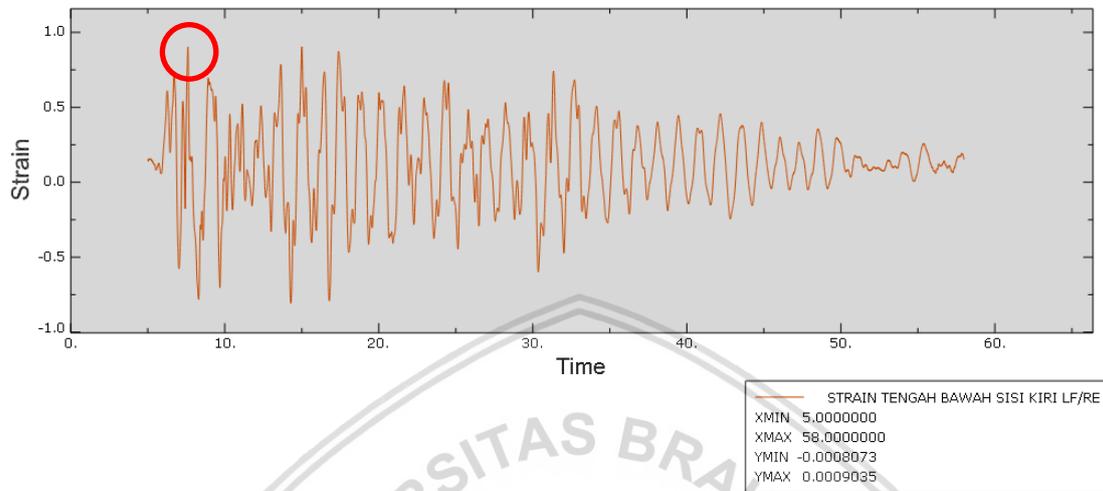
4.3.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan rol akibat beban gempa dua arah. **Gambar 4.23** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban dua arah pada batang segmen tengah bagian bawah. Analisis numerik akibat beban dua arah pada batang tengah bawah menghasilkan tegangan maksimum sebesar 180,691248 MPa yang merupakan tegangan tarik, dan tegangan minimum sebesar 165,374880 MPa yang merupakan tegangan tekan.



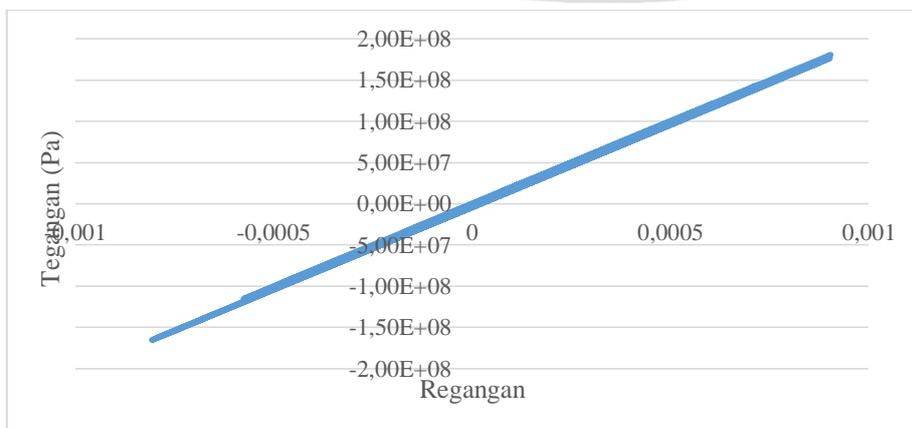
Gambar 4.23 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah

Sedangkan untuk regangan, dihasilkan regangan maksimum akibat analisis numerik akibat beban gempa dua arah pada batang tengah bawah sebesar 0,0009035 yang merupakan regangan tarik, sedangkan untuk regangan minimumnya sebesar 0,0008073 yang merupakan regangan tekan. Kurva tegangan dan regangan disajikan dalam **Gambar 4.24**.



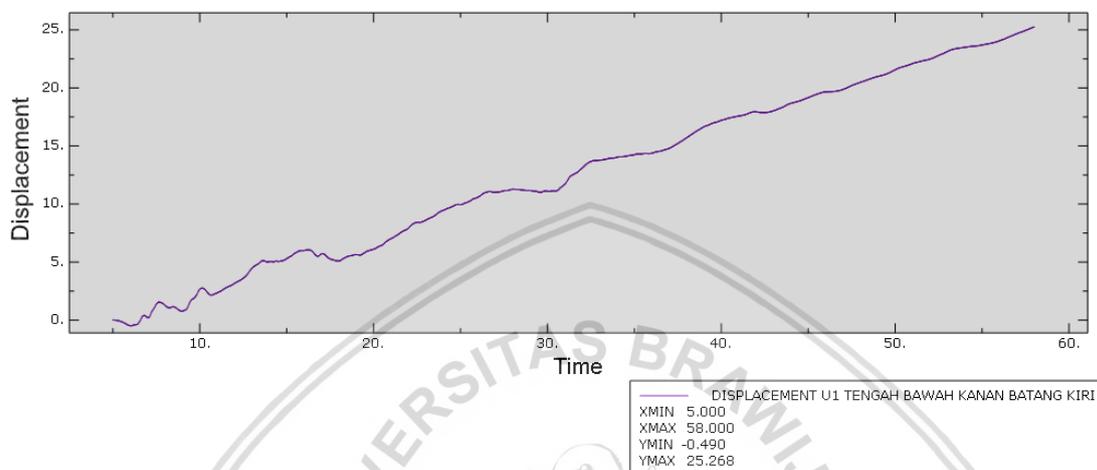
Gambar 4.24 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian bawah

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang segmen tengah bagian bawah sebesar 180,691248 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 165,374880 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. **Gambar 4.25** juga menunjukkan bahwa batang masih dalam kondisi elastis terlihat regangan batang kembali pada regangan awal batang. Sehingga dapat disimpulkan batang belum mengalami keruntuhan baik keruntuhan lentur maupun tekuk.



Gambar 4.25 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah

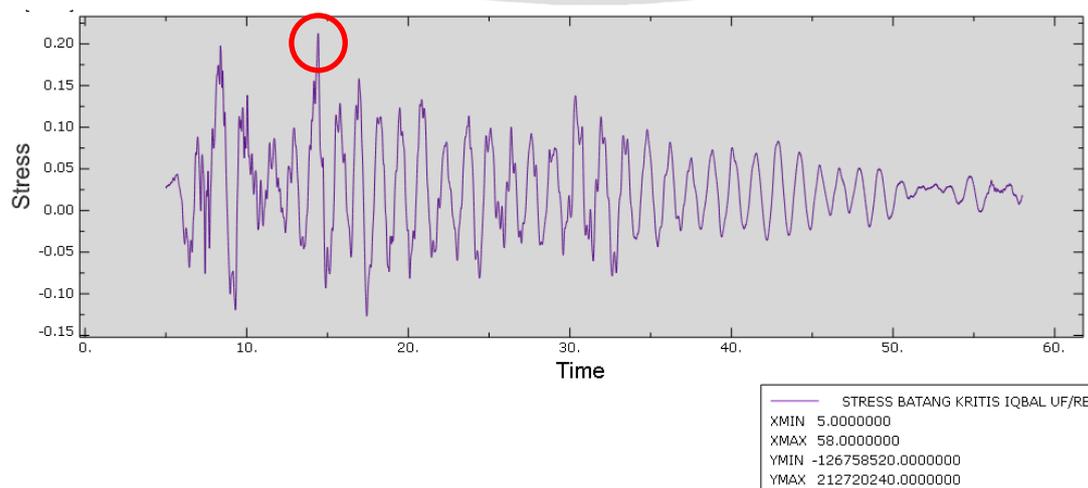
Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa dua arah yang terjadi pada batang tengah bawah. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,268 m seperti pada **Gambar 4.26**, arah Y sebesar 0,025 m, dan arah Z sebesar 0,331 m.



Gambar 4.26 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian bawah

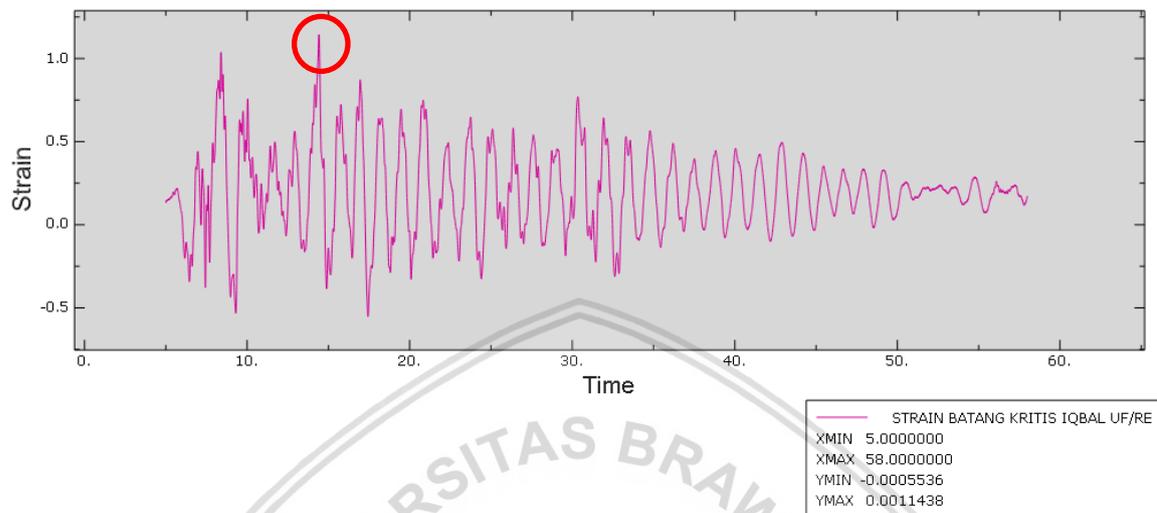
4.3.5 Batang Pemanding

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang pemanding akibat beban gempa dua arah. **Gambar 4.27** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban dua arah pada batang pemanding. Tegangan yang didapatkan berupa tegangan maksimum senilai 212,72024 MPa yang merupakan tegangan tarik, dan untuk tegangan minimum yang didapatkan sebesar 126,75852 MPa yang merupakan tegangan tekan.



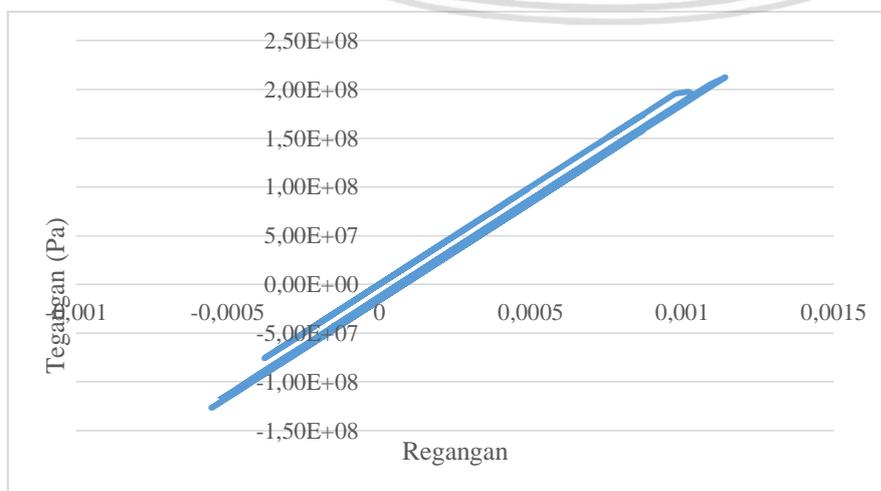
Gambar 4.27 Kurva tegangan pada batang pemanding

Untuk regangan yang dihasilkan dari analisis numerik pada batang kritis terdapat dalam **Gambar 4.28**. Dalam kurva terlihat bahwa regangan maksimum sebesar 0,0011438 yang merupakan regangan tarik dan untuk regangan minimum sebesar 0,0005536 yang merupakan regangan tekan.



Gambar 4.28 Kurva regangan pada batang pembeding

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang pembeding sebesar 212,72024 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 126,75852 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. **Gambar 4.29** juga menunjukkan bahwa batang masih dalam kondisi elastis terlihat regangan batang dominan kembali pada regangan awal batang. Sehingga dapat disimpulkan batang belum mengalami keruntuhan baik keruntuhan lentur maupun tekuk.



Gambar 4.29 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang kritis

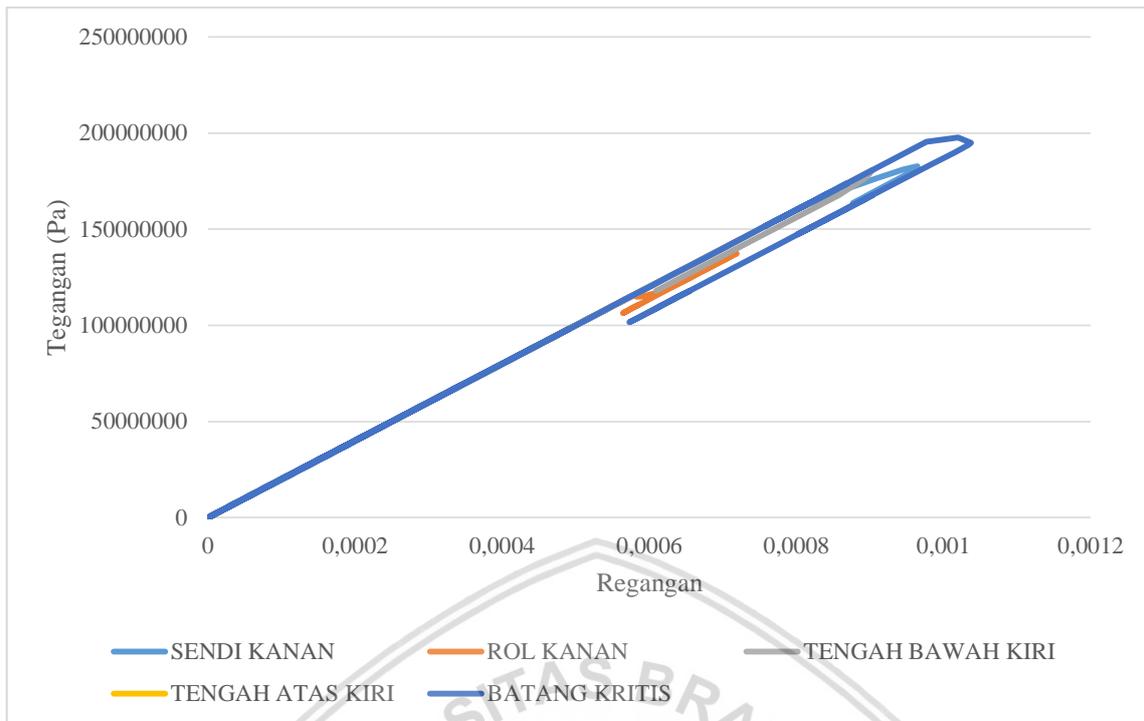
Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa dua arah yang terjadi pada batang kritis. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,267 m seperti pada **Gambar 4.30**, arah Y sebesar 0,013 m, dan arah Z sebesar 0,306 m.



Gambar 4.30 Kurva *displacement* (U1) pada batang pembeding

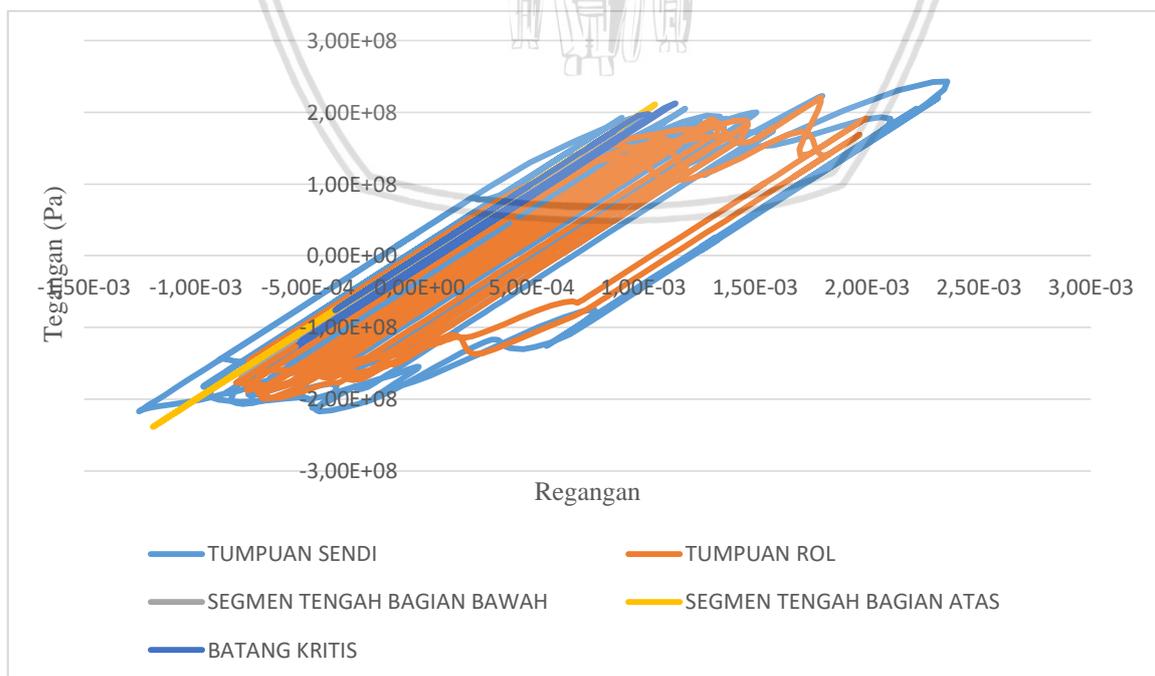
4.3.6 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau

Kekakuan dan daktilitas merupakan salah satu parameter perencanaan struktur baja. Pembatasan kekakuan digunakan untuk menjaga struktur agar lendutannya tidak melebihi lendutan ijin. Kekakuan dapat didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan satu *displacement*. Kekakuan berarti jika dengan bertambahnya tegangan tidak disertai dengan kenaikan regangan yang tinggi maka kekakuannya tergolong tinggi begitu pula sebaliknya, jika kenaikan regangan disertai dengan kenaikan tegangan yang rendah maka tergolong kekakuannya rendah.



Gambar 4.31 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama

Grafik pada **Gambar 4.31** menunjukkan bahwa tiap – tiap bagian jembatan memiliki kemiringan yang sama pada seperempat siklus pertama grafik hubungan tegangan – regangan. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kekakuan dari kondisi awal pada tiap batang memiliki nilai yang hampir sama.



Gambar 4.32 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau

Tabel 4.3

Rekapitulasi Selisih Nilai Regangan Tiap Batang Pada Beban Gempa Dua Arah

No.	Nama Batang	Regangan Leleh	Regangan Maksimum	Selisih Regangan
1	Batang dekat tumpuan sendi	0.0000584868	0.0023589	0.002300413
2	Batang dekat tumpuan rol	0.0000584873	0.0019941	0.001935613
3	Segmen tengah bagian atas	0.000145216	0.0011938	0.001048584
4	Segmen tengah bagian bawah	0.000162253	0.0009035	0.000741247
5	Batang pembanding	0.000137012	0.0011438	0.001006788

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa daktilitas juga merupakan parameter dalam parameter perencanaan struktur baja. Nilai daktilitas berbeda – beda pada masing – masing jenis material baja. Seperti yang diketahui baja mutu tinggi memiliki nilai daktilitas yang tergolong rendah. Bahkan pada kurva tegangan – regangan baja mutu tinggi hampir tidak terdapat bagian mendatar, bagian mendatar pada kurva menunjukkan material baja mengalami tahap inelastis .

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami regangan yang besar sebelum material putus. Terlihat dari **Tabel 4.3**, tiap batang memiliki selisih regangan yang tidak jauh berbeda, hal ini menunjukkan tiap – tiap bagian jembatan memiliki besar penurunan kekakuan yang sama. Batang yang memiliki selisih regangan paling besar adalah batang dekat tumpuan sendi sehingga, batang dekat tumpuan sendi dapat dikatakan memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan batang yang lain.

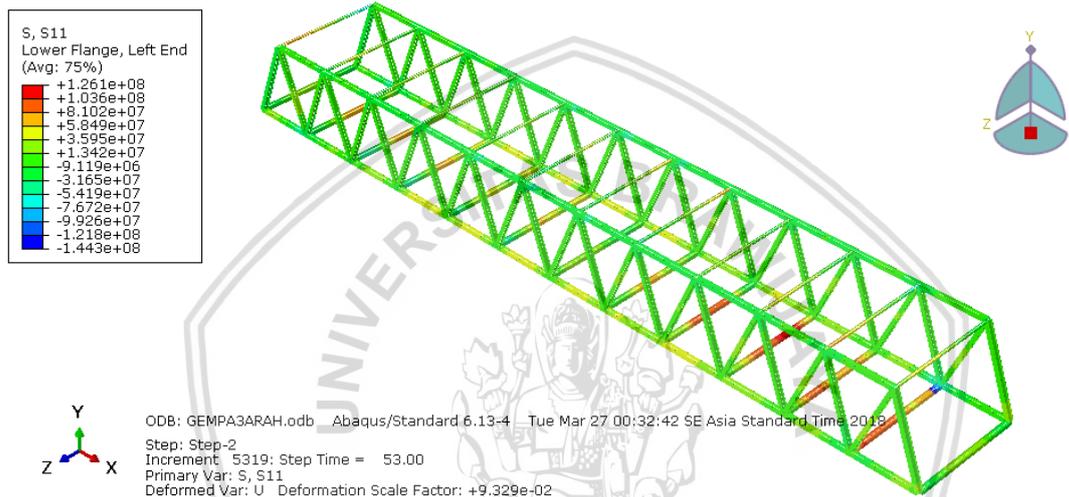
4.4 Respon Struktur terhadap Beban Gempa Tiga Arah

Sama halnya dengan simulasi numerik terhadap beban dua arah, untuk simulasi numerik terhadap beban gempa tiga arah, data time history yang dimasukkan ke dalam software ABAQUS Student Edition adalah gempa arah sumbu X yaitu arah gempa utara – selatan, gempa arah sumbu Y yaitu arah gempa atas – bawah, dan gempa arah sumbu Z yaitu gempa barat – timur. Dimana tumpuan sendi menerima beban gempa arah sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z.

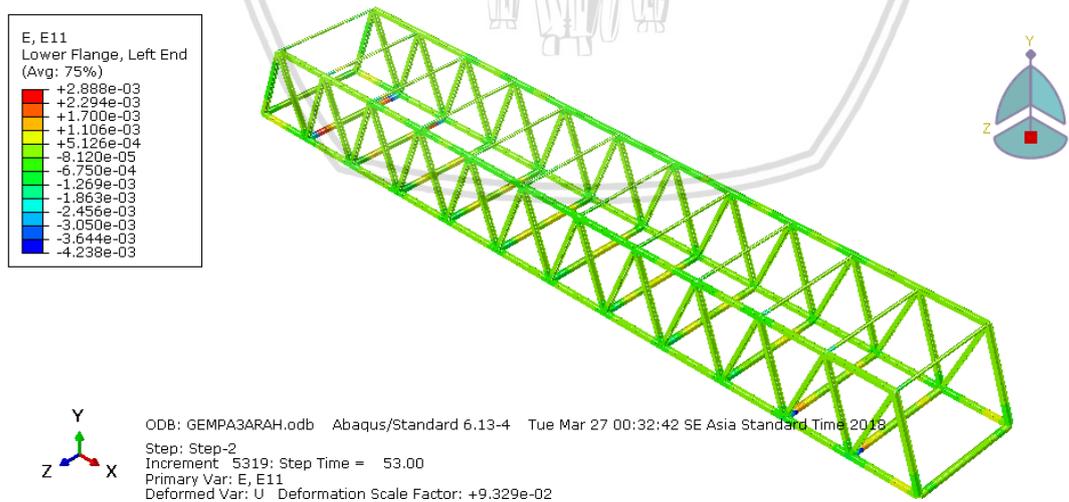
Tumpuan rol menerima beban gempa arah Y dan arah Z. Setelah model jembatan telah diberikan beban gempa tiga arah, selanjutnya dilakukan analisis terhadap struktur, sehingga dapat dilihat respon yang terjadi pada struktur akibat beban gempa tiga arah.

Data yang dihasilkan diantaranya tegangan aksial, regangan aksial, dan perpindahan. Respon struktur jembatan untuk tegangan aksial disajikan dalam bentuk tegangan aksial tarik dan aksial tekan yang terjadi di masing – masing batang yang disajikan pada **Gambar 4.33**, sedangkan untuk regangan aksial juga menghasilkan regangan aksial tarik dan tekan seperti pada **Gambar 4.34**.

Terlihat pada bagian jembatan bahwa batang tarik dan batang tekan yang memiliki tegangan yang maksimum adalah batang dekat tumpuan yang ditandai dengan batang berwarna kuning pada jembatan. Keterangan yang berbentuk kotak pada gambar merupakan keterangan tegangan dan regangan aksial akhir yang dicapai oleh struktur jembatan.

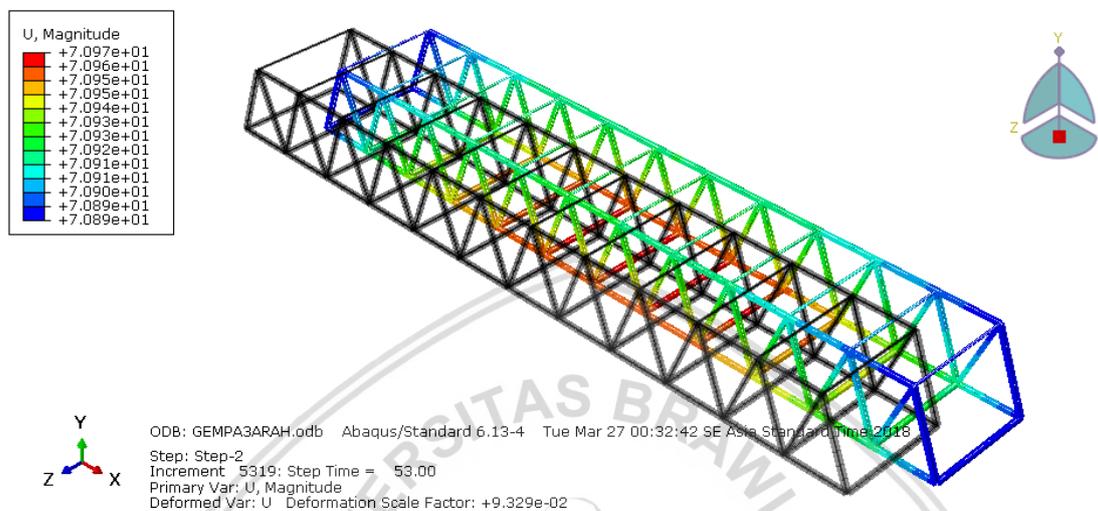


Gambar 4.33 Distribusi tegangan aksial akibat beban gempa 3 arah



Gambar 4.34 Distribusi regangan aksial akibat beban gempa 3 arah

Respon struktur akibat beban tiga arah juga menghasilkan displacement/perpindahan. Perpindahan yang terjadi diakibatkan adanya beban gempa dua arah yang diterima oleh jembatan. Untuk hasil perpindahan berupa U1, U2, dan U3. Untuk U1 merupakan perpindahan arah X, U2 perpindahan arah Y, dan U3 perpindahan arah Z. Untuk perpindahan yang dihasilkan terdapat pada **Gambar 4.35**.

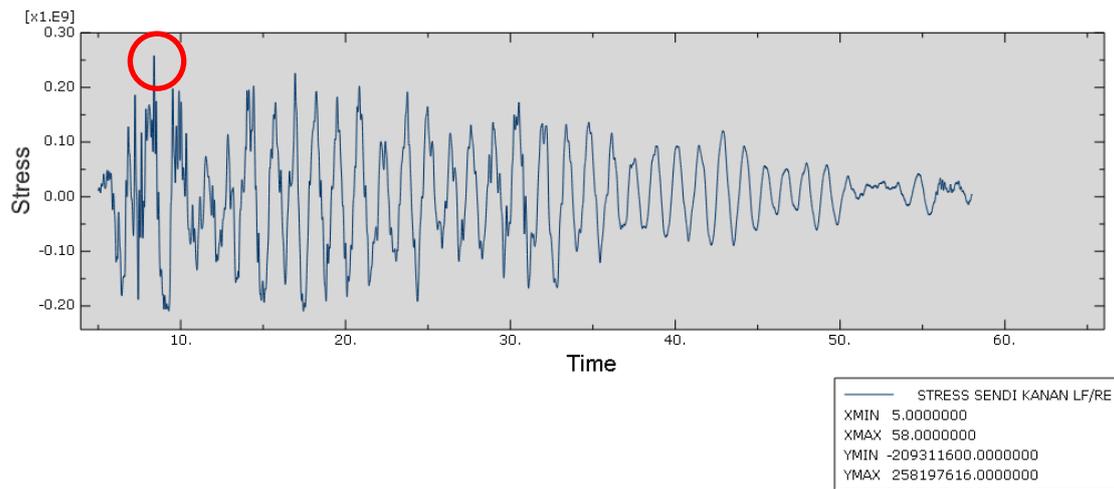


Gambar 4.35 Displacement akibat beban gempa 3 arah

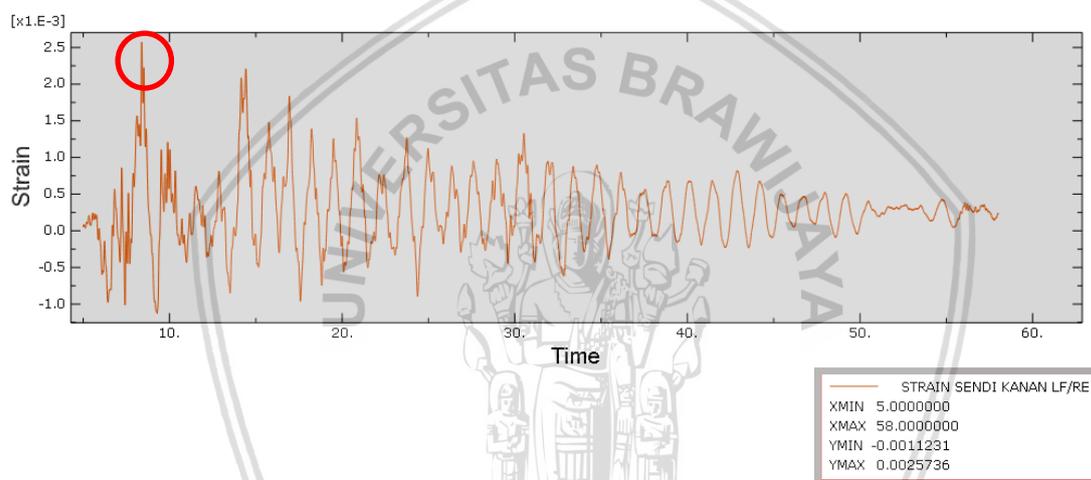
4.4.1 Batang dekat Tumpuan Sendi

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa tiga arah. **Gambar 4.36** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban tiga arah pada batang dekat tumpuan sendi. Terlihat pada kurva bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 258,197616 MPa yang merupakan tegangan tarik, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 209,3116 MPa yang merupakan tegangan tekan.

Dari kurva regangan pada **Gambar 4.37** akibat beban tiga arah pada batang dekat tumpuan sendi terlihat bahwa regangan maksimum yang terjadi sebesar 0,0025736 yang merupakan regangan tarik, sedangkan untuk regangan minimum sebesar 0,0011231 yang merupakan regangan tekan.



Gambar 4.36 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan sendi



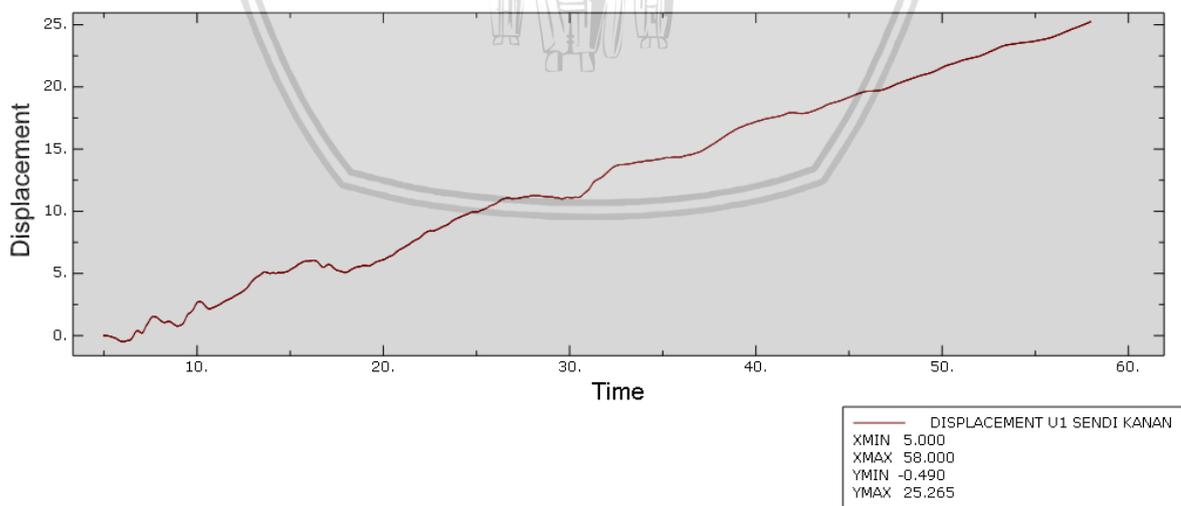
Gambar 4.37 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 258,197616 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 209,3116 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. Akan tetapi dari **Gambar 4.38** menunjukkan bahwa regangan batang sudah tidak kembali pada regangan awal batang. Sehingga bisa disimpulkan keruntuhan batang ini bukan keruntuhan akibat leleh, hal ini dapat disebabkan akibat jenis keruntuhan yang lain.



Gambar 4.38 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa tiga arah yang terjadi pada batang dekat tumpuan sendi. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,265 m seperti pada **Gambar 4.39**, arah sebaliknya dari sumbu Y sebesar 0,002 m, dan arah Z sebesar 0,213 m.

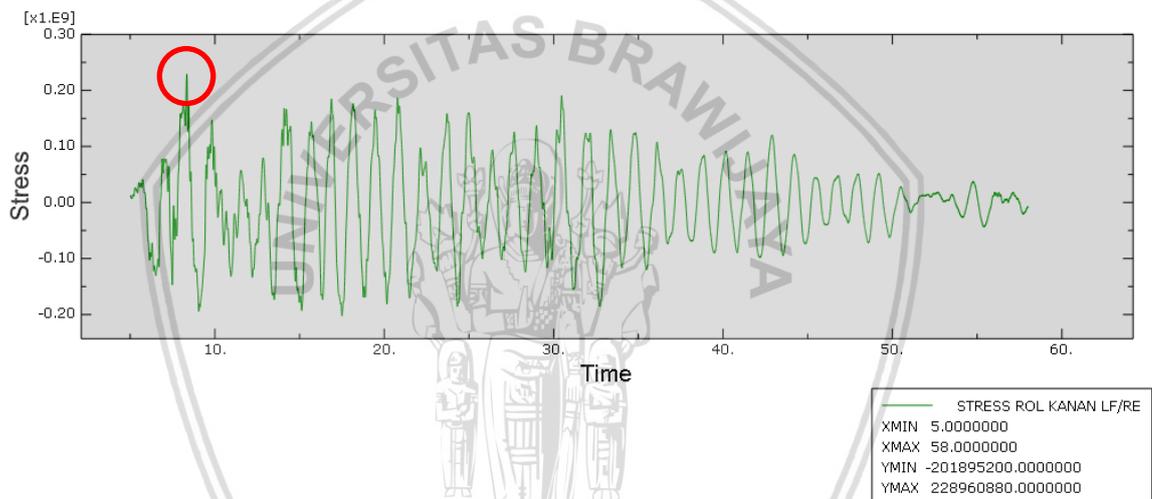


Gambar 4.39 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan sendi

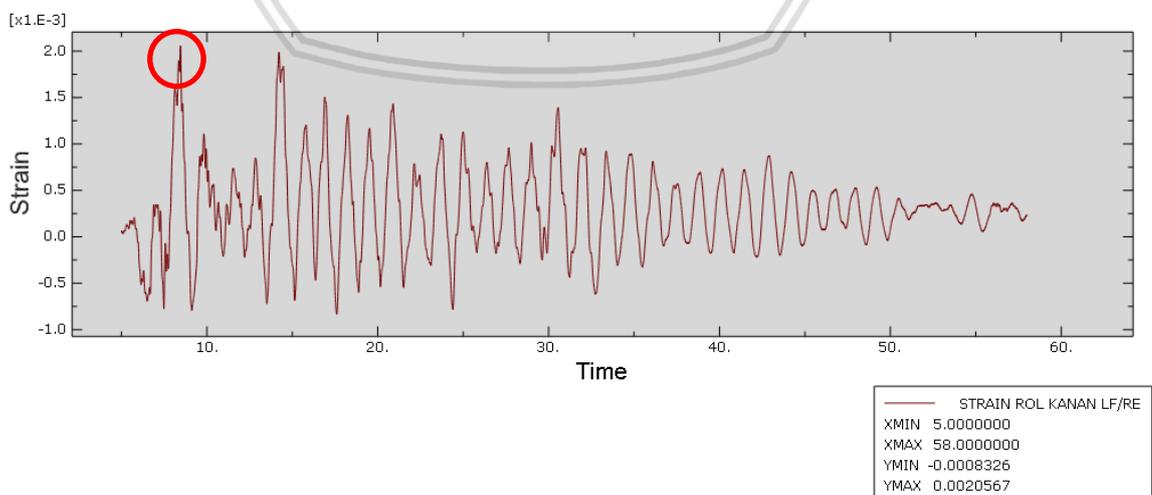
4.4.2 Batang dekat Tumpuan Rol

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa tiga arah. **Gambar 4.40** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban tiga arah pada batang dekat tumpuan sendi. Terlihat pada kurva bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 228,96088 MPa yang merupakan tegangan tarik, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 201,8952 MPa yang merupakan tegangan tekan.

Dari kurva regangan seperti pada **Gambar 4.41** akibat beban tiga arah pada batang dekat tumpuan sendi terlihat bahwa regangan maksimum yang terjadi sebesar 0,0020567 yang merupakan regangan tarik, sedangkan untuk regangan minimum sebesar 0,0008326 yang merupakan regangan tekan.

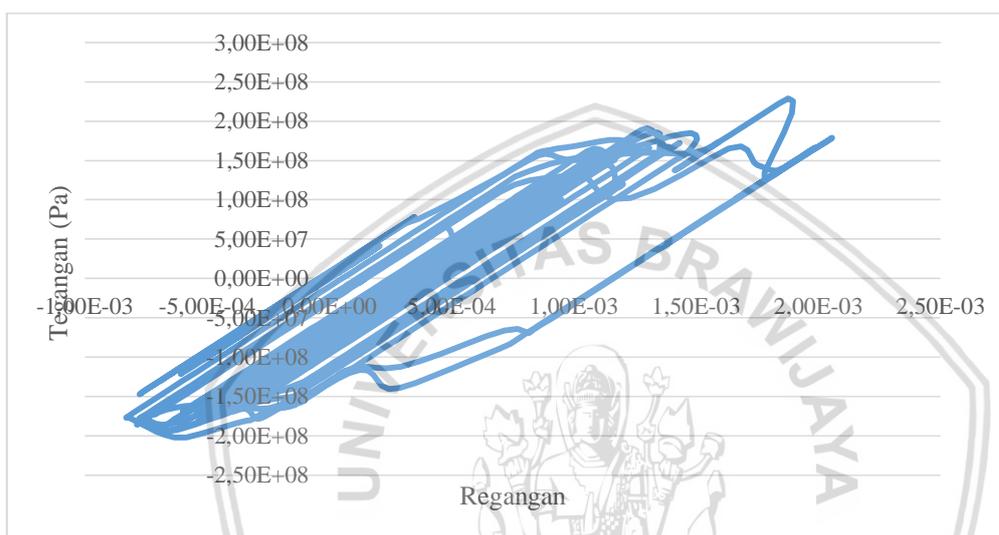


Gambar 4.40 Kurva tegangan pada batang dekat tumpuan rol



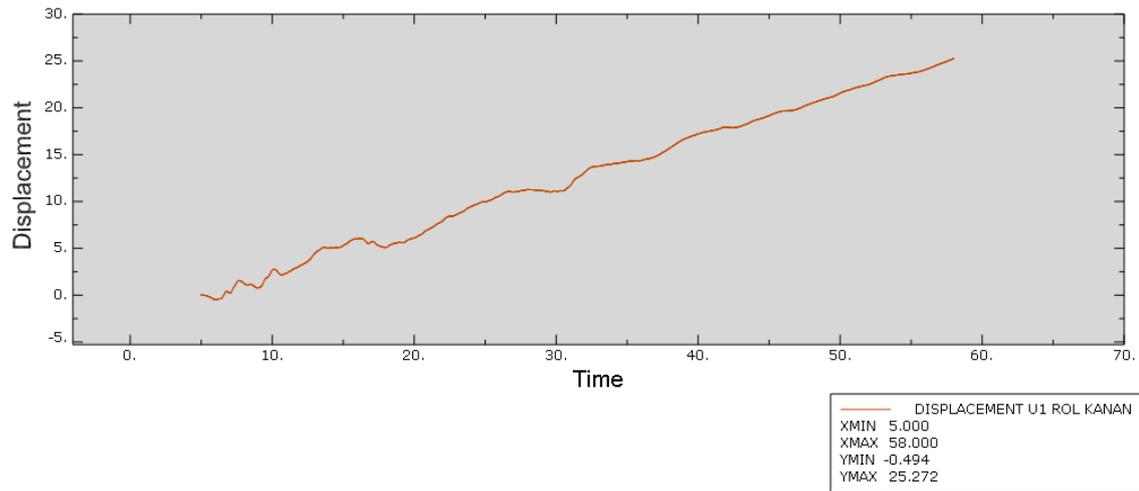
Gambar 4.41 Kurva regangan pada batang dekat tumpuan rol

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang dekat tumpuan rol sebesar 228,96088 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 201,8952 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. Akan tetapi dari **Gambar 4.42** menunjukkan bahwa regangan batang sudah tidak kembali pada regangan awal batang. Sehingga bisa disimpulkan keruntuhan batang ini bukan keruntuhan akibat leleh, hal ini dapat disebabkan akibat jenis keruntuhan yang lain.



Gambar 4.42 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa tiga arah yang terjadi pada batang dekat sendi rol. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,272 m seperti pada **Gambar 4.43**, dari arah kebalikan dari sumbu Y sebesar 0,002 m, dan arah Z sebesar 0,213 m.

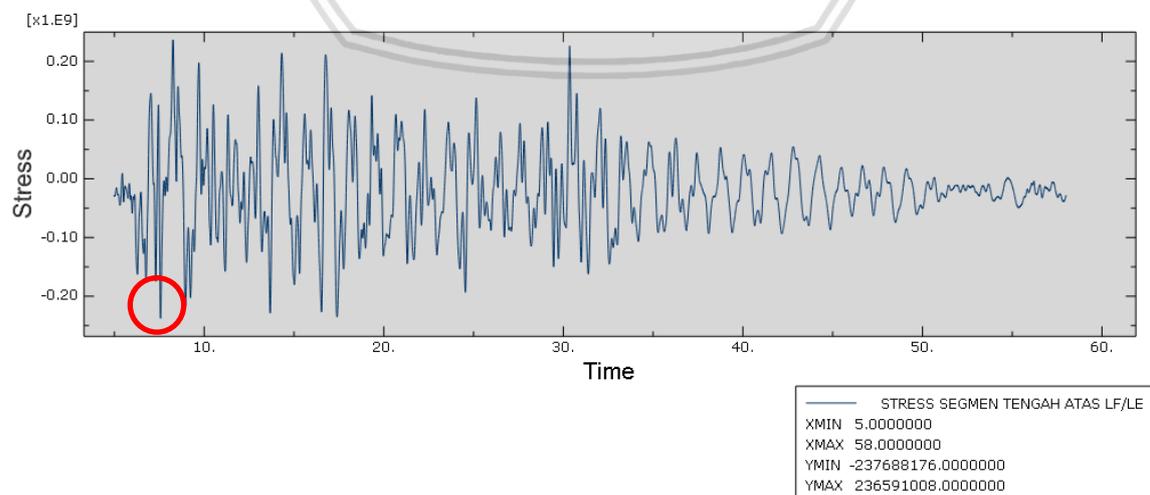


Gambar 4.43 Kurva displacement (U1) pada batang dekat tumpuan rol

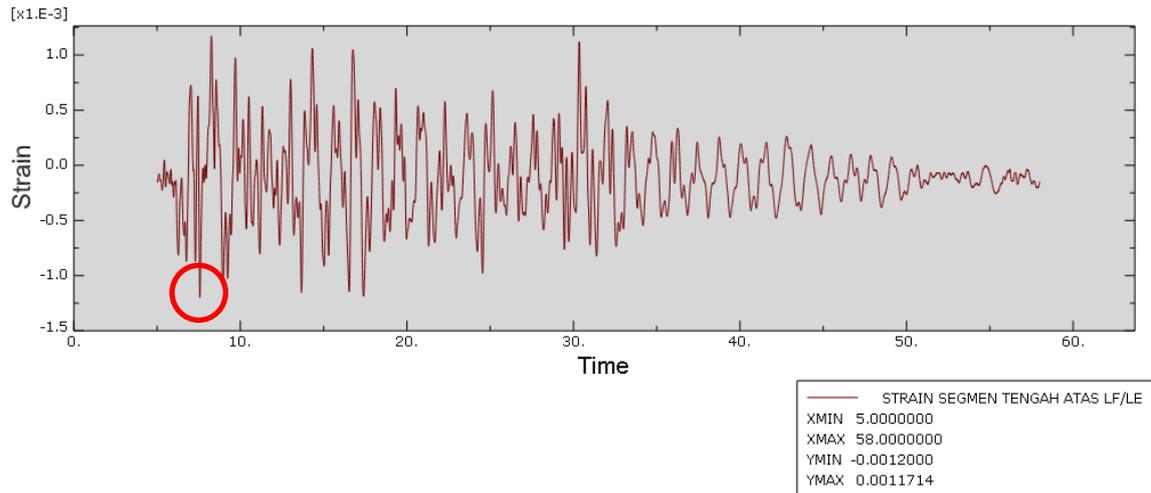
4.4.3 Batang Segmen Tengah Bagian Atas

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang dekat tumpuan sendi akibat beban gempa tiga arah. **Gambar 4.44** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban tiga arah pada batang dekat tumpuan sendi. Terlihat pada kurva bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 237,688176 MPa yang merupakan tegangan tekan, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 236,591008 MPa yang merupakan tegangan tarik.

Dari kurva regangan yang terdapat pada **Gambar 4.45** akibat beban tiga arah pada batang segmen tengah bagian atas terlihat bahwa regangan maksimum yang terjadi sebesar 0,0012 yang merupakan regangan tekan, sedangkan untuk regangan minimum sebesar 0,0011714 yang merupakan regangan tarik.

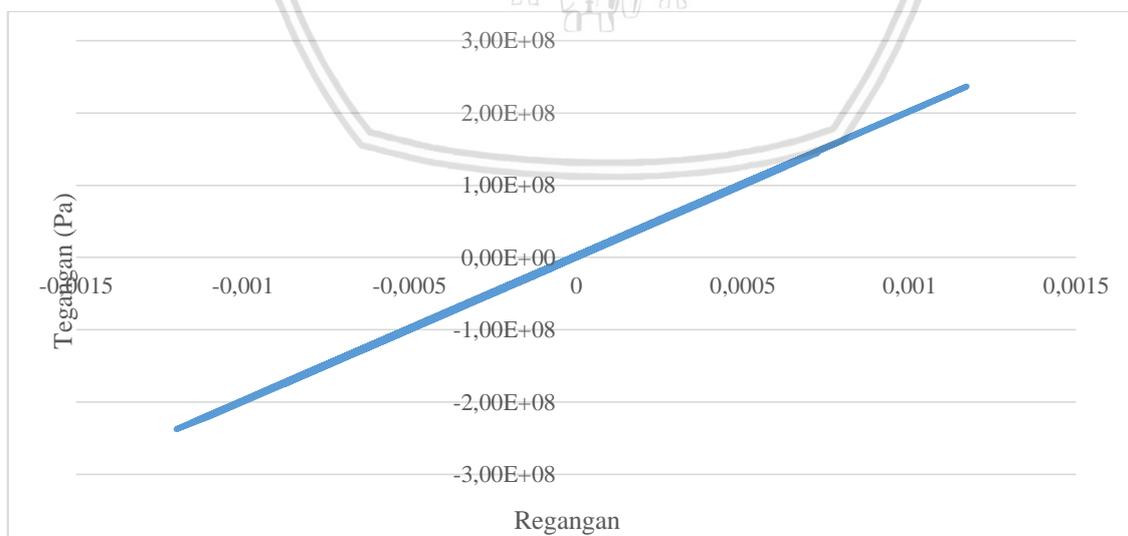


Gambar 4.44 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian atas



Gambar 4.45 Kurva regangan pada batang segmen tengah bagian atas

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang segmen tengah bagian atas sebesar 237,688176 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 236,591008 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. **Gambar 4.46** juga menunjukkan bahwa batang masih dalam kondisi elastis terlihat regangan batang kembali pada regangan awal batang. Sehingga dapat disimpulkan batang belum mengalami keruntuhan baik keruntuhan lentur maupun tekuk.



Gambar 4.46 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian atas



Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa tiga arah yang terjadi pada batang segmen tengah bagian atas. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,269 meter seperti pada **Gambar 4.47**, berkebalikan dari arah Y sebesar 0,021 m, dan arah Z sebesar 0,479 m.

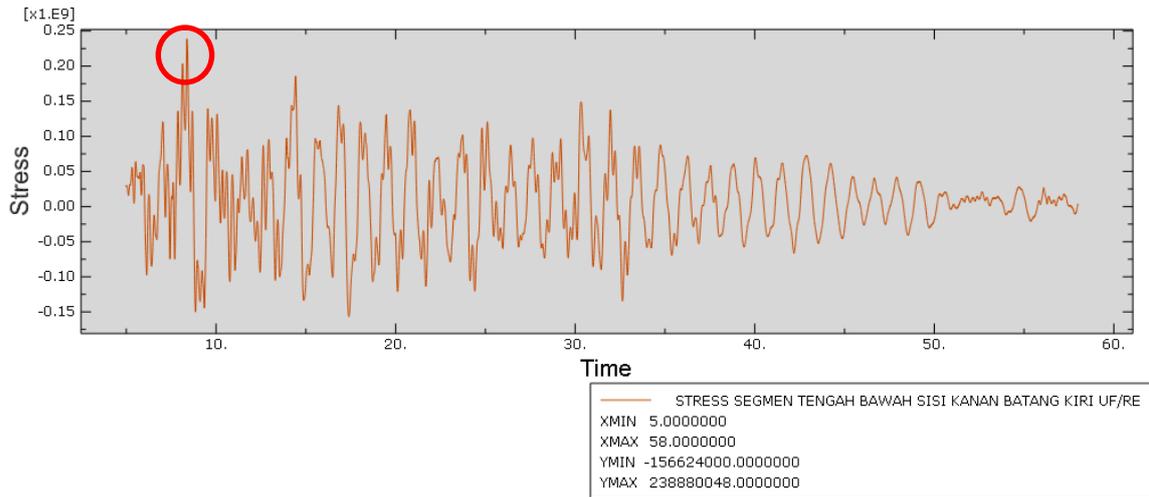


Gambar 4.47 Kurva *displacement* (U1) pada batang segmen tengah bagian atas

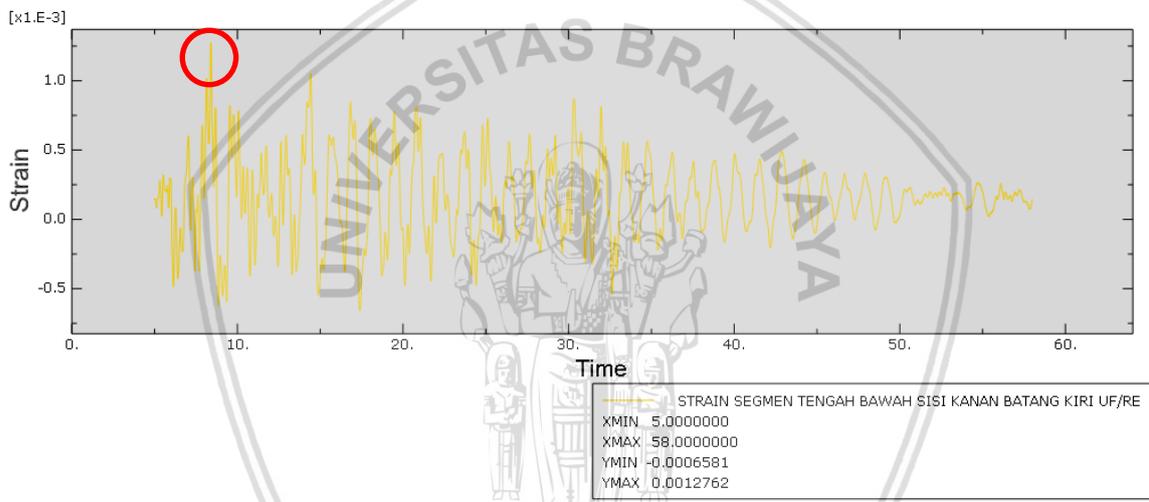
4.4.4 Batang Segmen Tengah Bagian Bawah

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang segmen tengah bagian bawah akibat beban gempa tiga arah. **Gambar 4.48** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban tiga arah pada batang segmen tengah bagian bawah. Terlihat pada kurva bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 238,880048 MPa yang merupakan tegangan tarik, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 156,624 MPa yang merupakan tegangan tekan.

Dari kurva regangan yang terdapat pada **Gambar 4.49** akibat beban tiga arah pada batang dekat tumpuan sendi terlihat bahwa regangan maksimum yang terjadi sebesar 0,0012762 yang merupakan regangan tarik, sedangkan untuk regangan minimum sebesar 0,0006581 yang merupakan regangan tekan.



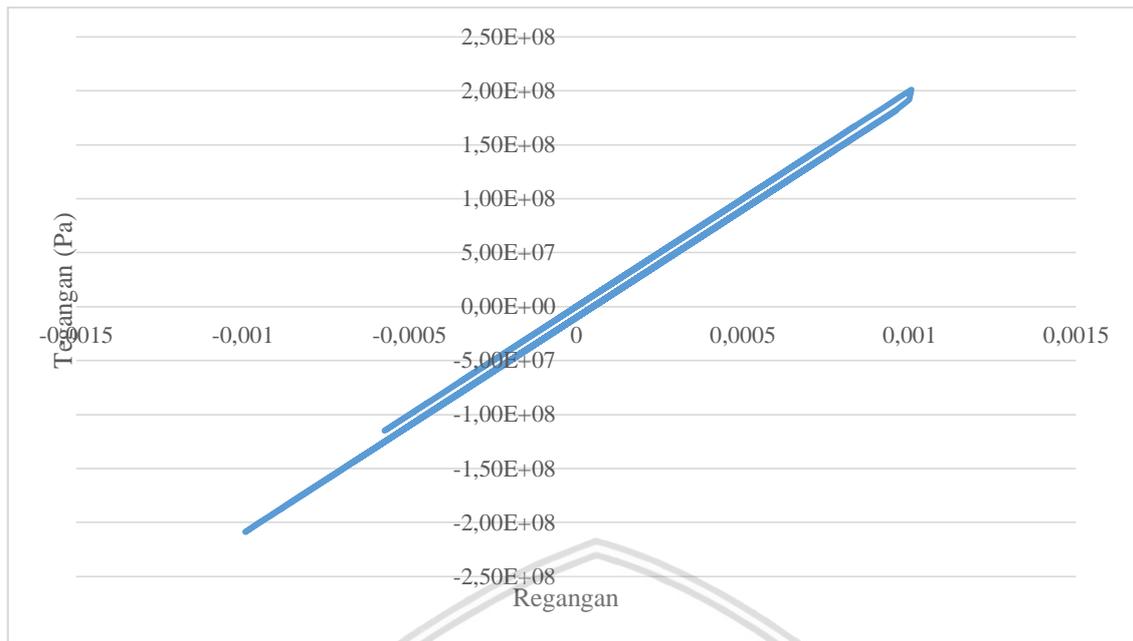
Gambar 4.48 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah



Gambar 4.49 Kurva tegangan pada batang segmen tengah bagian bawah

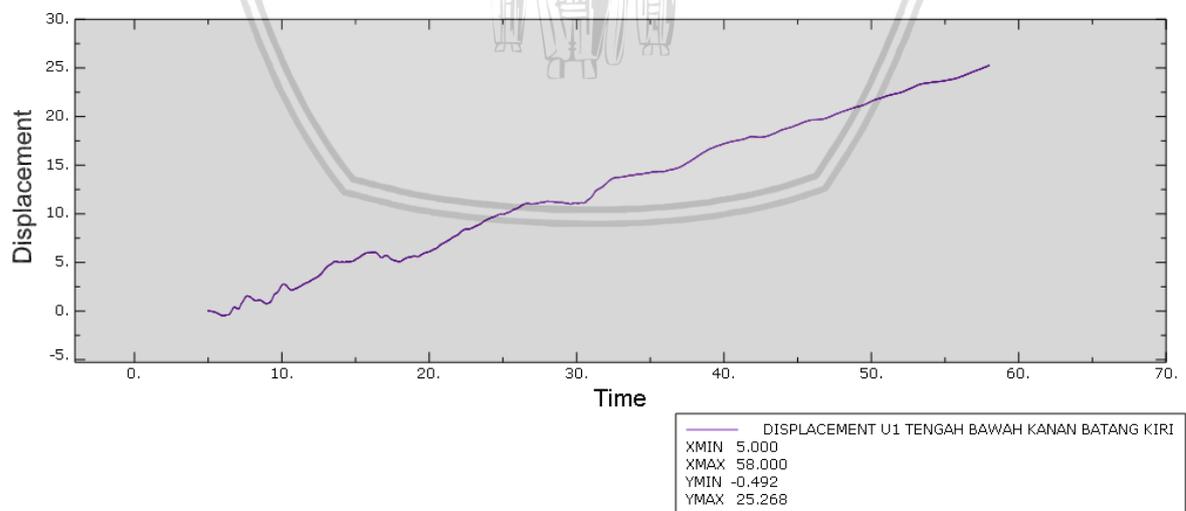
Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang segmen tengah bagian bawah sebesar 238,880048 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 156,624 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. **Gambar 4.50** juga menunjukkan bahwa batang masih dalam kondisi elastis terlihat regangan batang kembali pada regangan awal batang. Sehingga dapat disimpulkan batang belum mengalami keruntuhan baik keruntuhan lentur maupun tekuk.





Gambar 4.50 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang segmen tengah bagian bawah

Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa tiga arah yang terjadi pada batang segmen tengah bagian bawah. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,268 m seperti pada **Gambar 4.51**, arah kebalikan dari sumbu Y sebesar 0,021 m, dan arah Z sebesar 0,331 m.

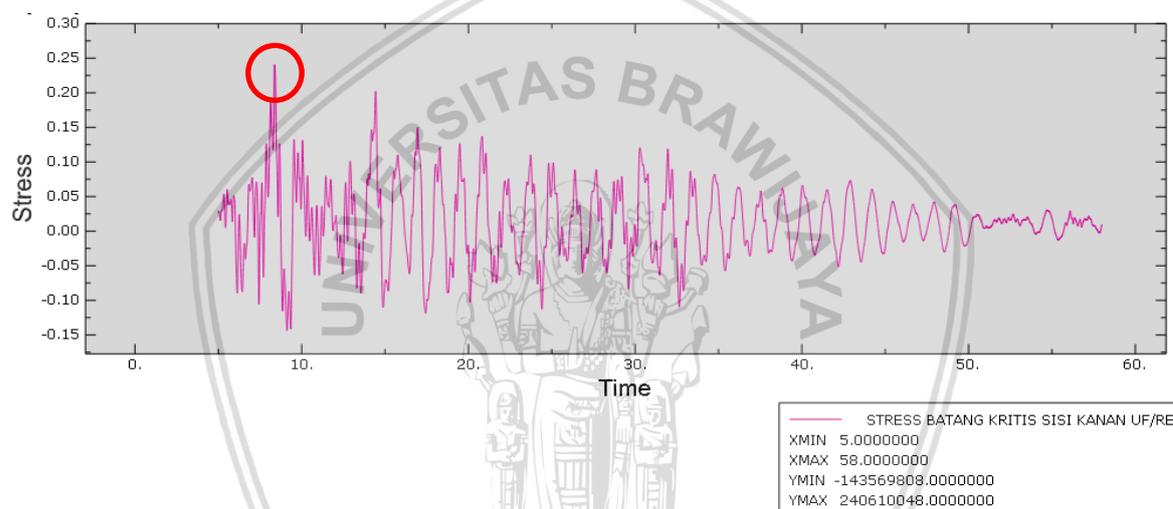


Gambar 4.51 Kurva displacement (U1) pada batang segmen tengah bagian bawah

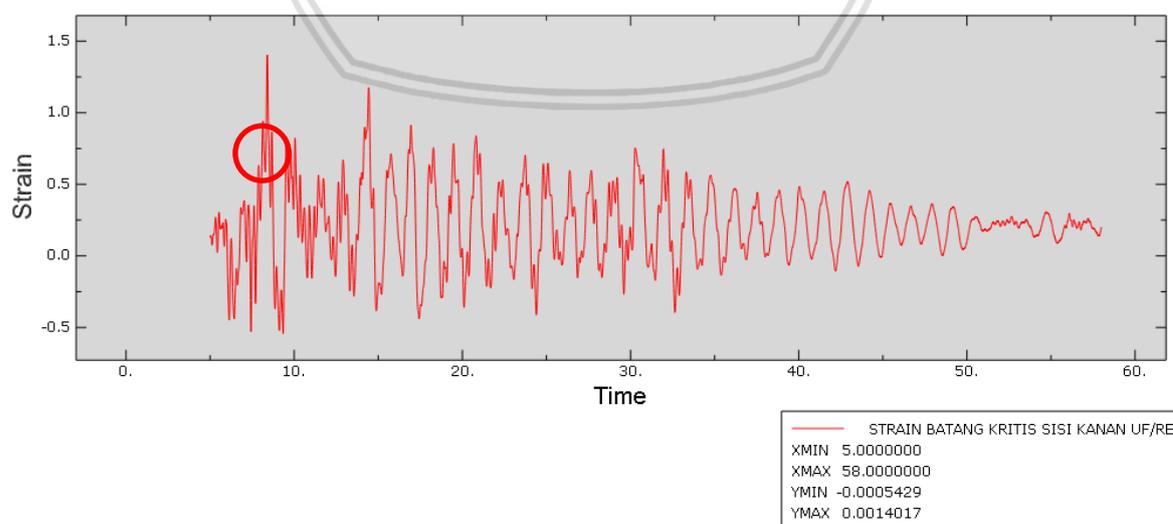
4.4.5 Batang Pembanding

Dari analisis numerik didapatkan besaran tegangan, regangan, dan perpindahan pada batang pembanding akibat beban gempa tiga arah. **Gambar 4.52** menunjukkan hasil tegangan dari analisis numerik beban tiga arah pada batang pembanding. Terlihat pada kurva bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 240,610048 MPa yang merupakan tegangan tarik, sedangkan untuk tegangan minimum sebesar 143,569808 MPa yang merupakan tegangan tekan.

Dari kurva pada **Gambar 4.53** regangan akibat beban tiga arah pada batang pembanding terlihat bahwa regangan maksimum yang terjadi sebesar 0,0014017 yang merupakan regangan tarik, sedangkan untuk regangan minimum sebesar 0,0005429 yang merupakan regangan tekan.

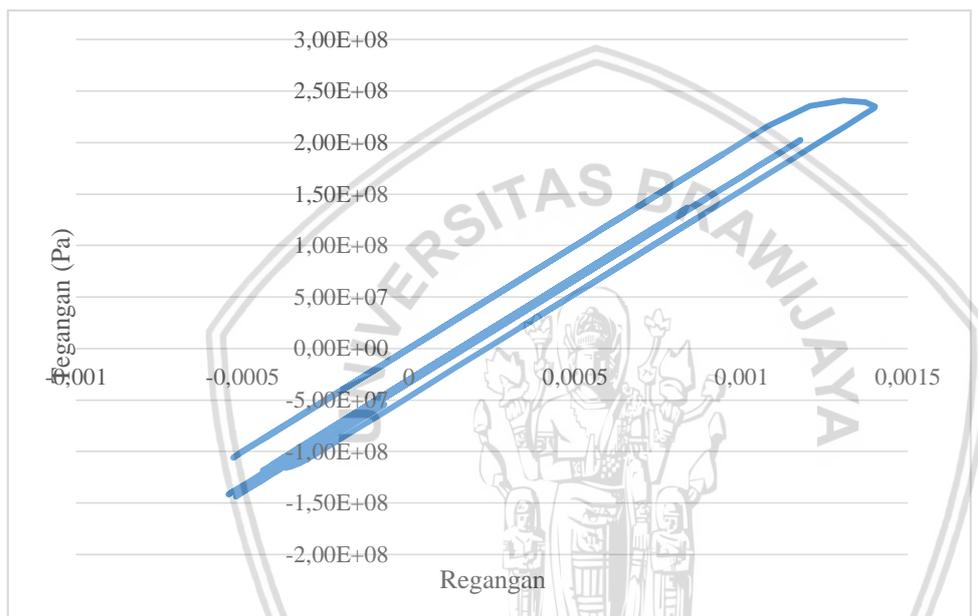


Gambar 4.52 Kurva tegangan pada batang pembanding



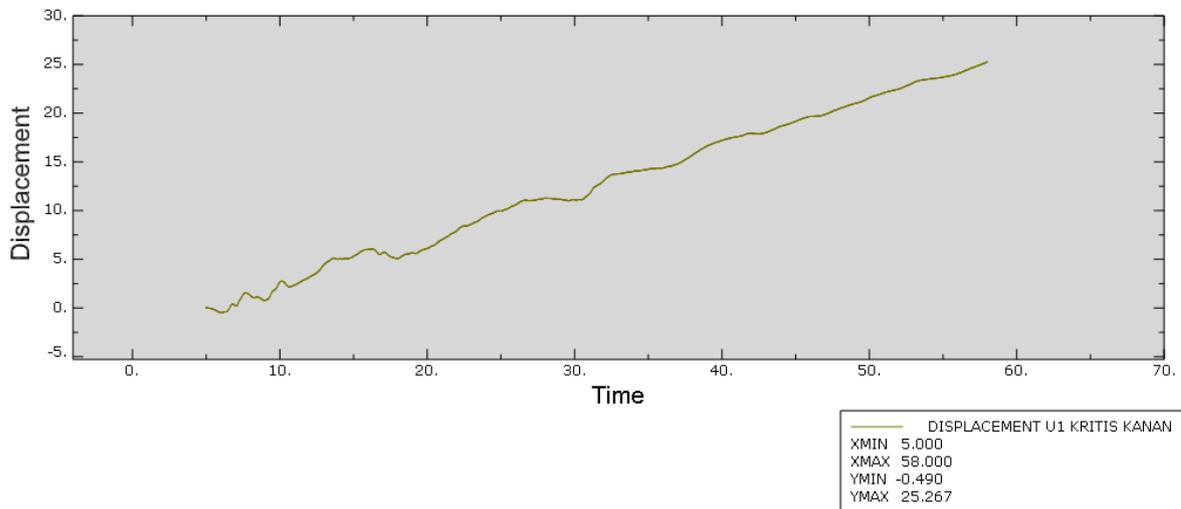
Gambar 4.53 Kurva regangan pada batang pembanding

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan maksimum pada batang segmen tengah bagian bawah sebesar 240,610048 MPa dan tegangan minimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 143,569808 MPa dimana tegangan maksimum dan minimum ini masih lebih kecil dari tegangan leleh pada kondisi awal batang sebesar 342,6498 MPa. Jika dilihat dari nilai tegangan, batang masih belum memasuki kondisi inelastis. **Gambar 4.54** menunjukkan bahwa batang sedikit mengalami penambahan regangan batang dari kondisi awal. Sehingga dapat disimpulkan batang tidak sepenuhnya mengalami keruntuhan, akan tetapi batang sudah menuju untuk runtuh.



Gambar 4.54 Grafik hubungan tegangan-regangan pada batang pembanding

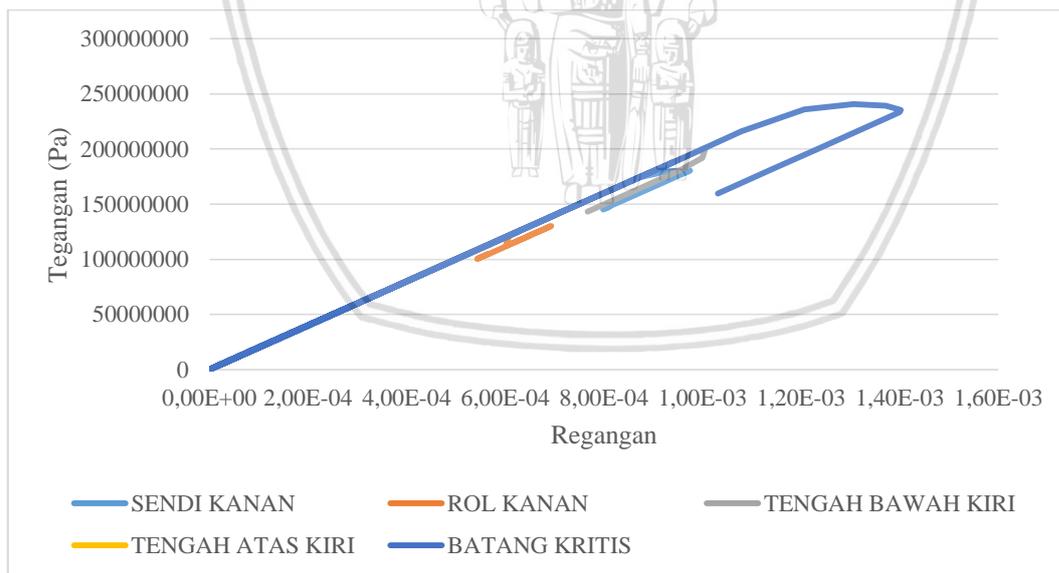
Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan yang dihasilkan akibat beban gempa tiga arah yang terjadi pada batang pembanding. Perpindahan ditinjau pada beberapa titik yang diambil dari struktur jembatan. Analisis menghasilkan struktur jembatan bergerak arah X sebesar 25,267 m seperti pada **Gambar 4.55**, arah yang berkebalikan dengan sumbu Y sebesar 0,020 m, dan arah Z sebesar 0,306 m.



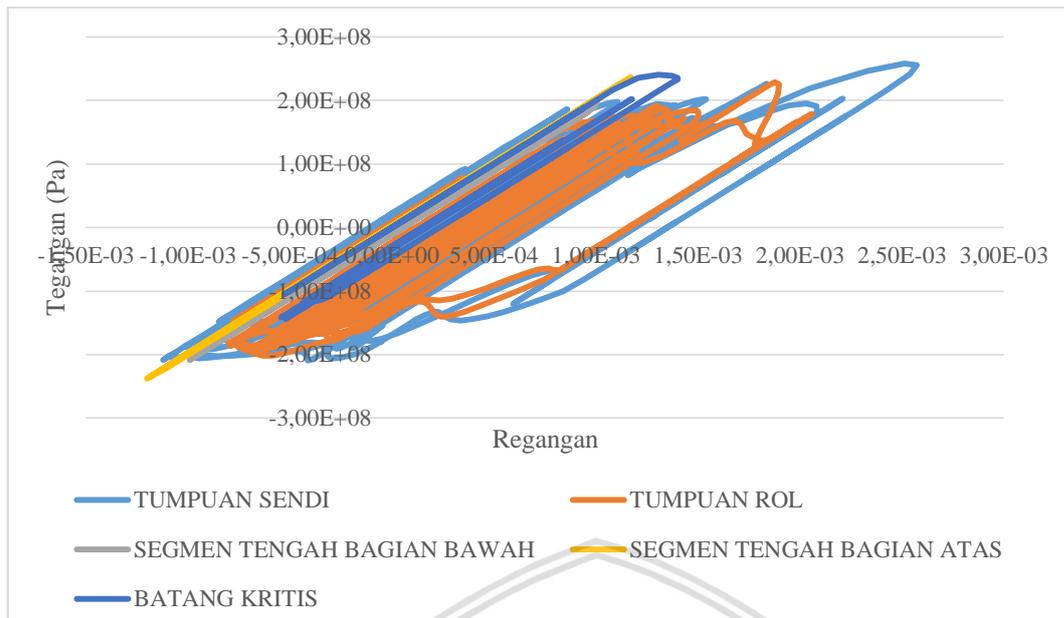
Gambar 4.55 Kurva displacement (U1) pada batang pembeding

4.4.6 Perbandingan Tegangan dan Regangan antar Batang yang Ditinjau

Grafik pada **Gambar 4.56** menunjukkan bahwa tiap – tiap bagian jembatan memiliki kemiringan yang sama pada seperempat siklus pertama grafik hubungan tegangan – regangan. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kekakuan dari kondisi awal pada tiap batang memiliki nilai yang hampir sama.



Gambar 4.56 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama



Gambar 4.57 Grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa daktilitas juga merupakan parameter dalam parameter perencanaan struktur baja. Nilai daktilitas berbeda – beda pada masing – masing jenis material baja. Seperti yang diketahui baja mutu tinggi memiliki nilai daktilitas yang tergolong rendah. Bahkan pada kurva tegangan – regangan baja mutu tinggi hampir tidak terdapat bagian mendatar, bagian mendatar pada kurva menunjukkan material baja mengalami tahap inelastis .

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami regangan yang besar sebelum material putus. Terlihat dari **Tabel 4.4**, tiap batang memiliki selisih regangan yang tidak jauh berbeda, hal ini menunjukkan tiap – tiap bagian jembatan memiliki besar penurunan kekakuan yang sama. Batang yang memiliki selisih regangan paling besar adalah batang dekat tumpuan sendi sehingga, batang dekat tumpuan sendi dapat dikatakan memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan batang yang lain.

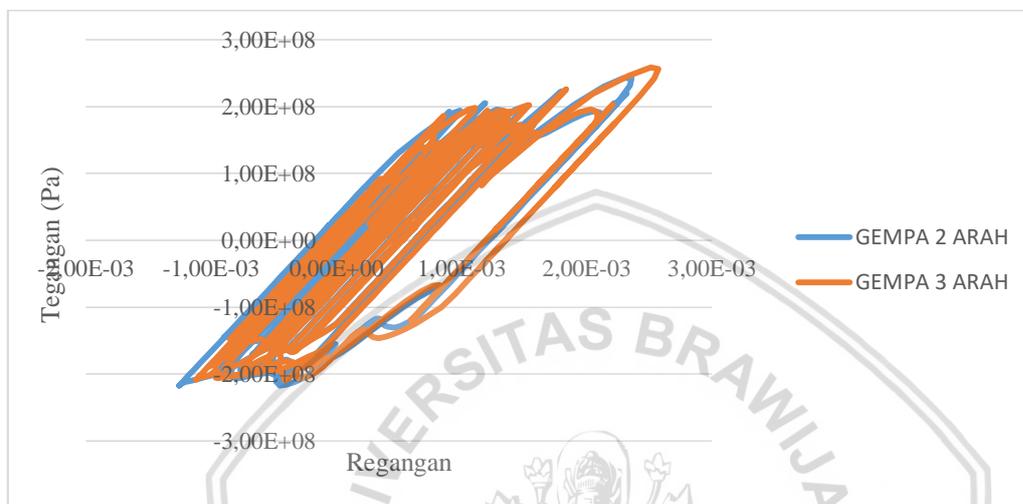
Tabel 4.4

Rekapitulasi Selisih Nilai Regangan Tiap Batang Pada Beban Gempa Tiga Arah

No.	Nama Batang	Regangan Leleh	Regangan Maksimum	Selisih Regangan
1	Batang dekat tumpuan sendi	0.0000584864	0.0025736	0.002515114
2	Batang dekat tumpuan rol	0.0000584871	0.0020567	0.001998213
3	Segmen tengah bagian atas	0.000145214	0.0012	0.001054786
4	Segmen tengah bagian bawah	0.000146399	0.0012762	0.001129801
5	Batang pembanding	0.00013701	0.0014017	0.001264690

4.5 Perbandingan Respon Struktur Jembatan Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah

Gambar 4.58 di bawah ini merupakan grafik perbandingan hubungan tegangan-regangan pada batang dekat tumpuan sendi (batang dengan tegangan dan regangan maksimum) akibat beban gempa dua arah dan tiga arah. Terlihat pada grafik, bahwa grafik hubungan tegangan dan regangan akibat beban gempa tiga arah lebih mendominasi daripada akibat beban gempa dua arah, namun tidak terlalu berbeda jauh.



Gambar 4.58 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada batang dekat tumpuan sendi

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil analisis numerik dari model jembatan rangka tipe *warren* akibat beban gempa dua arah menggunakan *software ABAQUS Student Edition*, maka didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum tiap batang yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.5

Rekapitulasi Hasil Analisis Numerik Akibat Beban Gempa Dua Arah

No.	Nama Batang	Tegangan Maksimum (Pa)	Keterangan Tegangan	Regangan Maksimum	Keterangan Regangan
1	Batang Dekat Tumpuan Sendi	242885680	Tegangan Tarik	0.0023589	Regangan Tarik
2	Batang Dekat Tumpuan Rol	220638720	Tegangan Tarik	0.0019941	Regangan Tarik
3	Batang Segmen Tengah Bagian Atas	238756016	Tegangan Tekan	0.0011938	Regangan Tekan
4	Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	180691248	Tegangan Tarik	0.0009035	Regangan Tarik
5	Batang Pembanding	212720240	Tegangan Tarik	0.0011438	Regangan Tarik

1. Hasil analisis dari model jembatan rangka tipe *warren* akibat beban gempa dua arah menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition* diperoleh tegangan maksimum yang terjadi terdapat pada batang dekat tumpuan sendi, yaitu sebesar 242885680 Pa, yang merupakan tegangan tarik.
2. Sedangkan, besarnya regangan maksimum juga terdapat pada batang dekat tumpuan sendi. Dimana nilai regangan maksimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 0.0023589 yang merupakan regangan tarik.

Kemudian untuk analisis dari model jembatan rangka tipe *warren* akibat beban gempa tiga arah menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition*, maka didapatkan nilai tegangan dan regangan maksimum tiap batang yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.6

Rekapitulasi Hasil Analisis Numerik Akibat Beban Gempa Tiga Arah

No.	Nama Batang	Tegangan Maksimum	Keterangan Tegangan	Regangan Maksimum	Keterangan Regangan
1	Batang Dekat Tumpuan Sendi	258197616	Tegangan Tarik	0.0025736	Regangan Tarik
2	Batang Dekat Tumpuan Rol	228960880	Tegangan Tarik	0.0020567	Regangan Tarik
3	Batang Segmen Tengah Bagian Atas	237688176	Tegangan Tekan	0.0011714	Regangan Tekan
4	Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	238880048	Tegangan Tarik	0.0012762	Regangan Tarik
5	Batang Pembanding	240610048	Tegangan Tarik	0.0014017	Regangan Tarik

1. Hasil analisis dari model jembatan rangka tipe *warren* akibat beban gempa dua arah menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition* diperoleh tegangan maksimum yang terjadi terdapat pada batang dekat tumpuan sendi, yaitu sebesar 258197616 Pa, yang merupakan tegangan tarik.
2. Sedangkan, besarnya regangan maksimum juga terdapat pada batang dekat tumpuan sendi. Dimana nilai regangan maksimum pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 0.0025736 yang merupakan regangan tarik.

Dari data diatas didapatkan tegangan maksimum akibat beban gempa dua arah pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 242885680 Pa dan tegangan maksimum akibat beban gempa tiga arah sebesar 258197616 Pa. Sehingga didapatkan kenaikan tegangan akibat penambahan arah gempa seperti perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{258197616 - 242885680}{258197616} \times 100\% = 5,9303 \%$$

Sehingga dapat disimpulkan akibat bertambahnya arah gempa mengakibatkan meningkatnya tegangan pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 5,9303% .

Dari tegangan dan regangan maksimum yang didapatkan pada jembatan dari tiap beban gempa dua dan tiga arah, juga didapatkan nilai modulus elastisitas sebagai berikut :

$$E_{(\text{beban gempa 2 arah})} = \frac{242885680}{0,0023589} = 1029656535 \text{ Pa} = 102965,6535 \text{ MPa}$$

$$E_{(\text{beban gempa 3 arah})} = \frac{258197616}{0,0025736} = 1003254647 \text{ Pa} = 100325,4647 \text{ MPa}$$

Sesuai dengan hasil yang ada, dapat dihitung nilai presentase selisih kapasitas struktur jembatan rangka tipe warren mutu seragam dengan beban gempa dua arah dan tiga arah terhadap kapasitas struktur jembatan pada kondisi awal sebagai berikut:

$$\frac{102965,6535 - 100325,4647}{102965,6535} \times 100\% = 2,5641 \%$$

Jadi dapat disimpulkan, dengan jembatan dari beban gempa dua arah di tingkatan menjadi beban gempa tiga arah, mengakibatkan penurunan modulus elastisitas jembatan sebesar 2,5641 % dari modulus elastisitas pada kondisi struktur jembatan akibat beban gempa dua arah .

Tabel 4.7

Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tiap Batang Akibat Beban Gempa Dua Arah

No.	Nama Batang	Tegangan Maksimum	Regangan Maksimum	Modulus Elastisitas Awal (Mpa)	Modulus Elastisitas Numerik (Mpa)	Presentase Selisih Modulus Elastisitas
1	Batang Dekat Tumpuan Sendi	242885680	0.0023589	200000	102966	48.517%
2	Batang Dekat Tumpuan Rol	220638720	0.0019941		110646	44.677%
3	Batang Segmen Tengah Bagian Atas	238756016	0.0011938		199997	0.002%
4	Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	180691248	0.0009035		199990	0.005%
5	Batang Pembanding	212720240	0.0011438		185977	7.012%

Tabel 4.8

Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tiap Batang Akibat Beban Gempa Tiga Arah

No.	Nama Batang	Tegangan Maksimum	Regangan Maksimum	Modulus Elastisitas Awal (Mpa)	Modulus Elastisitas Akhir (Mpa)	Presentase Selisih Modulus Elastisitas
1	Batang Dekat Tumpuan Sendi	258197616	0.0025736	200000	100325	49.837%
2	Batang Dekat Tumpuan Rol	228960880	0.0020567		111324	44.338%
3	Batang Segmen Tengah Bagian Atas	237688176	0.00112		202909	-1.455%
4	Batang Segmen Tengah Bagian Bawah	238880048	0.0012762		187181	6.410%
5	Batang Pembanding	240610048	0.0014017		171656	14.172%

Diambil percepatan gempa sebanyak 10 kali, dikarenakan besarnya percepatan gempa setelah dipercepat 10 kali sudah cukup untuk membuat jembatan *collapse* sehingga tegangan dan regangan maksimum nya dapat diambil untuk analisis jembatan. Berdasarkan hasil perhitungan presentase diatas menunjukkan bahwa, sudah cukup memenuhi apabila perencanaan jembatan rangka menggunakan pembebanan gempa dua arah, sehingga dapat disimpulkan analisis dengan arah gempa dua arah sudah cukup untuk digunakan.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian yang ini untuk mengetahui akibat yang ditimbulkan dari penambahan arah beban gempa, dapat ditarik kesimpulan seperti dibawah ini :

1. Pada bagian – bagian jembatan, yang sudah mengalami keruntuhan pada akibat beban gempa dua arah yaitu, batang dekat tumpuan sendi dan rol sedangkan, untuk akibat beban gempa tiga arah, batang dekat tumpuan sendi, rol dan batang pembanding. Seluruh bagian – bagian jembatan memiliki penurunan kekakuan yang hampir sama, terlihat dari grafik hubungan tegangan-regangan antar batang yang ditinjau pada seperempat siklus pertama yang memiliki kemiringan yang sama pada tiap – tiap bagian jembatan. Akibat bertambahnya arah gempa dari dua arah menjadi tiga arah mengakibatkan meningkatnya tegangan pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 5,9303%, akan tetapi mengakibatkan penurunan modulus elastisitas jembatan pada batang dekat tumpuan sendi sebesar 2,5641 % dari modulus elastisitas batang pada kondisi struktur jembatan akibat beban gempa dua arah .
2. Ketika jembatan diberi beban gempa dua arah, batang yang mengalami daktilitas lebih tinggi adalah, batang dekat tumpuan sendi, terlihat jarak regangan leleh hingga regangan putus besarnya melebihi bagian – bagian jembatan yang lain sebesar 0.002300413 sedangkan, ketika jembatan diberi beban gempa tiga arah, batang yang mengalami daktilitas lebih tinggi adalah, batang dekat tumpuan sendi, terlihat jarak regangan leleh hingga regangan putus besarnya melebihi bagian – bagian jembatan yang lain sebesar 0.002515114.

Dari besarnya persentase kenaikan tegangan yang tidak begitu besar, dan persentase penurunan modulus elastisitas yang tidak begitu besar sehingga, analisis jembatan dengan menggunakan beban gempa tiga arah tidak begitu berpengaruh besar jika dibandingkan dengan beban gempa dua arah. Sehingga sudah cukup analisis jembatan menggunakan beban gempa dua arah

5.2 Saran

1. Data percepatan gempa dapat diambil di wilayah yang memiliki skala gempa lebih besar dari gempa El Centro 1979
2. Dalam pemodelan jembatan pada penelitian ini bentuk yang digunakan dalam part module yaitu beam, untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan part module shell agar dapat memberikan hasil yang lebih detail.
3. Dalam penelitian dapat menggunakan model jembatan yang lain, misalkan jembatan rangka tipe lain atau jembatan beton.



DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus Analysis User's Manual 6.9*. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chen, W. & Duan, L. (2000). *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2000.
- Satyarno, I. (2003). *Analisis Struktur Jembatan*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
- Setiawan, Agus. (2013). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga
- Struyk, H.J. & Van der Veen, K.H.C.W. (1984). *Jembatan-Konstruksi*. Terjemahan Soemargono. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Supriadi, Bambang., Agus Setyo Muntohar. (2007). *Jembatan*. Cetakan Ke-4. Yogyakarta: Beta Offset.
- Supriatna, Lucky. Budiono, Bambang. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: Penerbit ITB.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Universitas Islam Indonesia Press.
- Wijaya, M.N., Susanti, L., Setyowulan, D. & Salim, A.A. (2017). *Effects of Using Lower Steel Grade on the Critical Members to the Seismic performance of Steel Truss Bridge Structures*. *IJCIET*. Vol. 8, No.10:948-955.
- Wijaya, M.N., Susanti, L. & Setyowulan, D. (2017). *Pengaruh Keseragaman Mutu dan Modulus Elastisitas Baja Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Dalam Menahan Beban Gempa*. Hibah Peneliti Pemula.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus Analysis User's Manual 6.9*. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chen, W. & Duan, L. (2000). *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2000.
- Satyarno, I. (2003). *Analisis Struktur Jembatan*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
- Setiawan, Agus. (2013). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga
- Struyk, H.J. & Van der Veen, K.H.C.W. (1984). *Jembatan-Konstruksi*. Terjemahan Soemargono. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Supriadi, Bambang., Agus Setyo Muntohar. (2007). *Jembatan*. Cetakan Ke-4. Yogyakarta: Beta Offset.
- Supriatna, Lucky. Budiono, Bambang. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: Penerbit ITB.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Universitas Islam Indonesia Press.
- Wijaya, M.N., Susanti, L., Setyowulan, D. & Salim, A.A. (2017). *Effects of Using Lower Steel Grade on the Critical Members to the Seismic performance of Steel Truss Bridge Structures*. *IJCIET*. Vol. 8, No.10:948-955.
- Wijaya, M.N., Susanti, L. & Setyowulan, D. (2017). *Pengaruh Keseragaman Mutu dan Modulus Elastisitas Baja Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Dalam Menahan Beban Gempa*. Hibah Peneliti Pemula.