

DEFLEKSI BALOK MELINTANG DAN TEGANGAN BATANG DIAGONAL TEPI JEMBATAN “BOOMERANG BRIDGE” AKIBAT VARIASI POSISI PEMBEBANAN

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

DANNY ZUAN AFRIZAL

NIM. 105060100111053

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

DEFLEKSI BALOK MELINTANG DAN TEGANGAN BATANG DIAGONAL TEPI JEMBATAN “BOOMERANG BRIDGE” AKIBAT VARIASI POSISI PEMBEBANAN

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

DANNY ZUAN AFRIZAL

NIM. 105060100111053

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

Christin Remayanti N, ST, MT

NIP. 19511211 198103 2 001

NIK. 84032506 1 2 0377

LEMBAR PENGESAHAN

DEFLEKSI BALOK MELINTANG DAN TEGANGAN BATANG DIAGONAL TEPI JEMBATAN “BOOMERANG BRIDGE” AKIBAT VARIASI POSISI PEMBEBANAN

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

DANNY ZUAN AFRIZAL

105060100111053

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 21 Juli 2014**

Penguji

Penguji

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

Christin Remayanti N, ST, MT

NIP. 19511211 198103 2 001

NIK. 84032506 1 2 0377

Penguji

Ir. Sugeng Prayitno Budio, MS

NIP. 19610125 198601 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi W. ST., M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Danny Zuan Afrizal

NIM : 105060100111053

Judul Skripsi : DEFLEKSI BALOK MELINTANG DAN TEGANGAN
BATANG DIAGONAL TEPI JEMBATAN “BOOMERANG
BRIDGE” AKIBAT VARIASI POSISI PEMBEBANAN

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan laporan skripsi berdasarkan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari penulis sendiri, baik untuk naskah laporan maupun hasil dari penelitian yang tercantum dalam laporan skripsi ini. Jika terdapat hasil karya orang lain, penulis akan mencantumkan sumber secara jelas.

Demikian surat pernyataan ini saya buat. Semua informasi yang dimuat di dalam skripsi ini yang berasal dari hasil karya penulis lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama dan sumber penulis secara benar dan semua isi dari karya ilmiah/skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab bagi penulis.

Malang, Juli 2014

Yang membuat pernyataan

Danny Zuan Afrizal

NIM. 105060100111053

PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Defleksi Balok Melintang Dan Tegangan Batang Diagonal Tepi Jembatan “Boomerang Bridge” Akibat Variasi Posisi Pembebanan”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Sugeng Prayitno Budio, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang yang telah mendukung terlaksananya skripsi ini.
2. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang yang telah mendukung terlaksananya skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang yang telah mendukung terlaksananya skripsi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
5. Ibu Christin Remayanti N, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
7. Mbak Indah dan Mbak Azmi sebagai Administrasi Laboratorium Mekanika Tanah yang telah memberikan dukungan.
8. Aulia R, Arie P, Erwin W, Ferry K, Ferdian B.S yang telah banyak membantu.
9. Segenap keluarga besar Teknik Sipil Universitas Brawijaya angkatan 2010, yang telah setia menemani dan membantu selama proses pengerjaan skripsi.

Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian-penelitian berikutnya.

Malang, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Baja	4
2.2 Regangan.....	6
2.3 Tegangan	6
2.4 Jembatan Rangka	8
2.5 Batang Tarik.....	10
2.6 Batang Tekan	10
2.7 Garis pengaruh	11
2.7.1 Manfaat Garis Pengaruh	11
2.7.2 Prosedur dalam menghitung garis pengaruh.....	12
2.8 Uji Tarik.....	12
2.9 Defleksi	15
BAB III : METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	16
3.3 Pengadaan Bahan	16
3.4 Pemodelan Jembatan.....	17
3.5 Pemodelan Pembebanan.....	20
3.6 Langkah-Langkah Penelitian Dan Pengujian.....	22

3.6.1	Uji Tarik Baja	22
3.6.2	Uji Tegangan.....	23
3.6.3	Uji Defleksi.....	25
3.7	Rancangan Penelitian	26
3.8	Variabel Penelitian	27
3.9	Diagram Alir Penelitian	28
3.10	Analisis Data	30
3.10.1	Analisis Hasil Pengujian	30
3.10.2	Analisis Perhitungan Dengan Program (Teoritis).....	31
3.10.3	Analisis Garis Pengaruh.....	31
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Pengujian Elastisitas Baja	32
4.2	Pengujian Tegangan Batang Baja Profil	34
4.3	Pengujian Defleksi Balok Melintang Rangka Jembatan.....	39
4.4	Hasil Perhitungan Teoritis	41
4.4.1	Hasil Gaya Batang dan Tegangan Teoritis	42
4.4.2	Hasil Lendutan Balok Melintang Teoritis	43
4.5	Perbandingan Hasil Uji Dengan Hasil Teoritis.....	45
4.5.1	Perbandingan Nilai Tegangan Batang Diagonal	45
4.5.2	Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang	47
BAB V : PENUTUP		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....		52
LAMPIRAN.....		53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Baja Berdasarkan Kekuatannya	5
Tabel 3.1	Jarak Perletakkan Beban Jembatan	21
Tabel 3.2	Tabel Penentuan Dimensi Batang Uji Elastisitas	22
Tabel 3.3	Pembacaan Regangan Dalam Proses Pengujian Elastisitas Profil Baja	26
Tabel 3.4	Pembacaan Regangan Batang Diagonal	26
Tabel 3.5	Pembacaan Defleksi Balok Melintang Akibat Beban 400 Kg Dengan Menggunakan Spreader Beam	27
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Elastisitas	34
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi	36
Tabel 4.3	Gaya Batang Teoritis	42
Tabel 4.4	Perbandingan Tegangan Batang Diagonal Rangka Tepi Berdasarkan Pengujian dan Teoritis	45
Tabel 4.5	Prosentase Beda Antara Tegangan Hasil Pengujian Dengan Teoritis	47
Tabel 4.6	Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang Antara Pengujian Dengan Teoritis Akibat Beban di Balok Melintang 1 (posisi 1)	47
Tabel 4.7	Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang Antara Pengujian Dengan Teoritis Akibat Beban di Balok Melintang 2 (posisi 2)	48
Tabel 4.8	Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang Antara Pengujian Dengan Teoritis Akibat Beban di Balok Melintang 3 (posisi 3)	48
Tabel 4.9	Prosentase Perbedaan Antara Lendutan Hasil Pengujian Dengan Teoritis	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Batang prismatic yang mengalami Tarik	7
Gambar 2.2	Tipe-Tipe Konfigurasi Rangka Jembatan	9
Gambar 2.3	Bagian-Bagian Batang Rangka Jembatan	10
Gambar 2.4	Profil Data Hasil Uji Tarik	13
Gambar 2.5	Deformasi Balok Sederhana	15
Gambar 3.1	Konfigurasi Rangka Jembatan Boomerang Bridge Dalam 3D	17
Gambar 3.2	Dimensi Jembatan Tampak Samping	17
Gambar 3.3	Dimensi Jembatan Tampak Atas	18
Gambar 3.4	Dimensi Jembatan Tampak Depan	18
Gambar 3.5	Dimensi Profil Baja yang Dipakai Pada Jembatan Boomerang	19
Gambar 3.6	Perletakkan Beban Garis Tampak Depan Pada Saat Pengujian	20
Gambar 3.7	Perletakkan Beban Garis Tampak Samping Pada Saat Pengujian	20
Gambar 3.8	Perletakkan Beban Garis Tampak 3D Pada Program	21
Gambar 3.9	Posisi Perletakkan Beban Jembatan	21
Gambar 3.10	Dimensi Profil untuk Pengujian Elastisitas	22
Gambar 3.11	Pemasangan Strain Gauge pada Benda Uji	23
Gambar 3.12	Batang Diagonal Rangka Tepi Yang Diuji	24
Gambar 3.13	Pemasangan Strain Gauge Pada Batang Uji Jembatan	24
Gambar 3.14	3 Balok Melintang Yang Akan Diuji Tampak Atas	25
Gambar 3.15	Pemasangan LVDT Pada Balok Melintang	25
Gambar 3.16	Beban Berjalan 1 Satuan Sebagai Analisa Garis Pengaruh	31
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 1	32
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 2	33
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 3	33
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 4	33
Gambar 4.5	Gambar Posisi Pembebanan	34
Gambar 4.6	Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 1	35
Gambar 4.7	Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 2	35

Gambar 4.8	Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 3	36
Gambar 4.9	Gambar Posisi Pembebanan Serta Balok Melintang Yang Diuji	39
Gambar 4.10	Perletakkan Dial	39
Gambar 4.11	Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 1 (Posisi1)	40
Gambar 4.12	Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)	40
Gambar 4.13	Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)	41
Gambar 4.14	Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)	43
Gambar 4.15	Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)	44
Gambar 4.16	Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)	44
Gambar 4.17	Perbandingan Garis Pengaruh Gaya Batang Pengujian dan Teoritis	46
Gambar 4.18	Distribusi Momen Tahanan Terhadap Momen Jepit Sempurna Sambungan Simple Connections, Semirigid Connections, dan Rigid Connections	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Gambar Potongan Sebenarnya Jembatan Boomerang Bridge	53
Lampiran 2	Dokumentasi Saat Pengujian	56
Lampiran 3	Grafik Hasil Uji Tarik Baja	58
Lampiran 4	Hasil Pembacaan Nilai Regangan Benda Uji Spesimen Pada Pengujian Elastisitas	62
Lampiran 5	Hasil Perhitungan Nilai Tegangan Dan Regangan Pada Pengujian Elastisitas	63
Lampiran 6	Hasil Pembacaan <i>Strain Gauge</i> Batang Diagonal	64
Lampiran 7	Hasil Lendutan Balok Melintang	66
Lampiran 8	Perhitungan Garis Pengaruh Gaya Batang Akibat Beban 1 Satuan	69
Lampiran 9	Analisis Perhitungan Dengan Program	70

RINGKASAN

Danny Zuan Afrizal, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2014, *Defleksi Balok Melintang Dan Tegangan Batang Diagonal Tepi Jembatan “Boomerang Bridge” Akibat Variasi Posisi Pembebanan*, Dosen Pembimbing : Sri Murni Dewi dan Christin Remayanti N.

Jembatan Boomerang sendiri merupakan jembatan rangka dengan konfigurasi rangka jenis K-truss. Dalam perhitungan secara teoritis dan kenyataan lendutan yang dihasilkan sangat berbeda, Perbedaan angka lendutan secara teoritis dengan pengujian lapangan inilah yang menjadi dasar dari penelitian ini. Balok melintang pada jembatan rangka merupakan struktur jembatan yang paling utama keberadaanya, dimana balok melintang tersebut meneruskan beban yang bekerja di atasnya ke penumpu yang berupa rangka induk. Sedangkan batang diagonal pada rangka tepi sendiri bekerja dalam satu kesatuan rangka induk sebagai batang penerima beban secara tak langsung yang nantinya disalurkan ke tumpuan. Batang diagonal hanya akan mengalami gaya tarik atau pun tekan sesuai dengan keberadaan beban. Dengan meninjau balok melintang dan batang diagonal rangka tepi nantinya akan dapat dilihat pengaruh perletakkan beban yang diberikan, selain itu juga akan dilakukan perhitungan teoritis sebagai perbandingan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak pembebanan yang diberikan pada struktur jembatan rangka Boomerang Bridge terhadap tegangan batang diagonal tepi dan juga defleksi dari balok melintang. Pada penelitian ini dilakukan pengujian serta perhitungan teoritis sebagai perbandingan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban garis dengan menggunakan balok pemerata atas beban terpusat 400 Kg. Beban diletakkan pada posisi 1 ($1/4$ bentang kiri jembatan), posisi 2 ($1/2$ bentang jembatan) dan posisi 3 ($1/4$ bentang kanan jembatan). Pengujian untuk memperoleh besar tegangan dilakukan dengan menggunakan *strain gauge*, sedangkan untuk lendutan digunakan *LVDT*. Sedangkan untuk perhitungan teoritis digunakan program. Pengujian elastisitas bahan juga dilakukan untuk ketelitian hasil pengujian dan perhitungan.

Hasil pengujian dan perhitungan teoritis sama-sama menyatakan bahwa posisi beban sangat berpengaruh terhadap tegangan batang diagonal tepi juga lendutan balok melintang yang terjadi. Selain itu didapatkan hasil yang cukup berbeda jauh antara pengujian dengan perhitungan teoritis. Perbedaan tersebut disebabkan kondisi serta asumsi yang ada pada pengujian berbeda dengan perhitungan.

Kata kunci: Boomerang Bridge, jembatan rangka, tegangan, lendutan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap manusia memiliki kebutuhan serta aktivitas dalam hidupnya, dan seiring berjalannya waktu aktivitas dan kebutuhan manusia tentunya juga akan semakin berkembang. Dengan semakin berkembangnya kebutuhan serta aktivitas manusia maka diperlukan sarana dan prasarana perpindahan dan pergerakan yang memadai. Salah satunya adalah dengan membuat konstruksi jembatan, jembatan merupakan struktur bangunan yang keberadaannya berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh karena rintangan berupa sungai, jurang danau laut dan lain-lain. Menurut Direktorat Jenderal (Ditjen) Bina Marga Danis Hidayat Sumadilaga, jumlah jembatan tersebut relatif masih sedikit mengingat kondisi geografis Indonesia berupa negara kepulauan. (anonim, 2007). Jumlah jembatan tersebut masih kalah dari jumlah jembatan di Amerika Serikat yang mencapai 600ribu jembatan. Oleh karena itu demi memacu jumlah jembatan di Indonesia, DIKTI mengadakan lomba konstruksi jembatan yakni KJI (Kompetisi Jembatan Indonesia).

Boomerang Bridge atau jembatan Boomerang merupakan salah satu partisipan dan pemenang dari lomba KJI ke-9 tahun 2013. Jembatan Boomerang sendiri merupakan jembatan rangka dengan konfigurasi rangkai jenis K-truss. Penggunaan rangka tersebut menjadi inovasi tersendiri dalam jembatan ini. Jembatan “Boomerang Bridge” dibuat dengan menggunakan baja mutu BJ-37 yang terdiri dari berbagai ukuran profil L (siku-siku) yang disesuaikan berdasarkan gaya batang yang ada. Dalam perhitungan secara teoritis jembatan Boomerang memberikan angka lendutan sebesar 1.282 mm sedangkan pada saat dilakukan pembebanan secara langsung lendutan yang diberikan tidak sama seperti yang diperhitungkan yaitu sebesar 2.09 mm. Perbedaan angka lendutan secara teoritis dengan pengujian lapangan inilah yang menjadi dasar dari penelitian ini.

Batang melintang pada jembatan rangka merupakan struktur jembatan yang paling utama keberadaannya, dimana batang melintang tersebut meneruskan beban yang bekerja di atasnya ke penumpu yang berupa rangka induk. Batang melintang merupakan satu-satunya batang yang mengalami momen lentur, hal ini dikarenakan beban bekerja secara langsung di atasnya. Keberadaan momen lentur yang cukup besar akibat beban

bekerja maka mengakibatkan lendutan yang besar pula maka diperlukan pengujian keamanan berupa uji defleksi.

Batang diagonal pada rangka tepi sendiri bekerja dalam satu kesatuan rangka induk sebagai batang penerima beban secara tak langsung yang nantinya disalurkan ke tumpuan. Batang diagonal hanya akan mengalami gaya tarik atau pun tekan sesuai dengan keberadaan beban.

Dengan meneliti batang melintang untuk pengujian defleksi serta batang diagonal tepi untuk pengujian tegangan akibat perubahan posisi beban yang bekerja diharapkan dapat memberikan kesimpulan seberapa besar perbedaan hasil dari perhitungan teoritis dengan pengujian yang ada di lapangan.

1.2 Rumusan masalah

Dalam penelitian ini akan dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tegangan pada batang diagonal rangka tepi akibat beban sebesar 400 kg dengan posisi beban berubah-ubah berdasarkan hasil penelitian dan program?
2. Bagaimana defleksi yang terjadi pada batang melintang akibat beban sebesar 400 kg dengan posisi beban berubah-ubah berdasarkan hasil penelitian dan program?
3. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan dengan penelitian dengan hasil program?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini berfokus pada tujuan yang akan dicapai, maka perlu adanya pembatasan masalah, diantaranya :

1. Penelitian meninjau pada 1 batang diagonal rangka tepi.
2. Penelitian meninjau pada balok melintang di $\frac{1}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ bentang jembatan.
3. Beban yang diberikan merupakan beban garis pada balok melintang rangka jembatan.
4. Penelitian dilakukan dengan memberi beban hidup sebesar 400 kg sesuai dengan peraturan Kompetisi Jembatan Indonesia IX Tahun 2013.
5. Tumpuan yang dipakai adalah tumpuan sendi-rol.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tegangan pada batang diagonal rangka tepi akibat beban sebesar 400 kg dengan posisi beban berubah-ubah berdasarkan hasil penelitian dan program
2. Untuk mengetahui defleksi pada batang melintang akibat beban sebesar 400 kg dengan posisi beban berubah-ubah berdasarkan hasil penelitian dan program
3. Mengetahui perbandingan hasil perhitungan dengan program dengan hasil penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sendiri adalah agar diketahuinya perbandingan nilai tegangan dan defleksi secara teoritis maupun lapangan. Sehingga nantinya akan didapatkan prosentase perbedaan hasil teoritis dan hasil pengujian sebagai faktor keamanan dalam perencanaan jembatan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan suatu bahan yang paling sering digunakan dalam struktur bangunan sipil. Dikarenakan kekuatannya yang tinggi, ketahanannya terhadap gaya luar yang besar serta keberadaannya yang berlimpah maka baja menjadi bahan pilihan yang cukup baik dalam suatu konstruksi. Menurut Charles G salmon (1997) struktur baja sendiri dapat dibagi menjadi tiga kategori umum :

- Struktur rangka (*framed structure*), yang elemennya bisa terdiri dari batang tarik, batang tekan, balok, kolom ataupun batang yang mengalami gabungan gaya berupa gaya lentur maupun gaya aksial. Kebanyakan konstruksi gedung yang umum berada dalam kategori ini. Gedung bertingkat banyak biasanya terdiri dari balok dan kolom yang disambung secara kaku atau dengan sambungan ujung sederhana bersama sokongan (*bracing*) diagonal untuk stabilitas.
- Struktur gantung (*suspension*), merupakan struktur yang sistem pendukung utamanya mengalami tarikan aksial yang dominan. Pada struktur gantung, kabel tarik merupakan elemen pendukung paling utama. Struktur jenis ini yang paling umum adalah jembatan gantung. Biasanya subsistem dari struktur tersebut terdiri dari struktur rangka, seperti rangka batang pengaku untuk jembatan gantung.
- Struktur selaput (*shell*), yang tegangan aksialnya dominan. Pada jenis struktur ini. Salah satu jenis struktur cangkang atau selaput yang tegangan utamanya bersifat tarik adalah tempat penyimpanan cairan (baik yang bersuhu tinggi maupun rendah), misalnya tangki air di atas tanah. Silo, tangki dan badan kapal merupakan contoh lainnya. Banyak struktur selaput merupakan gabungan dari struktur rangka dan selaput.

Baja merupakan besi dengan kadar karbon kurang dari 2 %. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan. Secara garis besar ada 2 jenis baja, yakni baja karbon dan baja paduan.

a. Baja karbon

Disebut juga *plain carbon steel*, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit silicon, belerang dan pospor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi :

- baja dengan kadar karbon rendah (*deed carbon steel*) ($< 0,15\%$ C)
- baja dengan kadar karbon ringan (*mild carbon steel*) ($0,15\% - 0,29\%$ C)
- baja dengan kadar karbon sedang (*medium carbon steel*) ($0,30\% - 0,59\%$ C)
- baja dengan kadar karbon tinggi (*high carbon steel*) ($0,6\% - 1,7\%$ C)

Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun. Baja untuk bahan struktur termasuk kedalam baja yang persentase zat arang yang ringan (*mild carbon steel*) (Riyadi, 2005).

b. Baja paduan

Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsure silisium dan mangan. Baja paduan semakin banyak di gunakan. Unsur yang paling banyak di gunakan untuk baja paduan , yaitu : Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr (Riyadi, 2005).

Dalam penerapannya pemakaian baja struktural yang akan digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang telah diberikan, sesuai dengan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) dan SNI Baja 03 – 1729 – 2000. Sesuai peraturan tersebut baja struktur dapat dibedakan berdasarkan kekuatannya menjadi beberapa jenis seperti berikut :

Tabel 2.1 Jenis Baja Berdasarkan Kekuatannya

JENIS BAJA	TEGANGAN LELEH (MPa)	TEGANGAN ULTIMATE (MPa)	PEREGANGAN MINIMUM (%)
BJ 34	210	340	22
BJ 37	240	370	20
BJ 41	250	410	18
BJ 50	290	500	16
BJ 55	410	550	13

Selain itu sifat mekanis dari baja struktural yang penting untuk diketahui sebagai data perencanaan adalah :

Modulus elastisitas	:	$E = 200000 \text{ MPa}$
Modulus geser	:	$G = 80000 \text{ MPa}$
Nisbah poisson	:	$\mu = 0,3$
Koefisien pemuaian	:	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$
Berat jenis baja yakni	:	7.85 t/m^3

2.2 Regangan

Sebagaimana telah diamati, suatu batang lurus akan mengalami perubahan panjang apabila dibebani secara aksial, yaitu menjadi panjang jika mengalami tarik dan menjadi pendek jika mengalami tekan. Sesuai pada gambar 2.1 Perpanjangan δ dari batang tersebut adalah hasil kumulatif dari perpanjangan semua elemen bahan di seluruh volume batang. Dengan kata lain satu satuan panjang dari batang tersebut akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan $1/L$ kali perpanjangan total δ (Gere 1997). Maka dari itu regangan merupakan perpanjangan per satuan panjang dari suatu elemen batang dan dapat dihitung sesuai dengan persamaan :

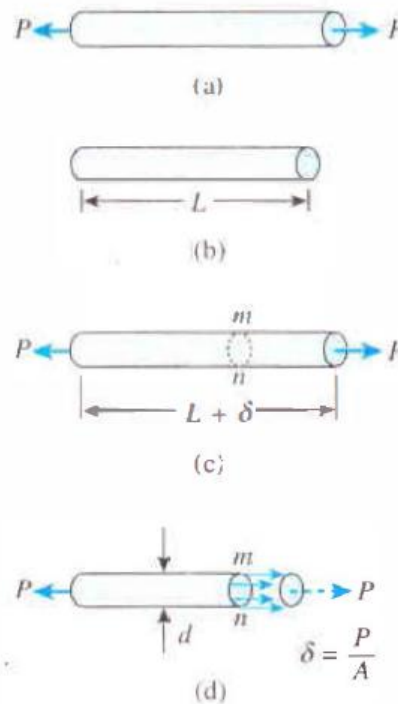
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2-2)$$

dimana : ε = Regangan
 δ = Perpanjangan
 L = Panjang batang

2.3 Tegangan

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktural lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang. Contoh dari batang tarik dan batang tekan dapat diperlihatkan pada elemen di rangka batang pada jembatan,

batangbatang penghubung pada mesin mobil dan sepeda, kolom di gedung, dan flens tarik di pesawat terbang kecil (Gere 1997).



Gambar 2.1 Batang prismatic yang mengalami Tarik

- (a) diagram benda bebas dari segmen batang,
- (b) segmen batang sebelum dibebani,
- (c) segmen batang sesudah dibebani,
- (d) tegangan normal pada batang.

Sumber : Gere (1997)

Pada gambar diatas ditunjukkan aksi yang diberikan oleh bagian yang dihilangkan dari batang tersebut (gambar d). Aksi ini terdiri atas gaya terdistribusi kontinu yang bekerja pada seluruh penampang. Intensitas gaya (yaitu gaya per satuan luas) disebut tegangan dan diberi notasi huruf yunani σ (sigma). Jadi, gaya aksial P yang bekerja di penampang adalah resultan dari tegangan yang terdistribusi kontinu. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh potongan , dapat dilihat bahwa resultan yang ada harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut. Dengan demikian, didapatkan rumus berikut untuk menyatakan besar tegangan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

dimana : σ = Tegangan

P = Gaya aksial

A = Luas permukaan

Persamaan diatas hanya berlaku jika tegangan terbagi rata di seluruh penampang batang. Kondisi ini terjadi jika gaya aksial P bekerja melalui pusat berat penampang, namun bila beban P tidak bekerja di pusat berat, maka lentur batang akan terjadi dan dibutuhkan analisis yang lebih rumit (Gere 1997).

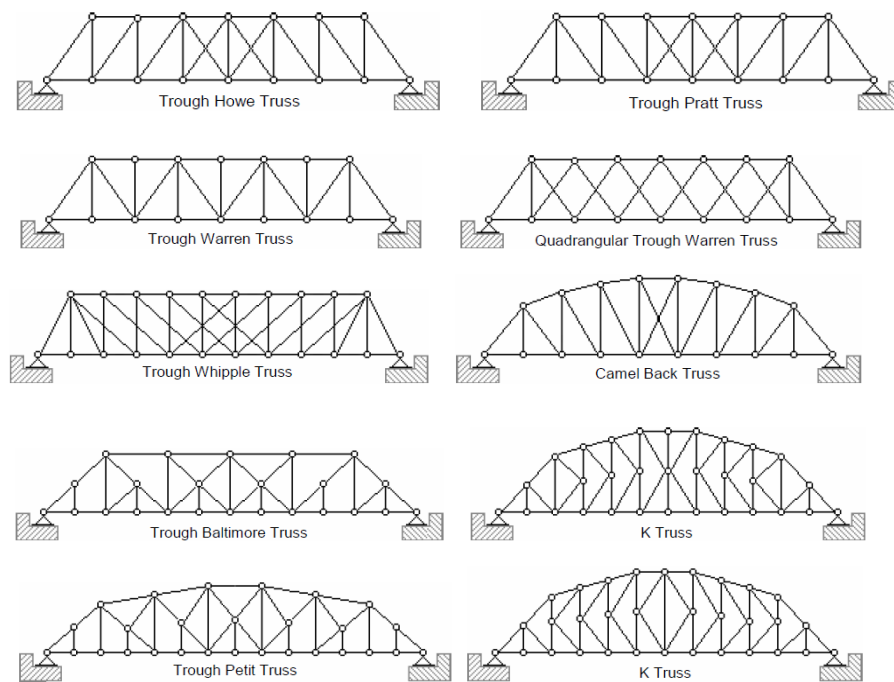
2.4 Jembatan Rangka

Pengertian jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain. Jembatan rangka (*truss bridge*), merupakan susunan dari batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan pelat buhul, dengan pengikat paku keling, baut atau las. Batang-batang rangka ini hanya memikul gaya dalam aksial (normal) tekan atau tarik, tidak seperti pada jembatan gelagar yang memikul gaya-gaya dalam momen lentur dan gaya lintang (Nasution 2012).

Jembatan rangka telah menjadi kekuatan yang efektif dan efisien untuk jembatan bentang panjang lebih dari 150 tahun. Sebagai jembatan rangka dengan,

- Gelagar pelat telah digunakan dengan bentang sekitar 550 ft (167,6 m)
- Gelagar kotak untuk bentang hingga 750 ft (228,6 m).
- Gelagar segmental kotak beton untuk bentang sampai sekitar 800 ft (243,8 m).
- Jembatan struktur kabel untuk bentang sekitar 500 ft (152,4 m) sampai 2000 ft (609,6 m) (Kulicki 2000).

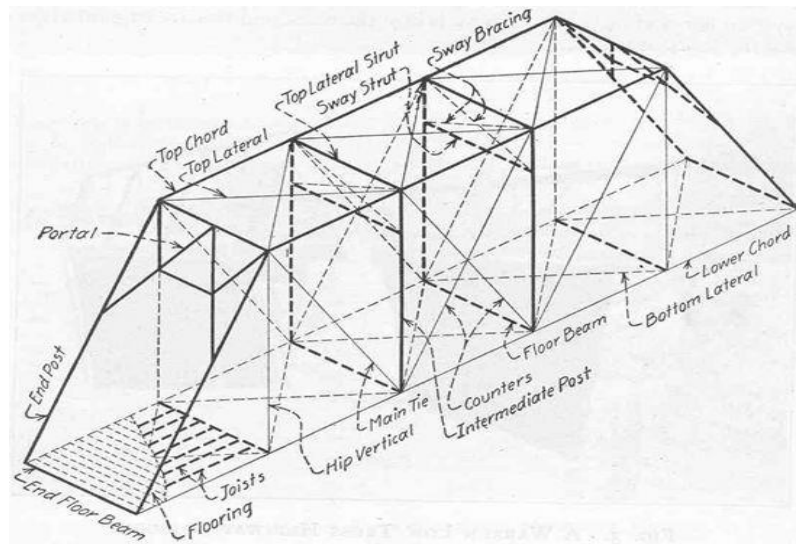
Tipe-tipe konfigurasi jembatan rangka seperti terlihat dalam gambar berikut,



Gambar 2.2 Tipe-Tipe Konfigurasi Rangka Jembatan

Sumber : <http://okbridges.wkinsler.com/technology/index.html>

Bentuk anatomi dari jembatan rangka baja dan elemen-elemennya terlihat dalam gambar di bawah. Di sini terlihat bahwa suatu beban pada dek pertama-pertama dihantarkan ke balok penopang searah (*stringers*), kemudian ke balok penopang lantai (*floor beams*), dan akhirnya ke sambungan-sambungan dari dua penopang truss pinggir/samping. Balok-balok atas dan bawah *truss* samping ini dihubungkan dengan balok-balok pengikat lateral (*lateral bracing*), yang berfungsi untuk menahan gaya-gaya lateral (*lateral forces*) yang disebabkan oleh angin dan sisi pinggir yang disebabkan oleh kendaraan yang bergerak di atas jembatan. Kestabilan lainnya dihasilkan oleh pengikatan gerbang utama (*portal*) dan pengikatan goyangan jembatan (*sway bracing*) (Hibbeler 2002).



Gambar 2.3 Bagian-Bagian Batang Rangka Jembatan

Sumber : <http://okbridges.wkinsler.com/technology/index.html>

2.5 Batang Tarik

Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik pada ujung-ujung batang. Gaya tarik adalah gaya yang mempunyai kecenderungan untuk menarik elemen hingga putus. Kekuatan elemen tarik tergantung pada luas penampang elemen atau material yang digunakan. Elemen yang mengalami tarik dapat mempunyai kekuatan yang tinggi, misalnya kabel yang digunakan untuk struktur bentang panjang. Kekuatan elemen Tarik umumnya tergantung dari panjangnya. Tegangan tarik terdistribusi merata pada penampang elemen (Ariestadi 2008). Dalam perencanaannya untuk menentukan tahanan nominal dari suatu batang tarik, harus diperiksa terhadap 3 macam kondisi keruntuhan yang menentukan, antara lain:

- leleh dari luas penampang kotor, pada daerah yang jauh dari sambungan
- fraktur dari luas penampang bersih atau efektif pada daerah sambungan
- geser blok pada sambungan (Setiawan 2008)

2.6 Batang Tekan

Batang tekan (*compression member*) adalah elemen struktur yang mendukung gaya tekan aksial. Batang tekan banyak dijumpai pada struktur bangunan sipil seperti gedung, bangunan, dan menara. Pada struktur gedung, batang tekan sering dijumpai sebagai kolom, sedangkan pada struktur rangka batang (jembatan atau kuda – kuda)

dapat berupa batang tepi, batang diagonal, batang vertikal, dan batang – batang pengekang (*bracing*). Berdasarkan kelangsingannya, batang tekan atau kolom dapat digolongkan dalam tiga jenis, yaitu kolom langsing (*slender column*), kolom sedang (*medium column*), dan kolom gemuk/pendek (*stokly column*). Berbeda dengan batang tarik, kestabilan batang tekan kurang baik dan perlu diperhitungkan dalam perencanaan. Batang akan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*). Batang gemuk akan mengalami kegagalan akibat tekuk dengan tegangan normal cukup besar, sedang tegangan lenturnya masih kecil. Hal yang sebaliknya akan terjadi pada batang langsing. Tampak di sini bahwa kuat tekan kolom dipengaruhi oleh kelangsingan. Semakin langsing suatu kolom, kuat tekannya semakin kecil (Padosbajayo, 1994). Oleh karena kekuatan batang tekan merupakan fungsi dari bentuk penampang lintang (jari-jari inersia), maka luas biasanya disebar sejauh mungkin dalam batas-batas praktis (Salmon 1997).

2.7 Garis pengaruh

Definisi secara umum dari garis pengaruh adalah suatu garis lengkung dengan ordinat (nilai y) yang memberikan nilai dari fungsi (geser, momen, reaksi, gaya batang dsb) di dalam suatu unsur tetap (penampang batang, tumpuan, batang di dalam rangka dsb) apabila suatu satuan beban berada di ordinat itu (Hsieh 1985). Dengan kata lain garis pengaruh merupakan suatu grafik yang menunjukkan besarnya pengaruh dari suatu satuan beban untuk setiap perubahan kedudukan. Garis pengaruh digunakan sebagai dasar perhitungan pada konstruksi yang menerima muatan bergerak. Yang dimaksud dengan muatan bergerak adalah kedudukan muatan yang selalu berubah, misalnya mobil atau kereta api (Mulyati 2006). Akibat muatan yang berubah ini pengaruhnya terhadap penampang konstruksi juga akan berubah. Namun perlu dipahami pembuatan garis pengaruh berbeda dengan membuat diagram geseran atau momen. Garis pengaruh menggambarkan efek beban bergerak hanya di titik tertentu pada suatu anggota bagian, sedangkan diagram geseran dan momen menggambarkan efek beban-beban tetap sepanjang sumbu anggota bagian. (Hibbeler 2002)

2.7.1 Manfaat Garis Pengaruh

Pembuatan garis pengaruh akan selalu berhubungan erat dengan analisa tegangan struktur-struktur jembatan, yang seringkali menderita bermacam-macam sistem beban bergerak. Namun kegunaan daripada garis-garis pengaruh

tidak hanya terbatas untuk struktur jembatan saja. Mereka juga penting di dalam penentuan tegangan-tegangan maksimum dalam struktur-struktur teknik lainnya yang menderita beban hidup. Suatu garis pengaruh merupakan sebuah alat yang berguna di dalam analisa tegangan dalam dua hal :

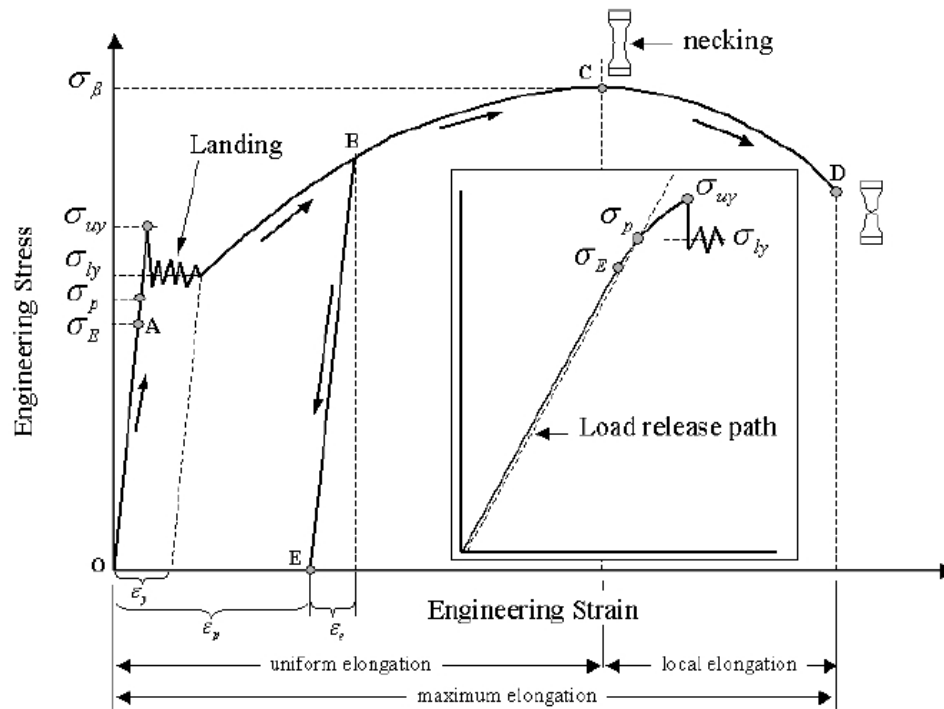
1. Membantu sebagai suatu kriteria di dalam penentuan tegangan maksimum - sebuah petunjuk untuk menentukan bagian apa dari struktur yang harus dibebani agar supaya menyebabkan pengaruh yang maksimum terhadap bagian yang ditinjau.
2. Menyederhanakan perhitungan (Hsieh 1985).

2.7.2 Prosedur dalam menghitung garis pengaruh

Salah satu prosedur yang dapat digunakan untuk membuat garis pengaruh di suatu titik tertentu P pada sebuah elemen struktur untuk setiap fungsi (reaksi, geseran, atau momen) adalah sebagai berikut : Letakkan suatu beban satuan di berbagai lokasi x, sepanjang elemen struktur dan di setiap lokasi peletakkan dengan menggunakan ilmu statika untuk mencari nilai-nilai fungsi (reaksi, geseran, atau momen) di titik tertentu. Setelah diperoleh berbagai nilai fungsi (reaksi, geseran, atau momen) di berbagai titik sepanjang elemen struktur, nilai-nilai tersebut dapat diplot dan segmen-segmen garis pengaruh dapat dibuat (Hibbeler 2002).

2.8 Uji Tarik

Uji Tarik merupakan pengujian paling dasar dalam mengetahui sifat dari suatu bahan. Pengujian ini sangat sederhana dan tidak mahal serta sudah banyak dipakai di seluruh negara. Banyak sekali hal yang didapat dalam pengujian ini, proses pengujian tarik sendiri adalah dengan menarik benda uji yang profilnya telah ditentukan sesuai standar dengan gaya tarikan yang tentunya juga disesuaikan standar sampai benda uji tersebut putus. Dimana nantinya akan didapatkan profil tarikan yang lengkap dalam bentuk kurva, kurva tersebut menunjukkan gaya tarikan dengan perubahan panjang. Yang menjadi fokus dalam pengujian ini adalah tegangan tarik maksimum dari bahan tersebut.



Gambar 2.4 Profil Data Hasil Uji Tarik

Berikut penjelasan dari kurva hasil uji tarik sesuai dengan gambar diatas :

- Batas elastis σ_E (*elastic limit*)

Dalam gambar 2.4 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan.

- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

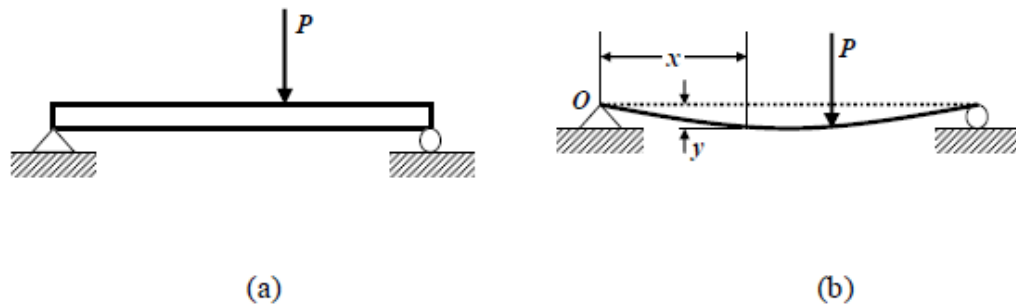
- Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada gambar 2.4 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

- Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)
Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)
Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)
Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
- Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)
Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
- Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)
Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- Regangan total (*total strain*)
Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
- Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)
Pada gambar 2.4 ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- Kekuatan patah (*breaking strength*)
Pada gambar 2.4 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.9 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah vertical dan horisontal akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok atau batang. Pada gambar 2.5 (a) memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan gambar 2.5 (b) adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.5 Deformasi Balok Sederhana

(a) Balok sebelum terjadi deformasi

(b) Balok dalam konfigurasi terdeformasi

Sumber : <http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/KekuatanBahan>

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang harus ditentukan defleksi pada setiap nilai x disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok. Sedangkan hal - hal yang mempengaruhi dari defleksi batang antara lain :

- Kekakuan batang
- Besar kecilnya gaya yang diberikan
- Jenis tumpuan yang digunakan
- Jenis beban yang terjadi pada batang

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2014

Tempat : Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Fakultas Teknik
Jurusan Sipil Universitas Brawijaya

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang dipersiapkan untuk digunakan dalam proses penelitian ini antara lain:

- Alat penguji tekan beserta *load cell*
- *Universal tensile strength*
- *Hydraulic jack*
- *Digital Strain meter*
- *Strain gauges*
- Meteran
- Jangka sorong
- LVDT (*Lateral Vertical Displacement Transducer*)

Adapun bahan yang perlu untuk disiapkan yaitu:

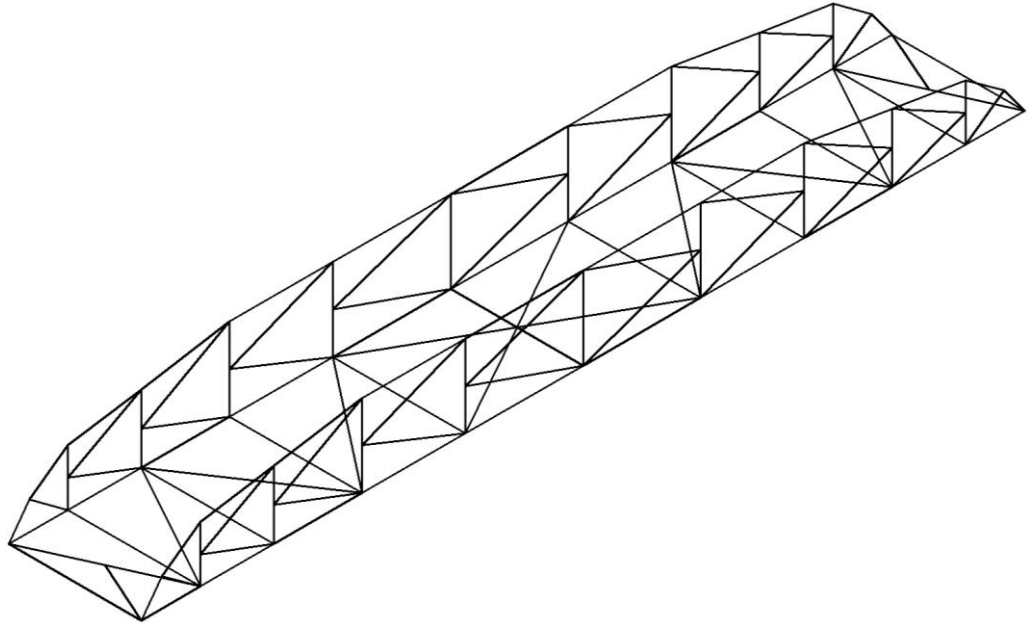
- Benda uji (spesimen) No. 14B sesuai dengan SNI 07-0371-1998

3.3 Pengadaan Bahan

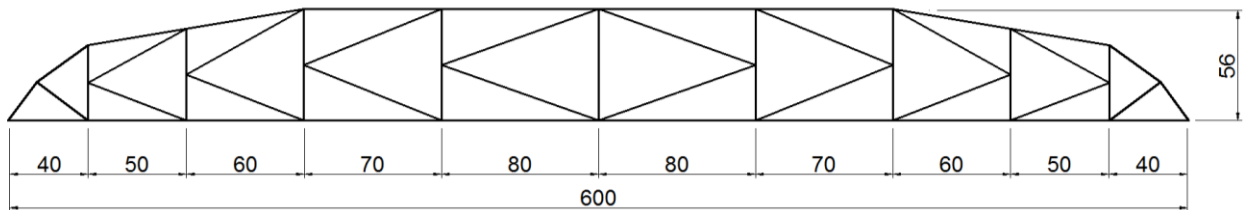
Pada penelitian ini jembatan yang dipakai adalah jembatan yang telah dibuat dalam lomba konstruksi jembatan. Sedangkan untuk pengujian angka elastisitas, profil baja didapatkan dari toko bahan bangunan yang sebelumnya dilakukan penentuan profil yang akan dibeli sesuai dengan batang diagonal jembatan yang akan ditinjau.

3.4 Pemodelan Jembatan

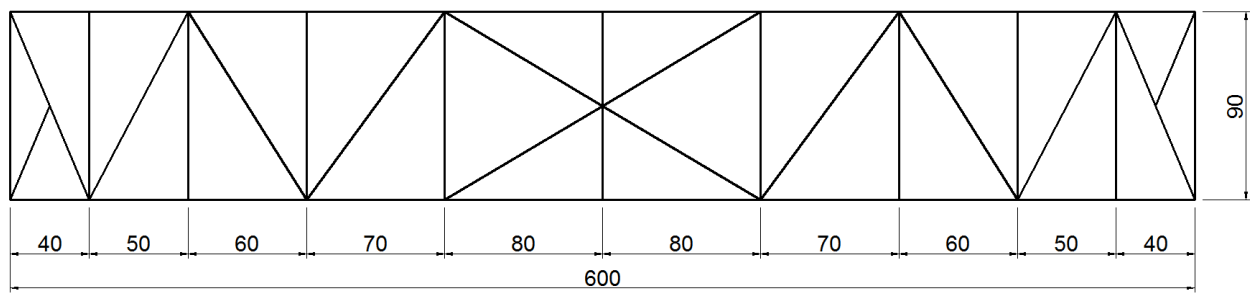
Jembatan yang akan digunakan dalam penelitian adalah hasil dari lomba konstruksi dengan dimensi dan konfigurasi rangka sebagai berikut :



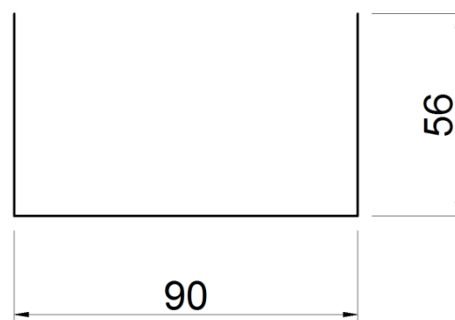
Gambar 3.1 Konfigurasi Rangka Jembatan Boomerang Bridge Dalam 3D



Gambar 3.2 Dimensi Jembatan Tampak Samping



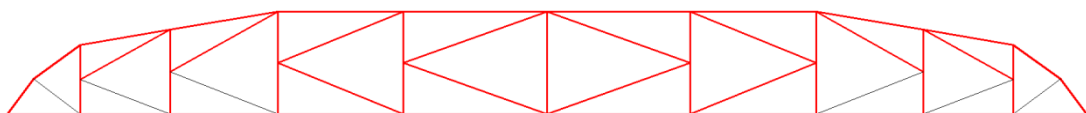
Gambar 3.3 Dimensi Jembatan Tampak Atas



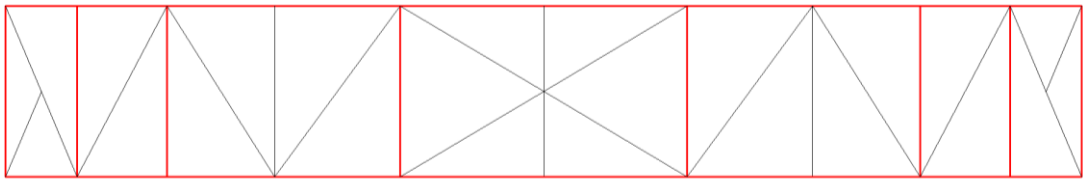
Gambar 3.4 Dimensi Jembatan Tampak Depan

Untuk macam-macam dimensi profil yang digunakan pada jembatan boomerang dapat diperlihatkan pada gambar berikut :

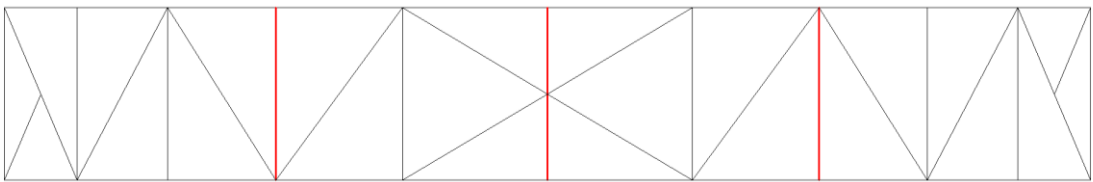
L40X40X4



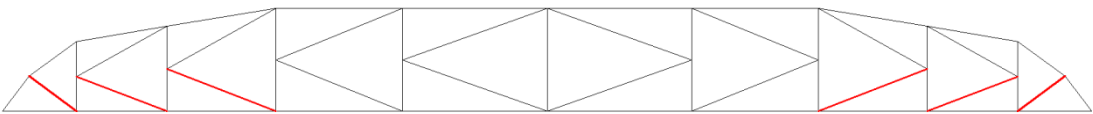
Tampak samping

*Tampak atas*

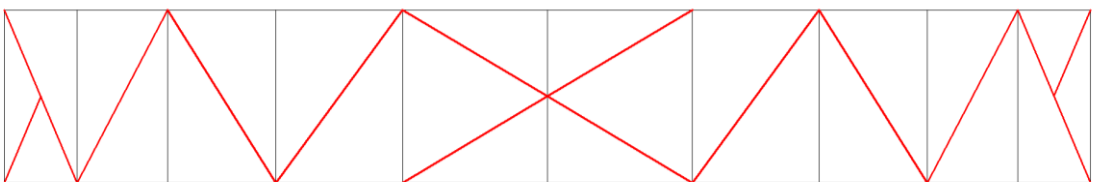
Dobel L40X40X4

*Tampak atas*

L40X40X3

*Tampak samping*

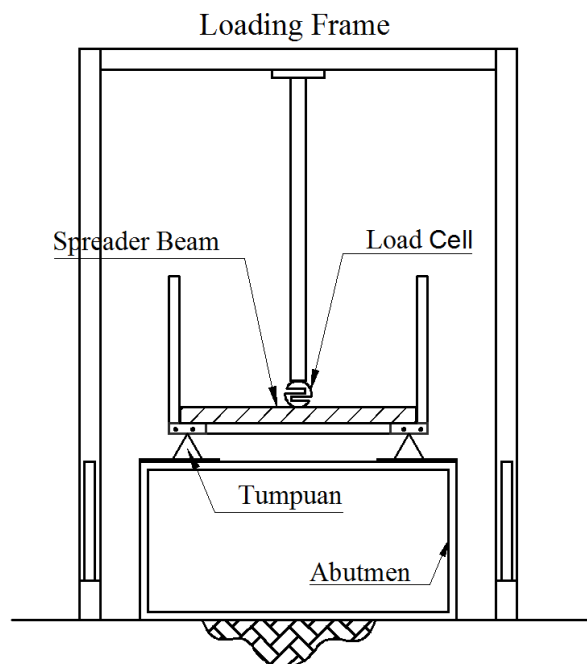
L30X30X3

*Tampak atas*

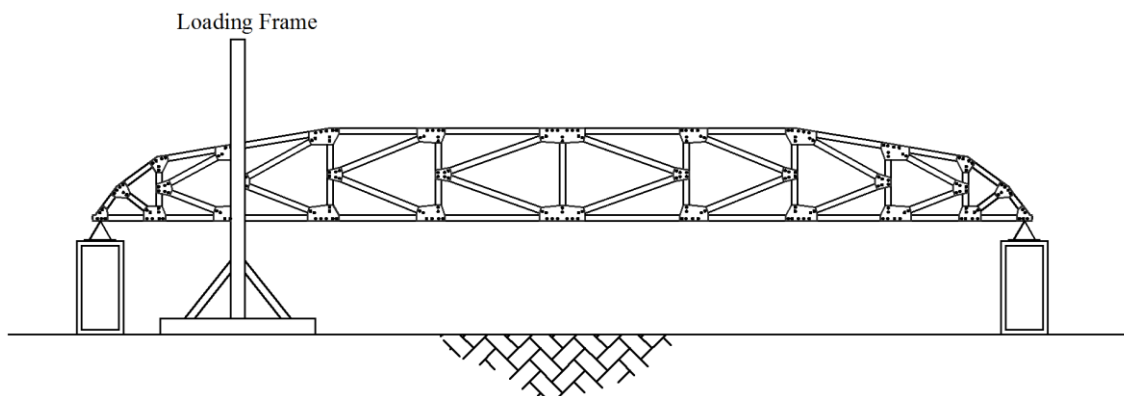
Gambar 3.5 Dimensi Profil Baja yang Dipakai Pada Jembatan Boomerang

3.5 Pemodelan Pembebanan

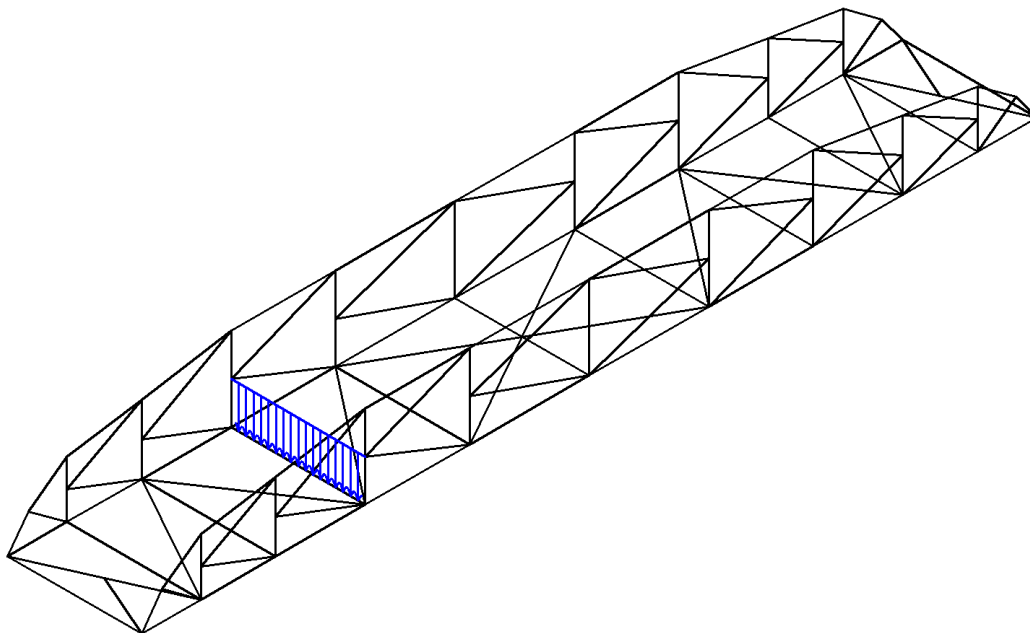
Jembatan dalam penelitian ini akan diberikan beban pada batang melintangnya secara berurutan mulai dari posisi 1 sampai dengan posisi 3. Beban yang diberikan sebesar 400 kg secara terpusat dengan *hydraulic jack*, yang nantinya akan disebar dengan menggunakan *spreader beam* sepanjang 90 cm. Akibat adanya penyebaran tersebut maka beban terpusat sebesar 400 Kg tadi akan menjadi beban garis sebesar 444,444 Kg/m. Untuk kondisi tumpuan pada penelitian ini dipakai tumpuan sendi dan rol.



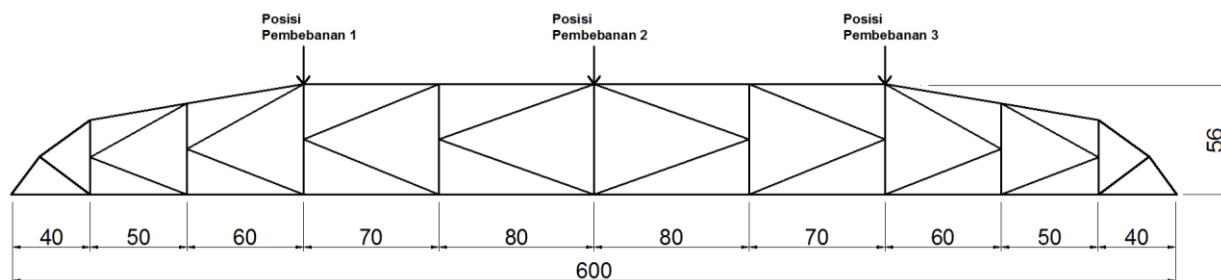
Gambar 3.6 Perletakkan Beban Garis Tampak Depan Pada Saat Pengujian



Gambar 3.7 Perletakkan Beban Garis Tampak Samping Pada Saat Pengujian



Gambar 3.8 Perletakkan Beban Garis Tampak 3D Pada Program



Gambar 3.9 Posisi Perletakkan Beban Jembatan

Tabel 3.1 Jarak Perletakkan Beban Jembatan

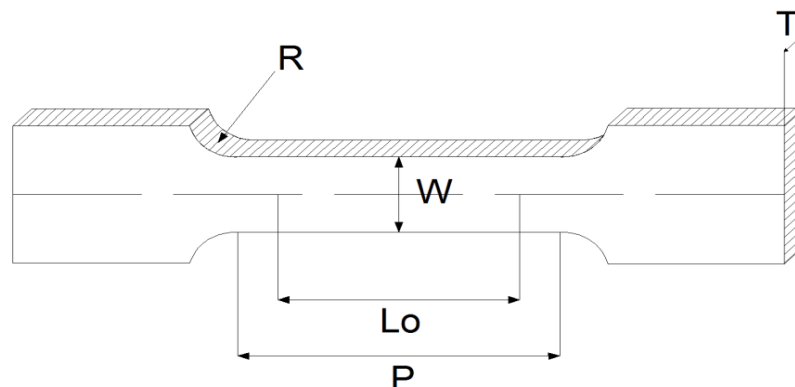
Posisi	Keterangan
Posisi I	150 cm
Posisi II	300 cm
Posisi III	450 cm

3.6 Langkah-Langkah Penelitian Dan Pengujian

3.6.1 Uji Tarik Baja

Langkah-langkah pengujian Tarik baja yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan bahan uji berupa profil baja yang telah disesuaikan berdasarkan SNI 07-0371-1998, batang uji No 14B.
2. Penempelan alat *strain gauge* pada batang uji.
3. Pemasangan kabel *strain gauge* menuju ke *digital strain meter*.
4. Meletakkan batang uji pada mesin uji tarik.
5. Pemberian beban tarik pada batang uji, sampai batang uji mengalami putus.
6. Pencatatan nilai regangan pada *digital strain meter*
7. Pembacaan nilai regangan dilakukan sebanyak 4 sample.



Gambar 3.10 Dimensi Profil untuk Pengujian Elastisitas

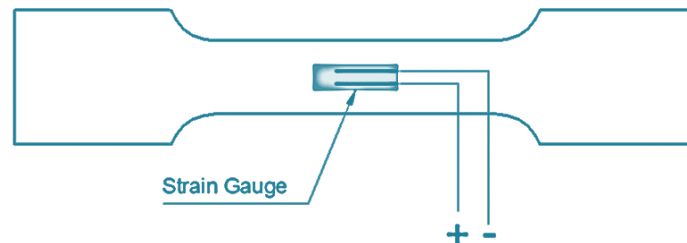
Tabel 3.2 Tabel Penentuan Dimensi Batang Uji Elastisitas

Ukuran batang uji No. 14B sesuai ketebalan pelat

Satuan : mm

Ketebalan pelat T	Lebar W	Panjang ukur L_o	Panjang paralel P
$3,5 < T \leq 7,5$	12,5	50	80
$7,5 < T \leq 10$		60	
$10 < T \leq 13$		85	
$13 < T \leq 19$	20	100	130
$19 < T \leq 27$	40	170	
$27 < T \leq 40$		205	

Lebar W (mm)	Panjang ukur Lo (mm)	Panjang paralel P (mm)	Jari-jari bahu R (mm)	Tebal T (mm)
12,5	50	80	15	3,8

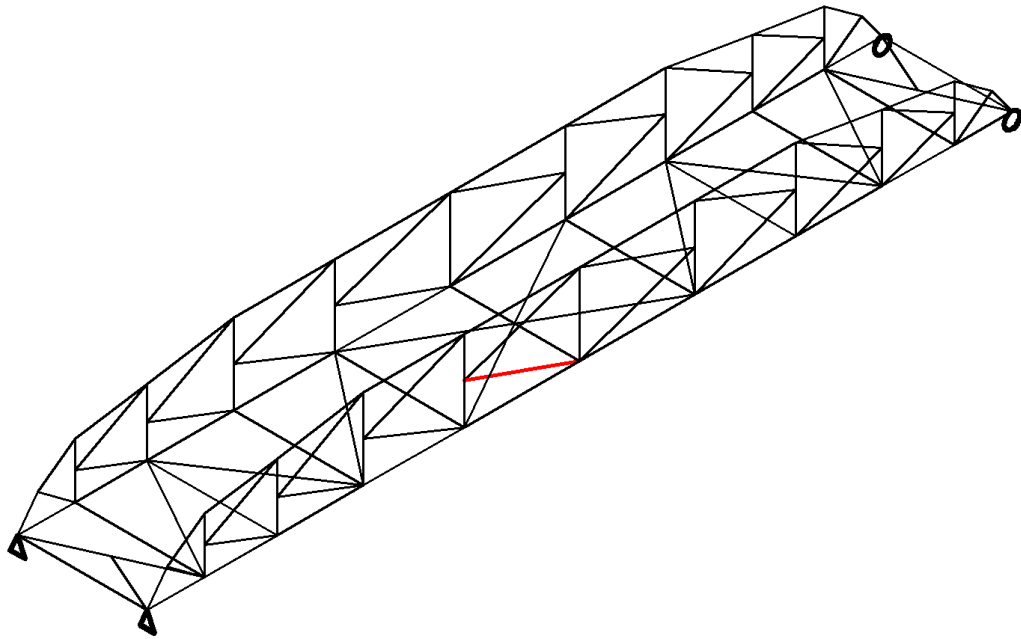


Gambar 3.11 Pemasangan Strain Gauge pada Benda Uji

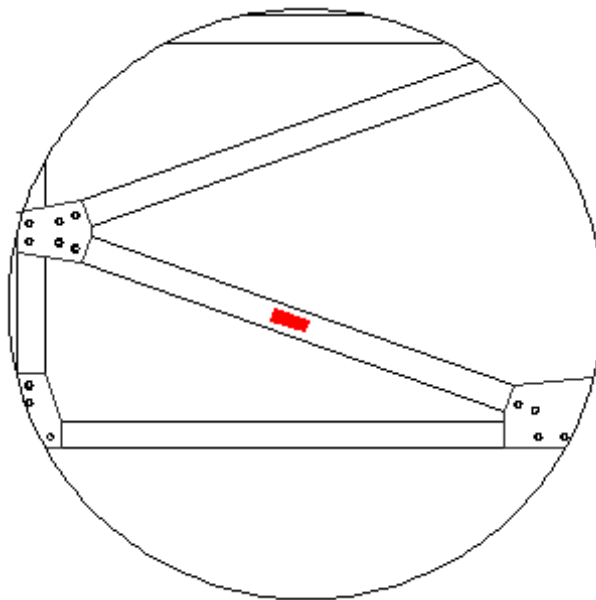
3.6.2 Uji Tegangan

Langkah-langkah pengujian tegangan yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pembebanan (*loading frame*, *load cell* beserta kelengkapannya).
2. Jembatan uji diletakkan pada tempat pembebanan.
3. Pemasangan alat *strain gauge* pada batang diagonal yang ditinjau.
4. Pemasangan kabel *strain gauge* pada alat *digital strain meter*.
5. Mulai dilakukannya proses pembebanan pada balok melintang jembatan yang dimulai dari posisi 1 sampai dengan posisi 3.
6. Proses pencatatan angka regangan batang diagonal yang ditinjau.



Gambar 3.12 Batang Diagonal Rangka Tepi Yang Diuji

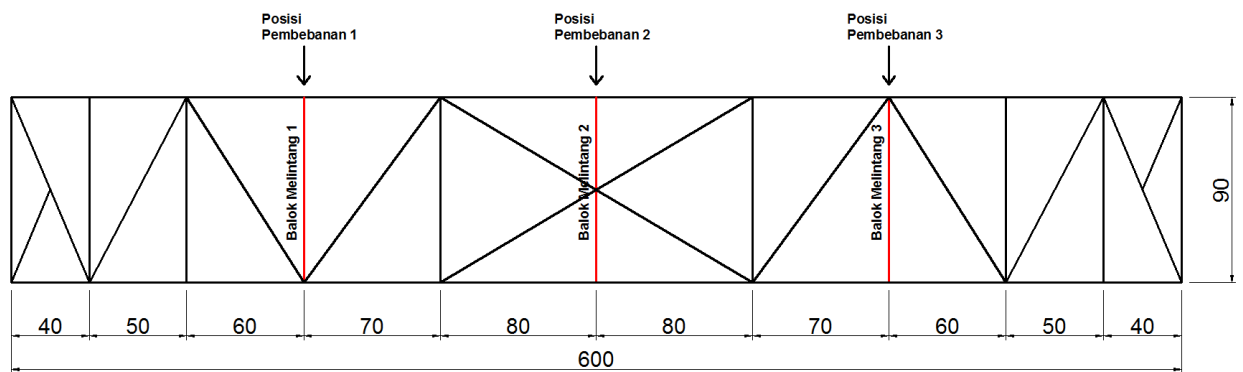


Gambar 3.13 Pemasangan Strain Gauge Pada Batang Uji Jembatan

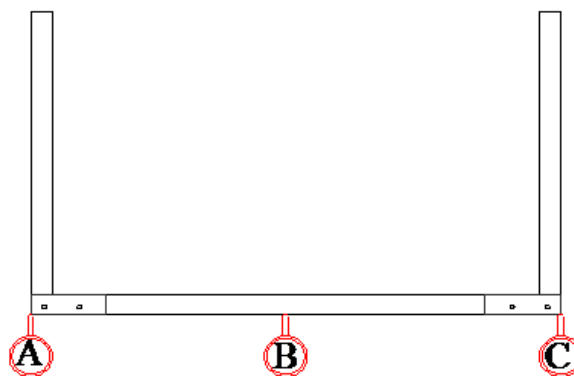
3.6.3 Uji Defleksi

Pengujian defleksi dilakukan bersamaan dengan uji tegangan, langkah-langkah pengujian defleksi yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pembebanan (*loading frame*, *load cell* beserta kelengkapannya).
2. Jembatan uji diletakkan pada tempat pembebanan.
3. Pemasangan alat *LVDT* pada balok melintang yang ditinjau.
4. Mulai dilakukannya proses pembebanan pada balok melintang jembatan yang dimulai dari posisi 1 sampai dengan posisi 3.
5. Proses pencatatan angka lendutan balok melintang yang ditinjau.



Gambar 3.14 3 Balok Melintang Yang Akan Diuji Tampak Atas



Gambar 3.15 Pemasangan LVDT Pada Balok Melintang

3.7 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini proses pengujian akan dilakukan dalam 2 tahap, yang pertama pengujian angka elastisitas dari baja profil. Pengujian kedua merupakan pengujian regangan dan lendutan yaitu dengan dilakukan pembebanan sebesar 400 kg dengan menggunakan *spreader beam* pada jembatan yang diletakkan di balok melintang.

Tabel 3.3 Pembacaan Regangan Dalam Proses Pengujian Elastisitas Profil Baja

Besar Beban (kN)	Regangan (ϵ)			
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Benda Uji 4
0				
2				
4				
6 ... dst				
Kondisi Leleh				
Kondisi Putus				

Tabel 3.4 Pembacaan Regangan Batang Diagonal

Posisi Beban	Beban (Kg)	Pembacaan <i>StrainMeter</i>	
		Pembacaan Awal	Pembacaan Akhir
1	50		
	100		
	150		
	200		
	250		
	300		
	350		
	400		
2			
3			

Tabel 3.5 Pembacaan Defleksi Balok Melintang Akibat Beban 400 Kg Dengan Menggunakan Spreader Beam

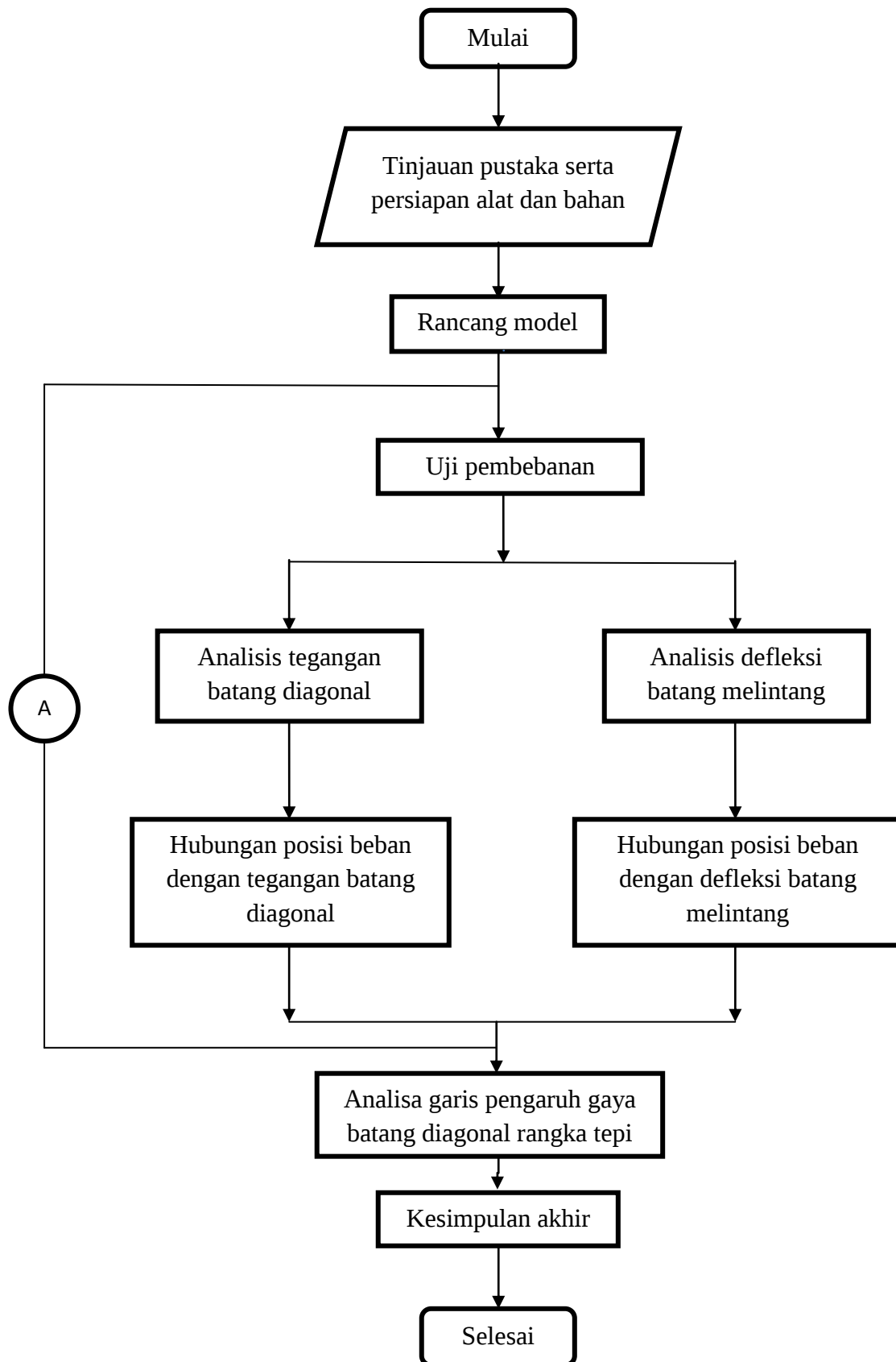
Posisi Beban	Balok Melintang Yang Ditinjau	Lendutan (mm)		
		A	B	C
Akibat Beban Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)	Balok Melintang 1			
	Balok Melintang 2			
	Balok Melintang 3			
Akibat Beban Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)	Balok Melintang 1			
	Balok Melintang 2			
	Balok Melintang 3			
Akibat Beban Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)	Balok Melintang 1			
	Balok Melintang 2			
	Balok Melintang 3			

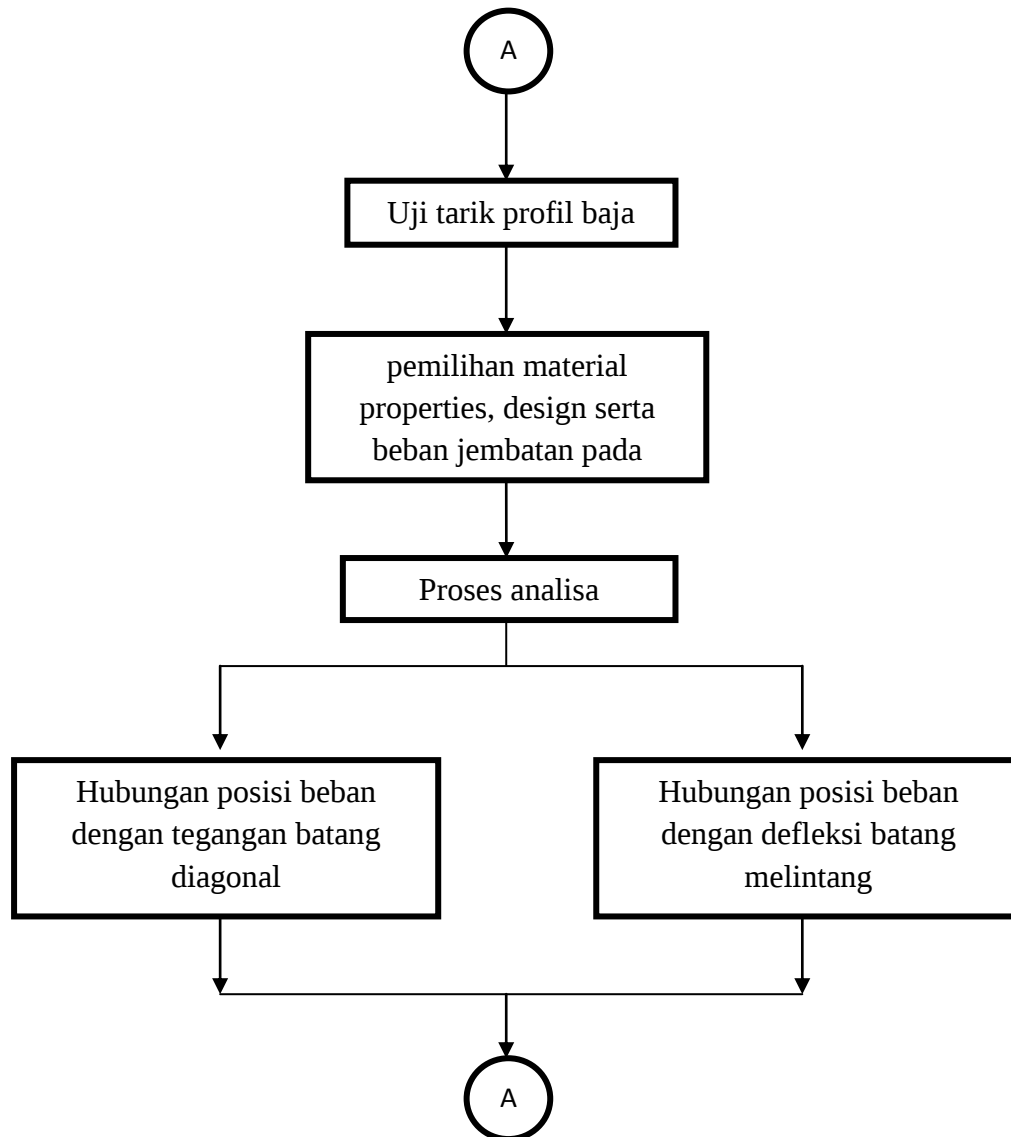
3.8 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian yang diukur adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas (*independent variable*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah posisi perletakkan beban 400 kg dengan menggunakan *spreader beam* pada balok melintang jembatan.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) adalah gaya aksial serta tegangan dan juga lendutan dari batang profil yang ditinjau.

3.9 Diagram Alir Penelitian





3.10 Analisis Data

3.10.1 Analisis Hasil Pengujian

Akan dilakukan 3 pengujian dalam penelitian ini yaitu pengujian elastisitas, pengujian nilai regangan dan pengujian lendutan. Pengujian elastisitas serta pengujian regangan dibutuhkan untuk mencari nilai gaya batang serta tegangan dari batang diagonal.

1. Nilai elastisitas (E) baja yang diperoleh dari persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F}{A \cdot \varepsilon} \quad (3-1)$$

dimana : F = beban yang bekerja (kg)
 A = luas penampang benda uji
 ε = regangan benda uji

2. Nilai gaya batang (P) diagonal jembatan diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$P = E \cdot A \cdot \varepsilon \quad (3-2)$$

Dimana : E = nilai elastisitas
 A = luas penampang benda uji
 ε = regangan benda uji

3. Nilai tegangan (σ) pada batang diagonal akibat beban 400 kg diperoleh dari persamaan :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3-3)$$

dimana : E = nilai elastisitas
 ε = regangan benda uji

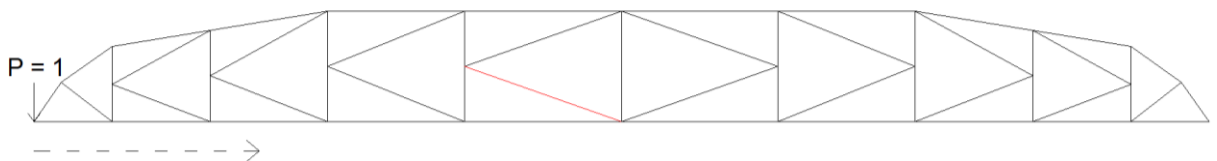
3.10.2 Analisis Perhitungan Dengan Menggunakan Program (teoritis)

Urutan pelaksanaan perhitungan jembatan Boomerang secara teoritis melalui program adalah sebagai berikut :

1. Desain bentuk jembatan pada program.
2. Pemilihan bahan elemen rangka serta penentuan ukuran profil batang pada program.
3. Pemberian tumpuan pada jembatan.
4. Penentuan struktur rangka dan balok.
5. Input beban hidup sebesar -444,444 Kg/m yang diposisikan pada balok melintang jembatan.
6. Proses analisa program.
7. Pencatatan nilai gaya aksial batang diagonal yang ditinjau melalui jendela *beam > forces*.
8. Pencatatan nilai lendutan batang melintang yang ditinjau melalui jendela *node > displacement*.

3.10.3 Analisis Garis Pengaruh

Garis pengaruh didapatkan dengan cara memberikan jembatan tersebut beban berjalan sebesar 1 satuan pada pada buhul rangka tepi bagian bawah yang kemudian dianalisa gaya batang diagonal yang ditinjau. Garis pengaruh didapatkan dengan menggunakan keseimbangan potongan pada batang yang akan dicari garis pengaruhnya.



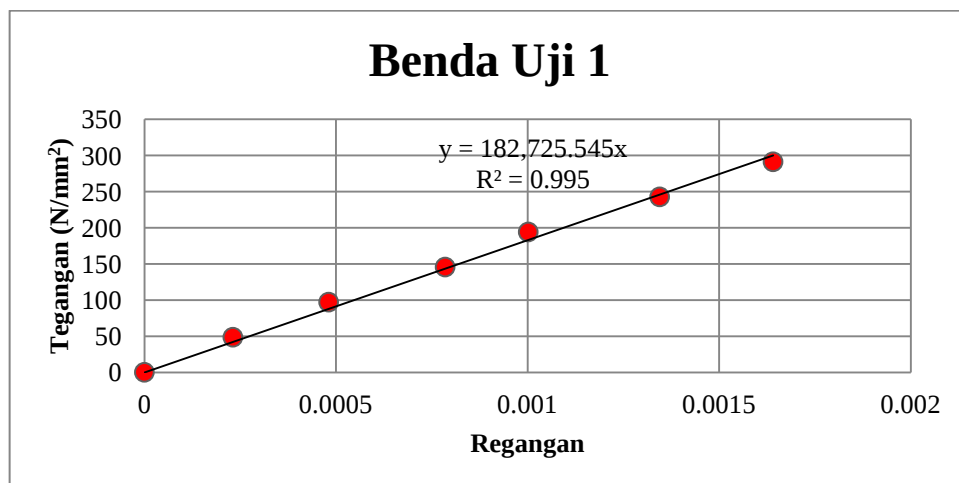
Gambar 3.16 Beban Berjalan 1 Satuan Sebagai Analisa Garis Pengaruh

BAB IV

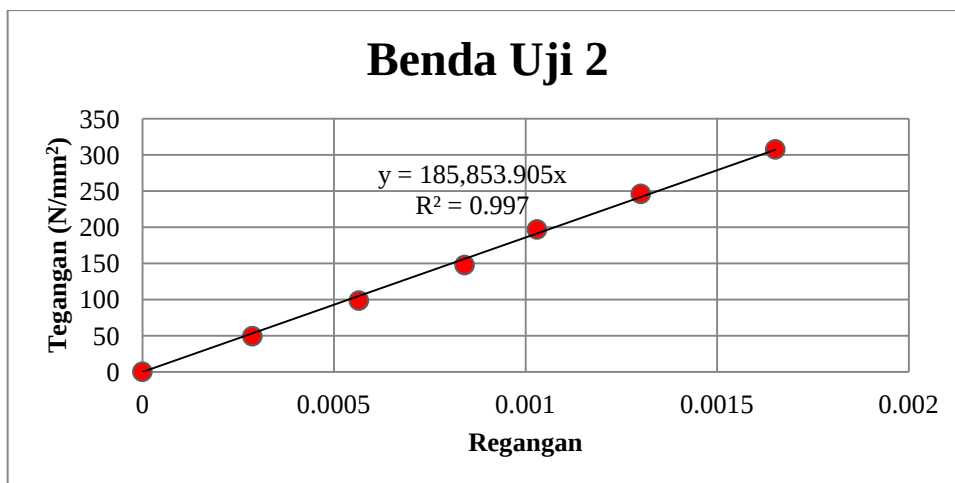
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Elastisitas Baja

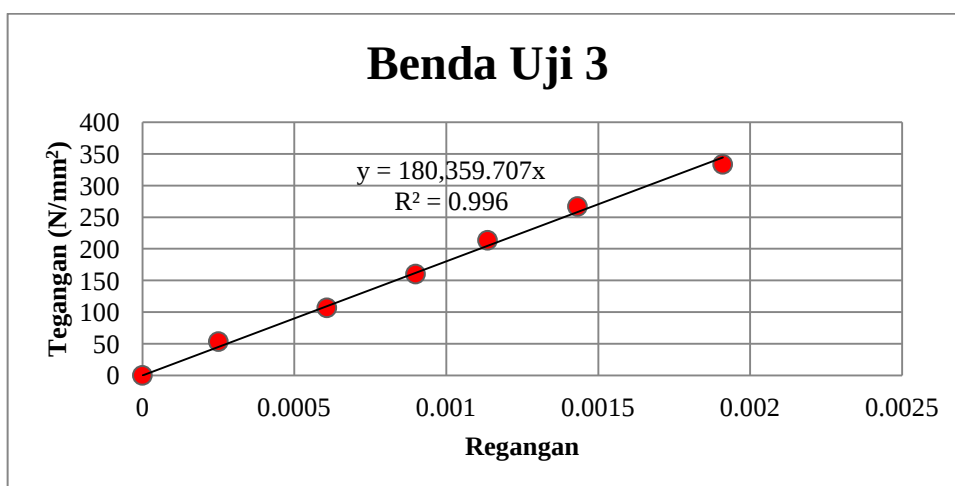
Pengujian elastisitas baja dilakukan dengan membuat spesimen benda uji sesuai SNI yang beredar yaitu SNI 07-0371-1998. Dengan menggunakan mesin *UTM* (*Universal tensile strength*) data yang diperoleh merupakan data besar gaya penarikan serta besar perpanjangan benda uji tarik yang diplot pada kertas plotter. Namun demi ketelitian dan ketepatan dalam penelitian ini dilakukan pemasangan strain gauge pada batang uji agar pembacaan regangan dihasilkan sesuai dan tepat. Hal ini didasarkan pada saat proses penarikan benda uji, dimana posisi pencengkraman mesin *UTM* tidak terlalu kuat dan tidak tepat yang mengakibatkan pembacaan perpanjangan spesimen uji tidak berada pada bagian yang tepat, sehingga pembacaan perpanjangan batang uji pada *plotter* akan berbeda. Pembacaan hasil regangan pada *strain gauge* terbatas pada regangan tertentu akibat kapasitas *strainmeter* yang memang kecil. Berikut 4 grafik hubungan tegangan dengan regangan dari data hasil uji tarik baja berdasarkan besaran nilai beban tarik, luasan spesimen uji, serta pembacaan *strain gauge*.



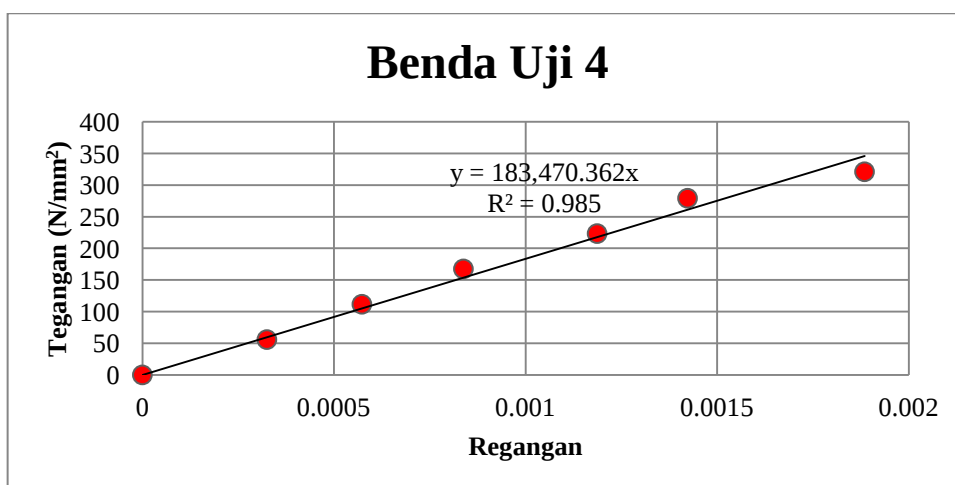
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 1



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 2



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 3

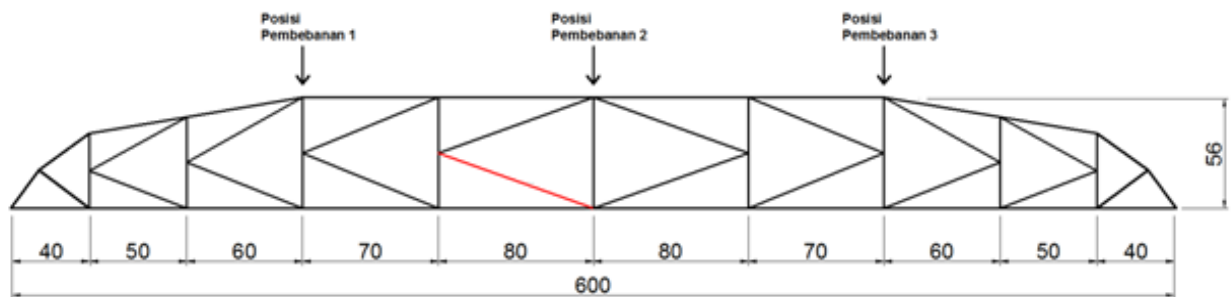


Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Benda Uji Spesimen 4

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Elastisitas

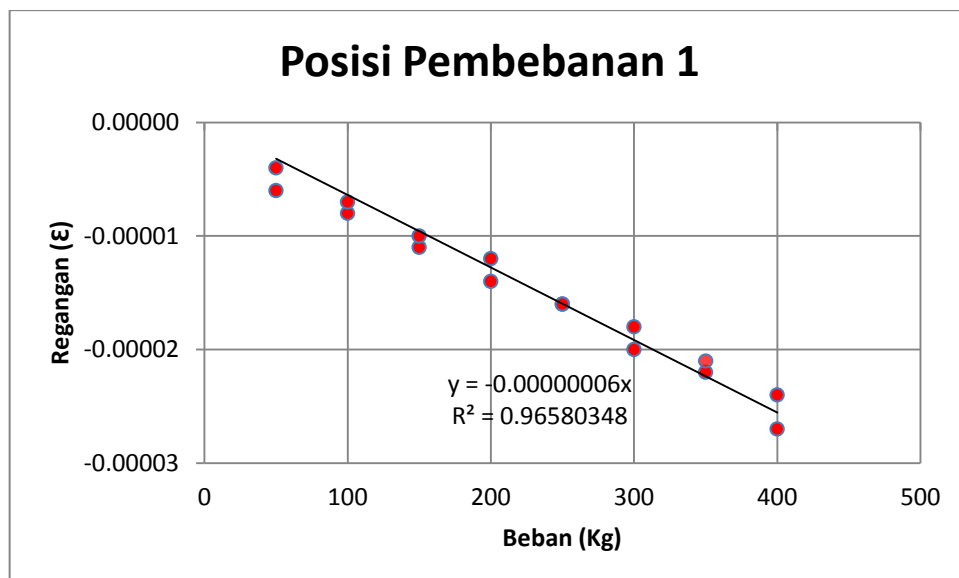
	Elastisitas (N/mm ²)
Batang Uji 1	182.726
Batang Uji 2	185.854
Batang Uji 3	180.360
Batang Uji 3	183.470
Rata-rata	183.102

4.2 Pengujian Tegangan Batang Baja Profil

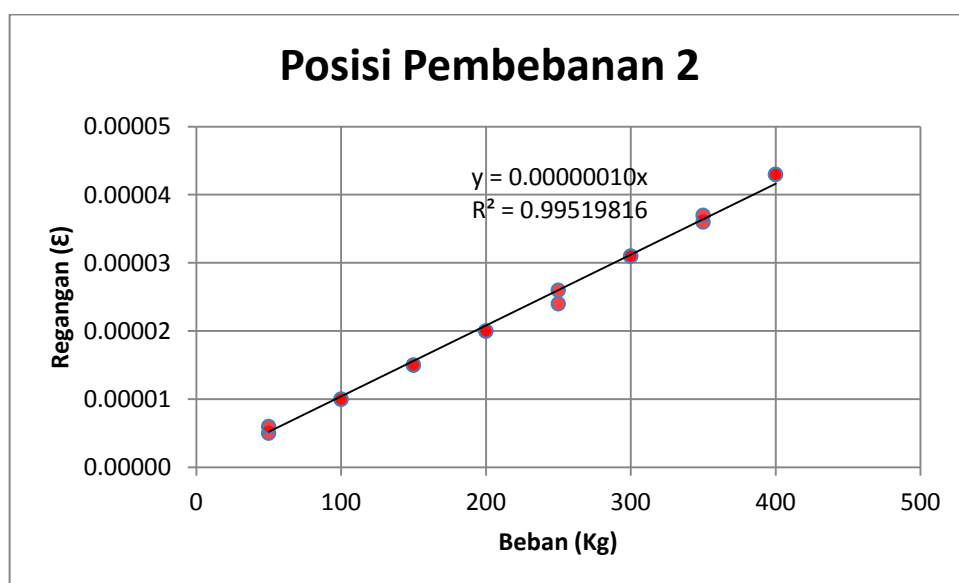


Gambar 4.5 Gambar Posisi Pembebanan

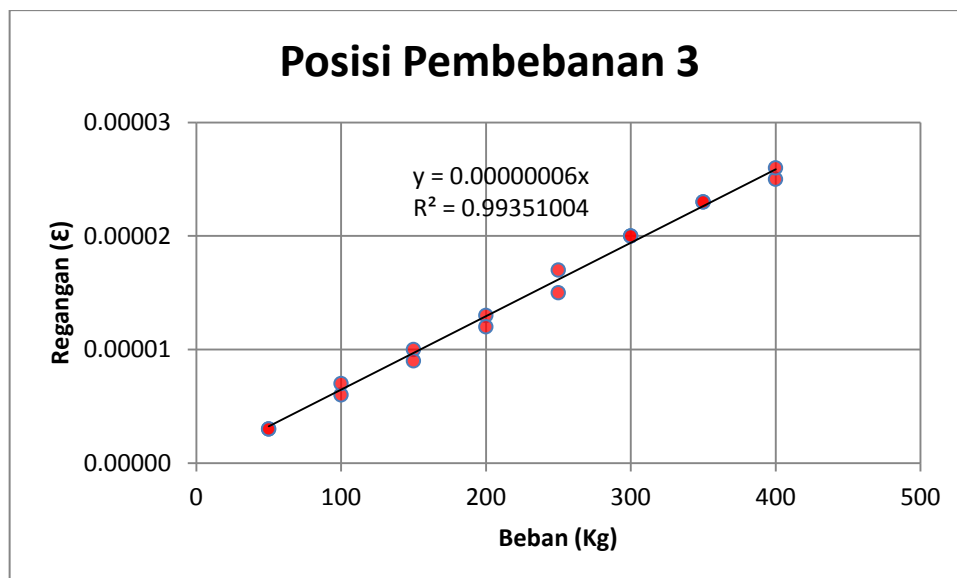
Pengujian regangan nantinya ditujukan untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang terjadi pada batang yang uji berdasarkan pembebanan yang dilakukan di atas struktur jembatan. Pembebanan dilakukan pada 3 posisi yakni pada $\frac{1}{4}$ bentang kiri, $\frac{1}{2}$ bentang serta $\frac{1}{4}$ bentang kanan dengan meninjau batang diagonal rangka tepi yang telah ditentukan. Pemberian beban dilakukan secara bertahap untuk tiap kelipatan 50 Kg. Pengujian tegangan batang rangka diagonal dilakukan dengan strain gauge dengan membaca hasil regangan yang terjadi kemudian dihitung ke tegangan. Pembacaan *strain gauge* dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan, berikut hasil regangan yang didapatkan berdasarkan pada posisi beban yang telah ditentukan,



Gambar 4.6 Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 1



Gambar 4.7 Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 2



Gambar 4.8 Grafik Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi Saat Posisi Pembebanan 3

Dari hasil data yang diperoleh didapatkan bahwa regangan selalu berbanding lurus terhadap beban yang diberikan baik itu semakin besar ke arah regangan tarik maupun regangan tekan. Perbedaan regangan tekan dan tarik yang terjadi diakibatkan oleh perletakkan posisi beban pada struktur jembatan serta arah batang K-truss jembatan. Selain itu data regangan yang didapatkan atas 2 kali pembebanan tidak jauh berbeda, hal ini menandakan proses pemasangan *strain* serta prosedur pembebanan telah dilakukan secara benar. Besar regangan yang terjadi pada tiap posisi pembebanan jembatan akibat beban 400 kg disajikan pada tabel berikut,

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Regangan Batang Diagonal Rangka Tepi

Posisi Beban	Regangan (ε)
I	-0,000024
II	0,00004
III	0,000024

Dengan perolehan data regangan dan elastisitas yang didapat serta luas penampang batang diagonal pada struktur rangka yang ditinjau maka gaya batang yang terjadi dapat diperhitungkan berdasarkan rumus

$$P = E . A . \varepsilon$$

Dimana : E = nilai elastisitas

A = luas penampang benda uji

ε = regangan benda uji

Besar gaya batang akibat pembebanan di posisi I

$$\begin{aligned} P \text{ I} &= E . A . \varepsilon \text{I} \\ &= 183102 . 232,96 . (-0,000024) \\ &= -1023,73061 \text{ N (tekan)} \end{aligned}$$

Besar gaya batang akibat pembebanan di posisi II

$$\begin{aligned} P \text{ II} &= E . A . \varepsilon \text{II} \\ &= 183102 . 232,96 . 0,000004 \\ &= 1706,21768 \text{ N (tarik)} \end{aligned}$$

Besar gaya batang akibat pembebanan di posisi III

$$\begin{aligned} P \text{ III} &= E . A . \varepsilon \text{III} \\ &= 183102 . 232,96 . 0,000024 \\ &= 1023,73061 \text{ N (tarik)} \end{aligned}$$

Sedangkan tegangan batang yang terjadi akan dihitung berdasarkan rumus

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

dimana : E = nilai elastisitas

ε = regangan benda uji

Besar tegangan batang akibat pembebanan di posisi I

$$\begin{aligned}\sigma I &= E \cdot \varepsilon I \\ &= 183102 \cdot (-0,000024) \\ &= -4,39445 \text{ N/mm}^2 \text{ (tegangan tekan)}\end{aligned}$$

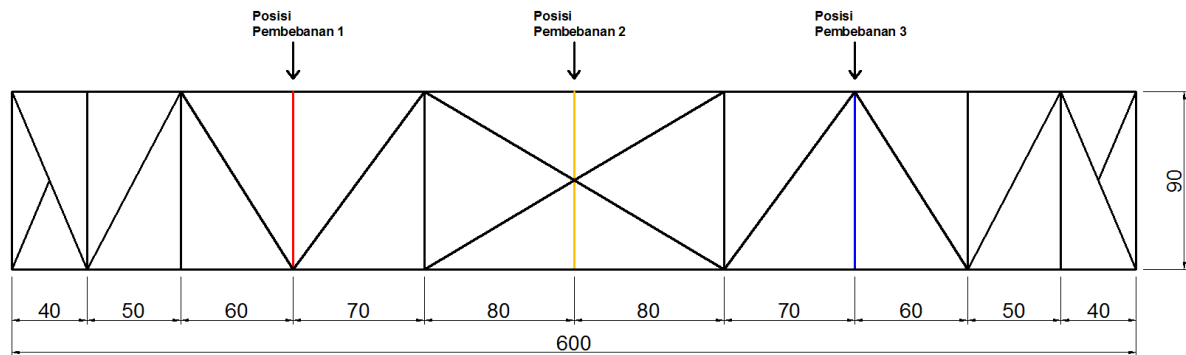
Besar tegangan batang akibat pembebanan di posisi II

$$\begin{aligned}\sigma II &= E \cdot \varepsilon II \\ &= 183102 \cdot 0,00004 \\ &= 7,32408 \text{ N/mm}^2 \text{ (tegangan tarik)}\end{aligned}$$

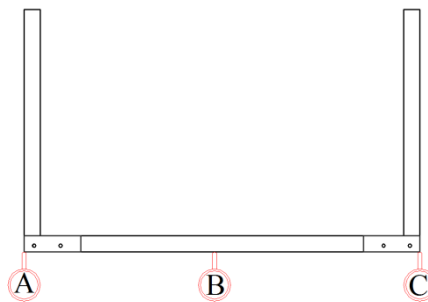
Besar tegangan batang akibat pembebanan di posisi III

$$\begin{aligned}\sigma III &= E \cdot \varepsilon III \\ &= 183102 \cdot 0,000024 \\ &= 4,39445 \text{ N/mm}^2 \text{ (tegangan tarik)}\end{aligned}$$

4.3 Pengujian Defleksi Balok Melintang Rangka Jembatan

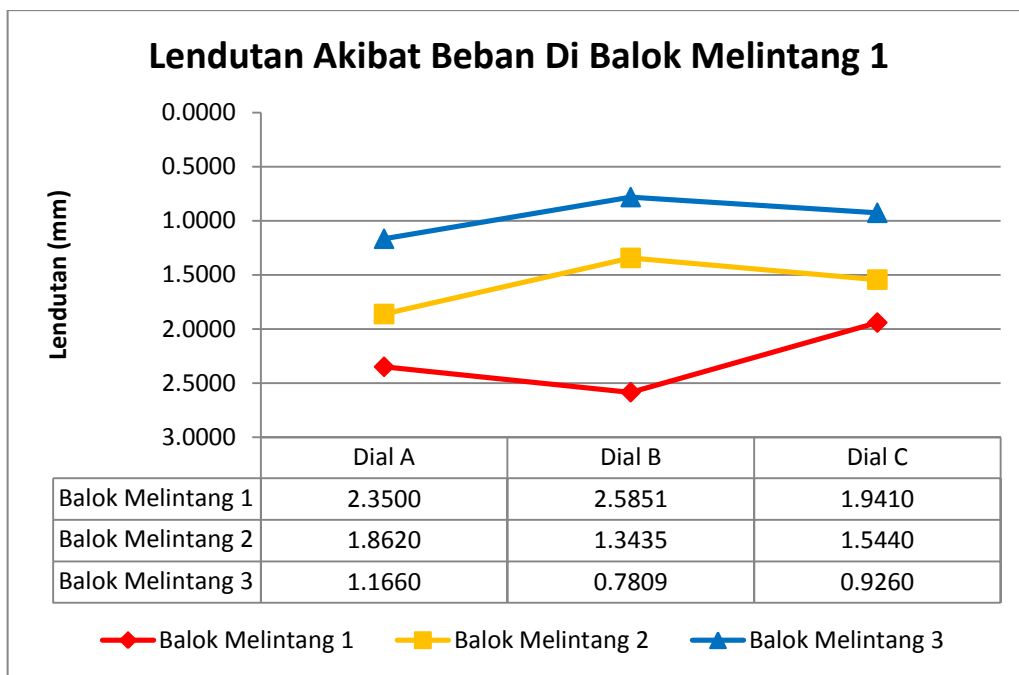


Gambar 4.9 Gambar Posisi Pembebanan Serta Balok Melintang Yang Diuji

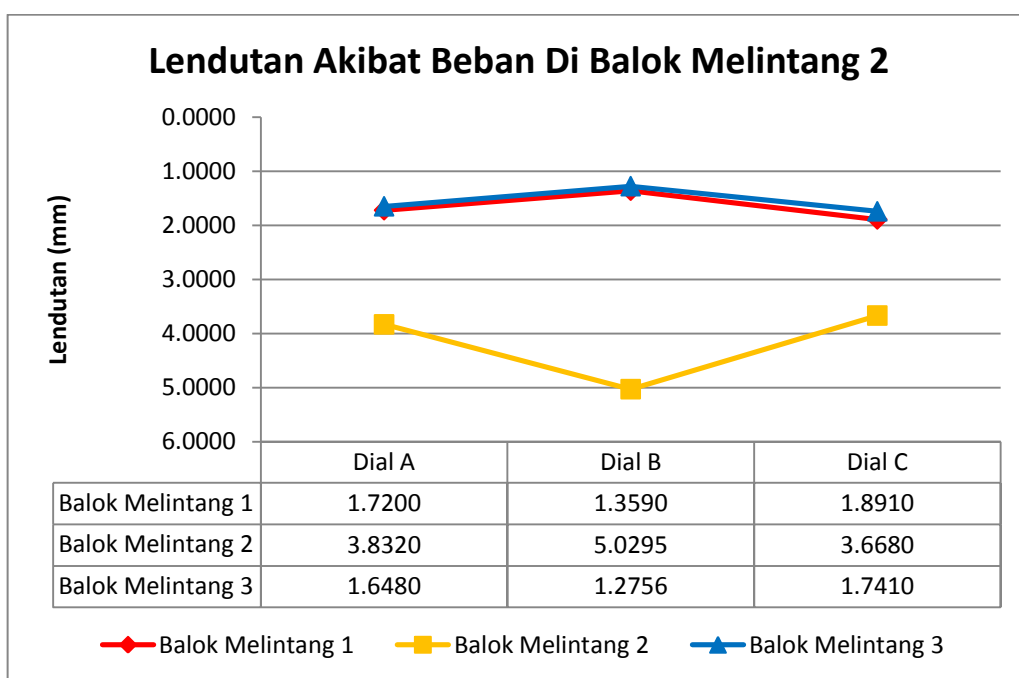


Gambar 4.10 Perletakkan Dial

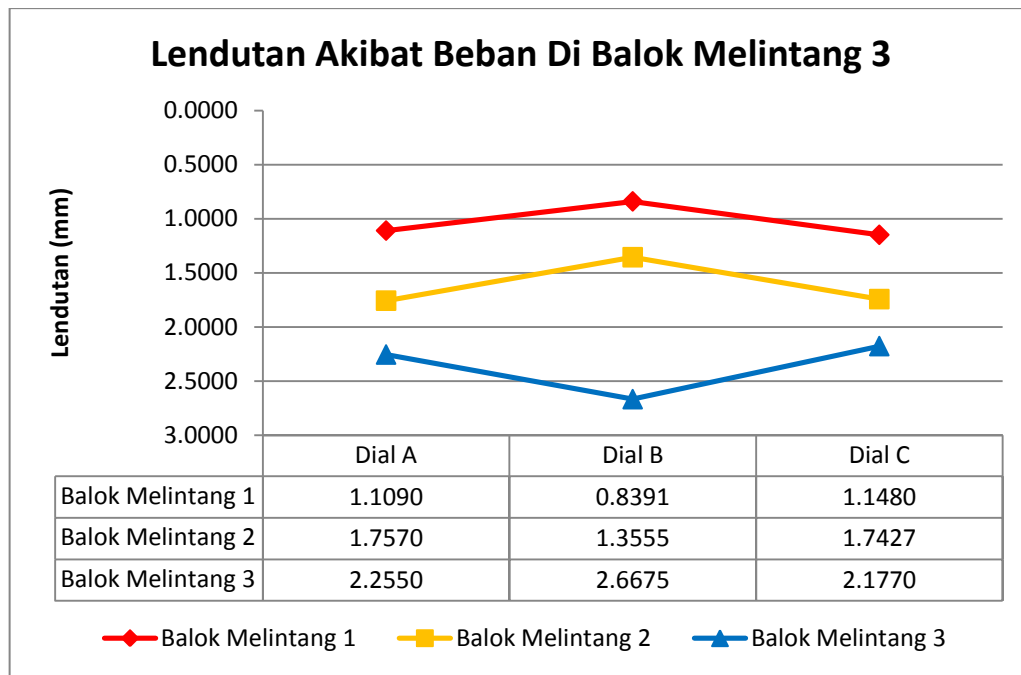
Seperti pada gambar diatas, pengujian lendutan dilakukan pada 3 balok melintang yaitu balok melintang 1, balok melintang 2 juga balok melintang 3 dan pada masing-masing batang melintang dipasang 3 dial *LVDT* pada tepi-tepi serta tengah balok. Pembacaan *LVDT* dilakukan dengan ketelitian 1×10^{-4} mm. Data yang dihasilkan dari pengujian defleksi merupakan lendutan balok melintang terhadap rangka jembatan boomerang bridge, pada dial A dan C mengintrepetasikan lendutan dari rangka jembatan, sedangkan dial B sendiri merupakan intrepetasi dari lendutan batang melintang yang bekerja sebagai balok. Dapat dilihat bahwa lendutan pada dial B selalu melebihi dial A dan C, hal ini akibat dari beban yang diberikan merupakan beban merata sepanjang balok melintang. Untuk perbandingan lendutan terhadap posisi perletakkan beban pada jembatan dapat dilihat pada grafik dibawah



Gambar 4.11 Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 1 (Posisi1)



Gambar 4.12 Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)



Gambar 4.13 Grafik Lendutan Uji Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)

Dapat dilihat sebagai contoh pada lendutan balok melintang 1 akibat beban di balok melintang 1, bahwa saat balok melintang menerima beban secara langsung maka nilai lendutan pada dial B (2,5851 mm) akan selalu menunjukkan lendutan yang lebih besar dari pada dial A (2,3500 mm) dan C (1,9410 mm). Dan lendutan pada balok melintang 2 akibat beban di balok melintang 1 sebagai contoh, maka balok melintang yang tidak menerima beban pada dial B (1,3435 mm) menampilkan lendutan yang lebih kecil dari pada dial A (1,8620 mm) dan C (1,5440 mm). Hal ini disebabkan karena desain dari stuktur rangka tepi serta ikatan angin yang ada memang cenderung memberikan perilaku batang melintang yang tidak terbebani menekuk ke arah atas untuk mengimbangi lendutan yang terjadi.

4.4 Hasil Perhitungan Teoritis

Perhitungan secara teoritis sendiri selalu dilakukan pada saat awal perencanaan struktur yang akan dibuat. Namun pada perhitungan teoritis diperlukan adanya data-data pendukung terutama data karakteristik bahan yang akan dipakai yang salah satunya adalah angka elastisitas bahan. Dari pengujian elastisitas yang sebelumnya telah dilakukan didapatkan hasil angka elastisitas sebesar 183.102 N/mm^2 , dan hasil tersebut

akan dimasukkan sebagai data pendukung pada perhitungan teoritis dengan menggunakan program.

4.4.1 Hasil Gaya Batang dan Tegangan Teoritis

Dari perhitungan secara programik melalui program didapatkan nilai gaya batang diagonal yang ditinjau akibat posisi pembebanan yang berbeda-beda adalah sebagai berikut,

Tabel 4.3 Gaya Batang Teoritis

Posisi Beban	Besar Gaya Batang (N)	Keterangan
Posisi 1	-745,28579	Tekan
Posisi 2	1466,58451	Tarik
Posisi 3	740,89241	Tarik

Dari gaya batang yang telah didapatkan dapat ditentukan besar nilai tegangan yang terjadi dengan menggunakan rumus berikut,

$$\sigma = P/A$$

Dimana : P = besar nilai gaya batang
 A = luas penampang batang

Besar tegangan batang akibat pembebanan di posisi I

$$\begin{aligned}
 \sigma I &= P I / A \\
 &= -745,28579 / 232,96 \\
 &= -3,19920 \text{ N/mm}^2 \text{ (tegangan tekan)}
 \end{aligned}$$

Besar tegangan batang akibat pembebanan di posisi II

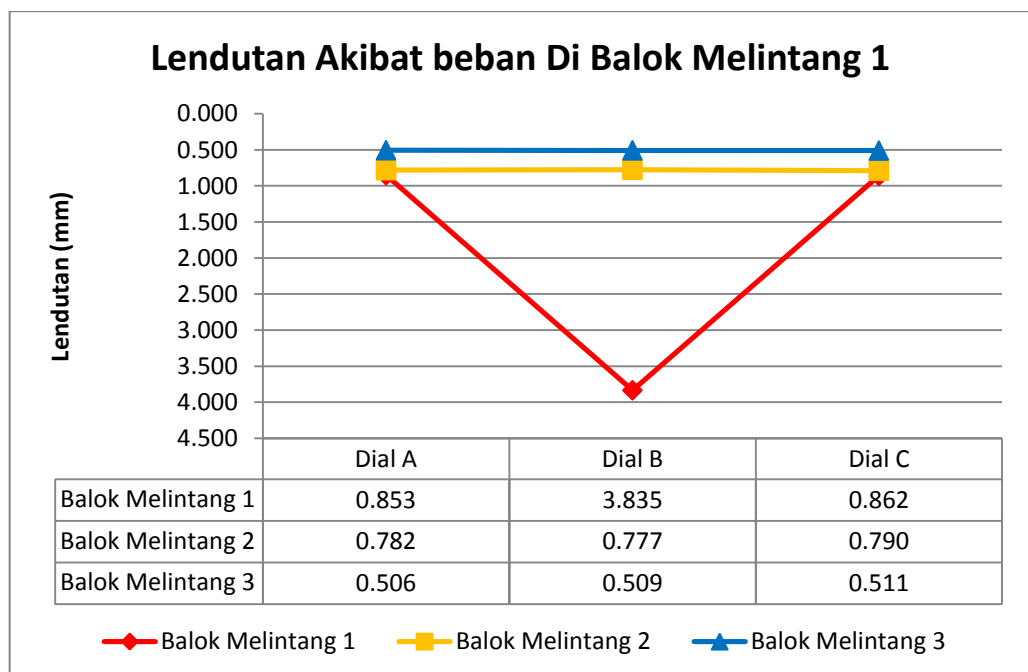
$$\begin{aligned}
 \sigma II &= P II / A \\
 &= 1466,50606 / 232,96 \\
 &= 6,29543 \text{ N/mm}^2 \text{ (tegangan tarik)}
 \end{aligned}$$

Besar tegangan batang akibat pembebanan di posisi III

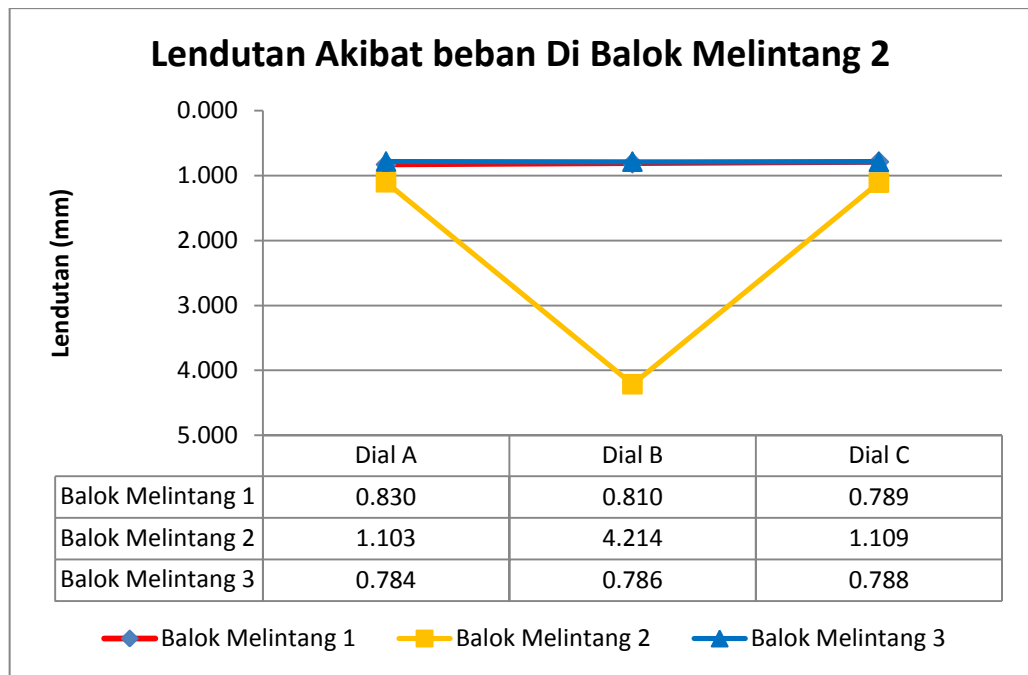
$$\begin{aligned}\sigma_{III} &= P_{III}/A \\ &= 740,89241 / 232,96 \\ &= 3,18034 \text{ N/mm}^2 \text{ (tegangan tarik)}\end{aligned}$$

4.4.2 Hasil Lendutan Balok Melintang Teoritis

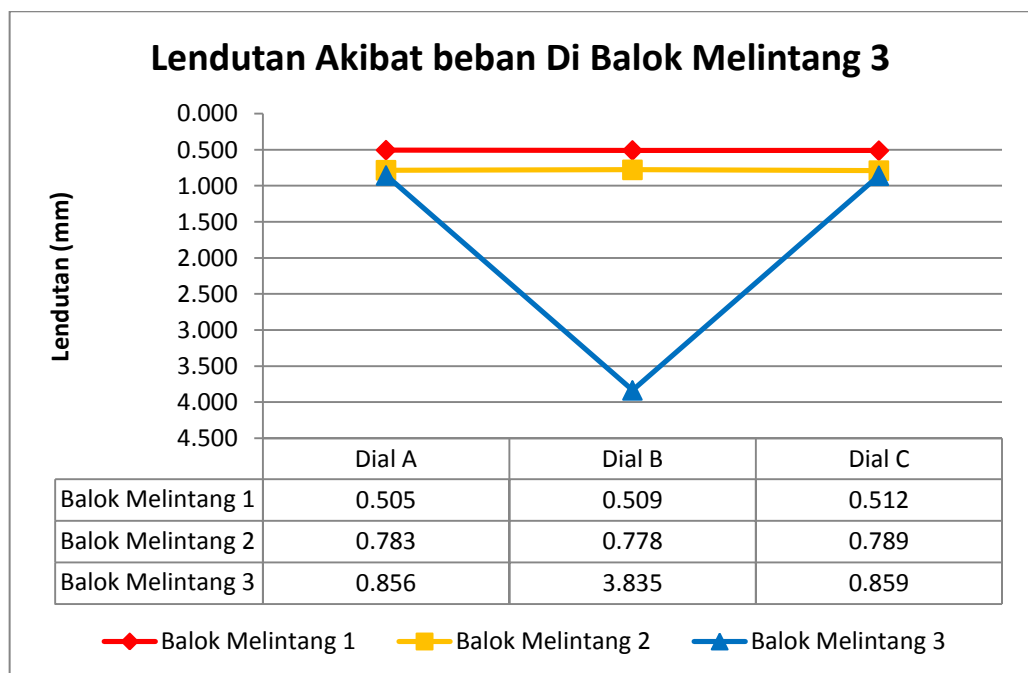
Agar didapatkan lendutan pada titik A, B dan C pada balok melintang yang ditinjau yang pertama dilakukan di dalam perhitungan program adalah dengan mendefinisikan struktur jembatan yang sudah didesain. Pada rangka tepi kanan dan tepi kiri didefinisikan sebagai truss atau rangka sedangkan balok melintang didefinisikan sebagai balok. Pendefinisian perlu dilakukan agar perhitungan yang dilakukan nantinya sesuai. Sesuai dalam hal ini adalah dimana pada rangka tepi tidak akan ada momen dan pada balok akan terjadi momen akibat beban yang diterimanya. Berikut hasil perhitungan lendutan ujung balok melintang rangka jembatan “Boomerang Bridge” secara teoritis,



Gambar 4.14 Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)



Gambar 4.15 Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)



Gambar 4.16 Grafik Lendutan Teoritis Balok Melintang Akibat Terjadi Pembebanan Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)

4.5 Perbandingan Hasil Uji Dengan Hasil Teoritis

Dilihat dari apa yang dihasilkan pada pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa perhitungan secara teoritis dengan apa yang terjadi di keadaan sebenarnya tentu berbeda. Hal ini dapat disebabkan karena kurangnya beberapa faktor pendukung serta asumsi-asumsi yang dimasukkan pada perhitungan teoritis, sehingga menyebabkan perilaku dari sebuah struktur tersebut tidak sesuai dengan yang telah direncanakan. Oleh karena itu dibutuhkan faktor keamanan sebagai pendukung kelayakan suatu struktur atas perhitungan teoritis yang telah dilakukan.

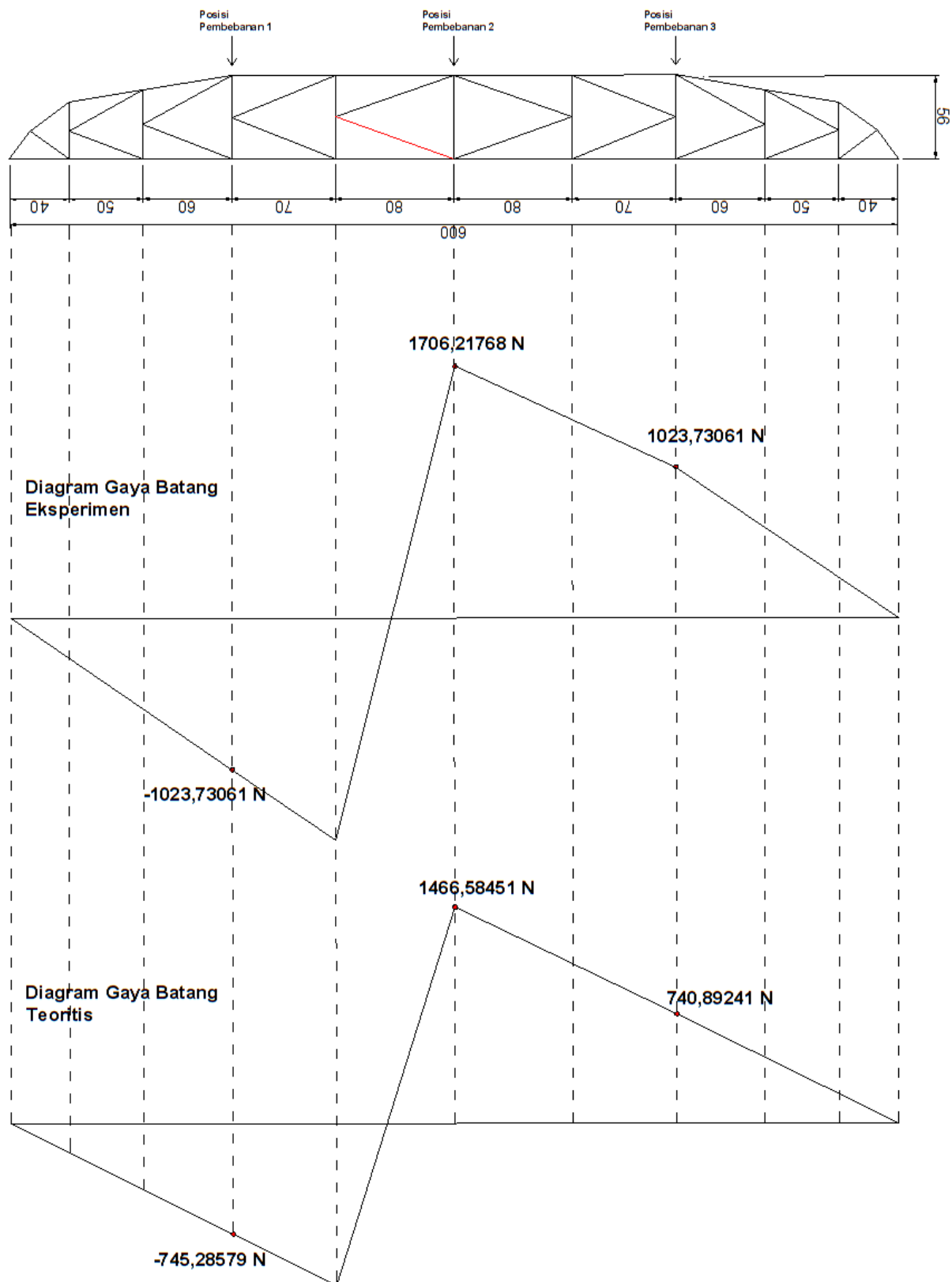
4.5.1 Perbandingan Nilai Tegangan Batang Diagonal

Dari apa yang telah dihasilkan atas pengujian dan perhitungan secara teoritis, berikut tabel perbandingan hasil nilai tegangan yang terjadi,

Tabel 4.4 Perbandingan Tegangan Batang Diagonal Rangka Tepi Berdasarkan Pengujian dan Teoritis

Posisi Beban	Tegangan Batang Diagonal Rangka Tepi	
	Tegangan Uji (N/mm ²)	Tegangan Teoritis (N/mm ²)
Posisi 1	-4,39445	-3,19920
Posisi 2	7,32408	6,29543
Posisi 3	4,39445	3,18034

Dari tabel di atas dilihat bahwa batang diagonal rangka tepi mengalami perubahan tegangan, dimana semakin mendekatnya beban ke batang diagonal maka semakin besar juga tegangan yang terjadi. Selain itu pada batang diagonal rangka tepi terjadi perubahan gaya dari gaya tekan pada posisi pembebanan 1 sampai ke gaya tarik pada posisi pembebanan 2 dan 3. Perubahan gaya ini terjadi akibat dari letak posisi beban yang berubah-ubah serta arah perletakkan batang K-truss. Berikut diagram garis pengaruh gaya batang eksperimen dan teoritis serta diagram garis pengaruh gaya batang akibat beban 1 satuan



Gambar 4.17 Perbandingan Garis Pengaruh Gaya Batang Pengujian dan Teoritis

Dari diagram garis tegangan batang diagonal pengujian serta diagram garis pengaruh teoritis disimpulkan bahwa hasil yang didapat pada pengujian hampir sama seperti perhitungan yang dilakukan. Berikut prosentase perbedaan yang didapatkan,

Tabel 4.5 Prosentase Beda Antara Tegangan Hasil Pengujian Dengan Teoritis

Posisi Beban	Prosentase Perbedaan (%)
Posisi 1	27,199
Posisi 2	14,045
Posisi 3	27,628
Rata-rata	22,957

Dari data yang ada diatas didapatkan rata-rata perbedaan nilai tegangan yang terjadi adalah sebesar 22,957%. Dilihat dari data yang ada tegangan yang terjadi saat pengujian ternyata lebih besar dari tegangan yang dihasilkan dari perhitungan teoritis yang dilakukan. Seperti yang telah disampaikan sebelumnya hal ini terjadi dikarenakan asumsi-asumsi yang diberikan pada saat melakukan perhitungan tidak sempurna sesuai dengan yang ada pada lapangan. Hal ini terbukti bahwa walaupun beban yang diberikan pada pengujian dan perhitungan teoritis sama tegangan yang terjadi berbeda. Salah satu faktor penyebabnya adalah keberadaan sambungan yang kurang kencang, dimana saat kurang kencangnya sambungan dapat menyebabkan penyaluran gaya yang ada tidak terdistribusi secara sempurna pada batang yang lainnya sehingga batang tersebut memikul gaya yang lebih besar.

4.5.2 Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang

Perbandingan nilai lendutan pengujian dengan nilai lendutan teoritis yang didapatkan diperlihatkan pada tabel berikut,

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang Antara Pengujian Dengan Teoritis Akibat Beban di Balok Melintang 1 (posisi 1)

Balok Melintang Yang Ditinjau	Besar Lendutan Uji (mm)			Besar Lendutan Teoritis (mm)		
	A	B	C	A	B	C
Balok Melintang 1	2.350	2.585	1.941	0.853	3.835	0.862
Balok Melintang 2	1.862	1.343	1.544	0.782	0.777	0.790
Balok Melintang 3	1.166	0.781	0.926	0.506	0.509	0.511

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang Antara Pengujian Dengan Teoritis Akibat Beban di Balok Melintang 2 (posisi 2)

Balok Melintang Yang Ditinjau	Besar Lendutan Uji (mm)			Besar Lendutan Teoritis (mm)		
	A	B	C	A	B	C
Balok Melintang 1	1.720	1.359	1.891	0.830	0.810	0.789
Balok Melintang 2	3.832	5.029	3.668	1.103	4.214	1.109
Balok Melintang 3	1.648	1.276	1.741	0.784	0.786	0.788

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai Lendutan Balok Melintang Antara Pengujian Dengan Teoritis Akibat Beban di Balok Melintang 3 (posisi 3)

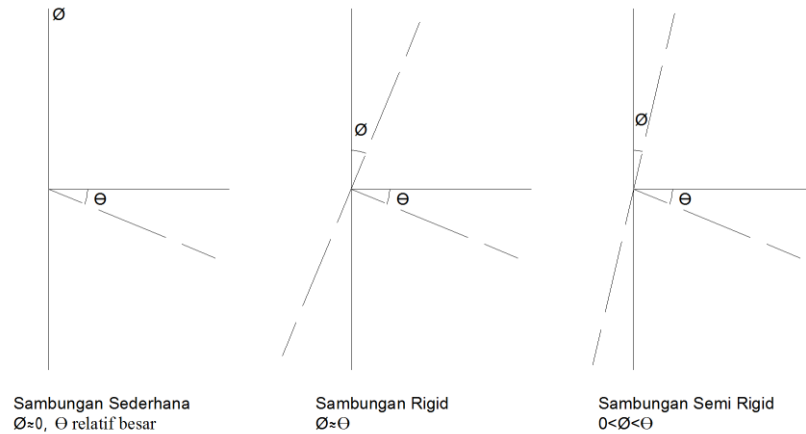
Balok Melintang Yang Ditinjau	Besar Lendutan Uji (mm)			Besar Lendutan Teoritis (mm)		
	A	B	C	A	B	C
Balok Melintang 1	1.109	0.839	1.148	0.505	0.509	0.512
Balok Melintang 2	1.757	1.355	1.743	0.783	0.778	0.789
Balok Melintang 3	2.255	2.668	2.177	0.856	3.835	0.859

Tabel 4.9 Prosentase Perbedaan Antara Lendutan Hasil Pengujian Dengan Teoritis

Posisi Beban	Balok Melintang Yang Ditinjau	Prosentase Beda (%)		
		A	B	C
Akibat Beban Di Balok Melintang 1 (Posisi 1)	Balok Melintang 1	63,702	32,584	55,590
	Balok Melintang 2	58,002	42,164	48,834
	Balok Melintang 3	56,604	34,879	44,816
Akibat Beban Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)	Balok Melintang 1	51,744	40,434	58,276
	Balok Melintang 2	71,216	16,214	69,766
	Balok Melintang 3	52,427	38,380	54,739
Akibat Beban Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)	Balok Melintang 1	54,463	39,396	55,401
	Balok Melintang 2	55,435	42,602	54,725
	Balok Melintang 3	62,040	30,434	60,542
Rata-rata		49,830		

Dari tabel 4.9 di atas didapatkan rata-rata perbedaan yang terjadi sekitar 49,830%. Dimana perbedaan tersebut diperkirakan terjadi karena kondisi sambungan yang ada pada pengujian tidak sama seperti sambungan yang ada pada perhitungan. Sambungan yang pada perhitungan atau program dianggap sebagai sambungan yang rigid sedangkan pada kenyataan dipakai sambungan jenis semirigid. Dimana sambungan rigid merupakan sambungan yang dianggap memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut diantara elemen-elemen yang disambung (momen sambungan= 90-100% momen jepit

sempurna). Sedangkan sambungan semi rigid merupakan sambungan yang tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk mempertahankan sudut antara elemen yang disambung (momen sambungan = 20-90% momen jepit sempurna).



Gambar 4.18 Distribusi Momen Tahanan Terhadap Momen Jepit Sempurna Sambungan Simple Connections, Semirigid Connections, dan Rigid Connections (Zulfiana 2012)

Selain itu dari apa yang telah didapat pada pengujian serta perhitungan lendutan balok melintang akibat posisi beban yang diberikan di posisi 1, 2 dan 3, keduanya menghasilkan lendutan terbesar terjadi pada saat beban diberikan pada balok melintang 2 (posisi 2).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari 3 posisi beban yang diberikan pada struktur rangka jembatan Boomerang Bridge dihasilkan bahwa hal tersebut berpengaruh pada tegangan batang diagonal rangka tepi dan lendutan balok melintang. Tegangan batang diagonal rangka tepi akan semakin besar jika beban semakin mendekat ke batang yang akan ditinjau, selain itu perubahan tegangan (tekan dan tarik) terjadi akibat posisi pembebanan serta posisi dari batang yang ditinjau. Sedangkan untuk lendutan sendiri dihasilkan bahwa lendutan balok melintang terbesar terjadi pada saat beban diberikan pada balok melintang 2 tengah bentang rangka jembatan.

Dari hasil pengujian serta hasil perhitungan dengan program didapatkan hasil yang berbeda. Untuk tegangan batang diagonal rangka tepi didapatkan perbedaan sebesar 22,957%, sedangkan untuk lendutan balok melintang didapatkan perbedaan sebesar 49,830%. Maka dari itu diambil prosentase yang terbesar yang nantinya digunakan sebagai angka keamanan.

Perbedaan hasil pengujian dengan hasil perhitungan dengan program disebabkan oleh perbedaan asumsi sambungan yang diberikan. Pada program, sambungan yang diberikan dianggap sebagai sambungan rigid sedangkan pada keadaan sebenarnya sambungan yang dipakai merupakan sambungan jenis semi rigid.

5.2 Saran

Sebenarnya agar pengujian selanjutnya dapat memberikan hasil yang lebih maksimal lagi diperlukan penggantian baut-baut penyambung pada seluruh sambungan yang ada. Selain itu benda uji sebenarnya diusahakan harus dibuat sedetil mungkin

menyamai perhitungan yang dilakukan, karena hal tersebut dapat mengurangi besarnya perbedaan yang terjadi antara hasil pengujian dengan hasil perhitungan.

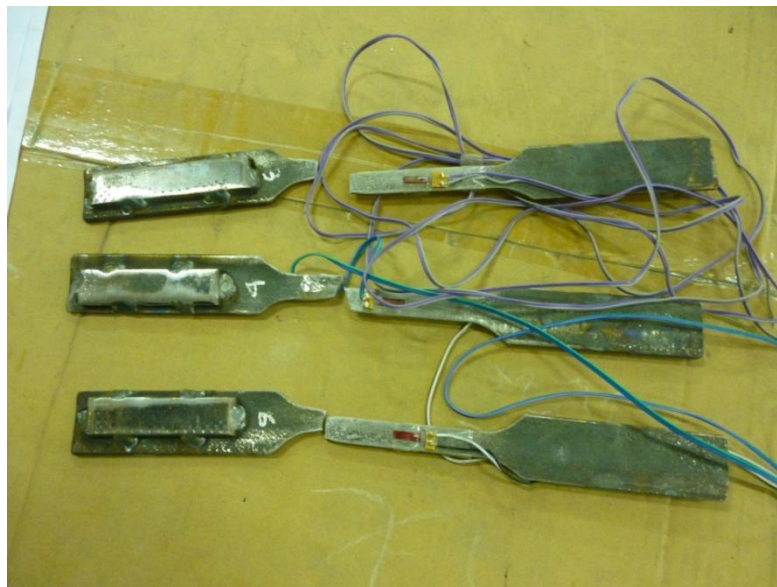
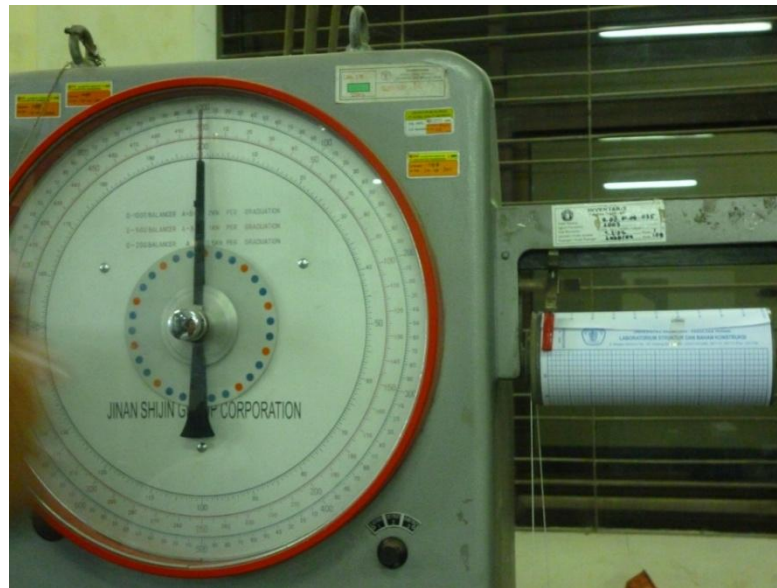
DAFTAR PUSTAKA

- Ariestadi, Dian. *Teknik Struktur Bangunan Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- Dewi, Sri Murni. *Garis Pengaruh*. Malang: BARGIE Media, 2013.
- Gere, James M. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1997.
- Herlin I, Sri Murni Dewi, dan Prastumi. *Mekanika Bahan Untuk Teknik Sipil*. Malang: BARGIE Media, 2010.
- Hibbeler, Russel C. *Analisis Struktur*. Translated by Carley Tanya and Purnomo Wahyu Indarto. Jakarta: Tema Baru, 2002.
- Hsieh, Y.Y. *Teori Dasar Struktur*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1985.
- Kulicki, John M. *Bridge Engineering Handbook*. 2000.
- Mulyati. "Bahan Ajar - Statika." 2006.
- Nasution, Thamrin. *MODUL 1 Pengenalan Jembatan*. 2012.
- Salmon, Charles G. *Struktur Baja Desain dan Perilaku*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1997.
- Setiawan, Agus. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Semarang: Penerbit Erlangga, 2008.
- Siswadi. *Analisis Struktur Statik Tertentu*. Yogyakarta: Universitas Atam Jaya Yogyakarta, 1998.
- Zulfiana, Andi. "Studi Perilaku Sambungan Jenis Semi Rigid Connection Dan Rigid Connection Pada Struktur Rangka Baja Yang Tahan Terhadap Beban Gempa Dengan Menggunakan Abaqus 6.7." 2012: 4.

Lampiran 2

Dokumentasi Saat Pengujian





Lampiran 4

Hasil Pembacaan Nilai Regangan Benda Uji Spesimen Pada Pengujian Elastisitas

Spesimen No.	Tebal	Lebar	Luas
	mm	mm	mm ²
1	3.06	13.47	41.218
2	3.01	13.50	40.635
3	2.90	12.92	37.468
4	2.74	13.07	35.812

Beban (kN)	Strainmeter			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
0	2,001	356	1,570	2,085
2	2,232	643	1,820	2,410
4	2,482	921	2,177	2,658
6	2,786	1,197	2,469	2,923
8	3,003	1,386	2,706	3,272
10	3,346	1,657	3,002	3,508
11				
11.5				3,970
12	3,642	1,934	3,335	4,215
12.5		2,008	3,480	
13				
13.5				
14	6,895	5,940	6,227	7,934
16	34,874	15,321	27,917	22,661
18	57,742	25,312	43,725	35,725
20	107,479	39,521		56,372
22	101,016	56,127		

Lampiran 5

Hasil Perhitungan Nilai Tegangan Dan Regangan Pada Pengujian Elastisitas

No. 1		No. 2	
P/A	Regangan	P/A	Regangan
0	0	0	0
49	0.000231	49	0.000287
97	0.000481	98	0.000565
146	0.000785	148	0.000841
194	0.001002	197	0.001030
243	0.001345	246	0.001301
291	0.001641	308	0.001652

No. 3		No. 4	
P/A	Regangan	P/A	Regangan
0	0	0	0
53	0.000250	56	0.000325
107	0.000607	112	0.000573
160	0.000899	168	0.000838
214	0.001136	223	0.001187
267	0.001432	279	0.001423
334	0.001910	321	0.001885

Lampiran 6

Hasil Pembacaan Strain Gauge Batang Diagonal Percobaan I

Posisi Pembebanan 1

Beban	Pembacaan Strainmeter	
	Awal	Akhir
50 Kg	1484	1478
100 Kg	1478	1476
150 Kg	1476	1473
200 Kg	1473	1470
250 Kg	1470	1468
300 Kg	1468	1464
350 Kg	1464	1462
400 Kg	1462	1457

Posisi Pembebanan 2

Beban	Pembacaan Strainmeter	
	Awal	Akhir
50 Kg	1497	1502
100 Kg	1502	1507
150 Kg	1507	1512
200 Kg	1512	1517
250 Kg	1517	1521
300 Kg	1521	1528
350 Kg	1528	1533
400 Kg	1533	1540

Posisi Pembebanan 3

Beban	Pembacaan Strainmeter	
	Awal	Akhir
50 Kg	1483	1486
100 Kg	1486	1489
150 Kg	1489	1493
200 Kg	1493	1496
250 Kg	1496	1500
300 Kg	1500	1503
350 Kg	1503	1506
400 Kg	1506	1508

**Regangan Pada Saat
Posisi Pembebanan 1**

Beban	Regangan
50 Kg	-0.000006
100 Kg	-0.000008
150 Kg	-0.000011
200 Kg	-0.000014
250 Kg	-0.000016
300 Kg	-0.000020
350 Kg	-0.000022
400 Kg	-0.000027

**Regangan Pada Saat
Posisi Pembebanan 2**

Beban	Regangan
50 Kg	0.000005
100 Kg	0.000010
150 Kg	0.000015
200 Kg	0.000020
250 Kg	0.000024
300 Kg	0.000031
350 Kg	0.000036
400 Kg	0.000043

**Regangan Pada Saat
Posisi Pembebanan 3**

Beban	Regangan
50 Kg	0.000003
100 Kg	0.000006
150 Kg	0.000010
200 Kg	0.000013
250 Kg	0.000017
300 Kg	0.000020
350 Kg	0.000023
400 Kg	0.000025

Hasil Pembacaan Strain Gauge Batang Diagonal Percobaan II

Posisi Pembebanan 1

Beban	Pembacaan Strainmeter	
	Awal	Akhir
50 Kg	1483	1479
100 Kg	1479	1476
150 Kg	1476	1473
200 Kg	1473	1471
250 Kg	1471	1467
300 Kg	1467	1465
350 Kg	1465	1462
400 Kg	1462	1459

Posisi Pembebanan 2

Beban	Pembacaan Strainmeter	
	Awal	Akhir
50 Kg	1497	1503
100 Kg	1503	1507
150 Kg	1507	1512
200 Kg	1512	1517
250 Kg	1517	1523
300 Kg	1523	1528
350 Kg	1528	1534
400 Kg	1534	1540

Posisi Pembebanan 3

Beban	Pembacaan Strainmeter	
	Awal	Akhir
50 Kg	1483	1486
100 Kg	1486	1490
150 Kg	1490	1492
200 Kg	1492	1495
250 Kg	1495	1498
300 Kg	1498	1503
350 Kg	1503	1506
400 Kg	1506	1509

Regangan Pada Saat
Posisi Pembebanan 1

Beban	Regangan
50 Kg	-0.000004
100 Kg	-0.000007
150 Kg	-0.000010
200 Kg	-0.000012
250 Kg	-0.000016
300 Kg	-0.000018
350 Kg	-0.000021
400 Kg	-0.000024

Regangan Pada Saat
Posisi Pembebanan 2

Beban	Regangan
50 Kg	0.000006
100 Kg	0.000010
150 Kg	0.000015
200 Kg	0.000020
250 Kg	0.000026
300 Kg	0.000031
350 Kg	0.000037
400 Kg	0.000043

Regangan Pada Saat
Posisi Pembebanan 3

Beban	Regangan
50 Kg	0.000003
100 Kg	0.000007
150 Kg	0.000009
200 Kg	0.000012
250 Kg	0.000015
300 Kg	0.000020
350 Kg	0.000023
400 Kg	0.000026

Lampiran 7

Hasil Lendutan Balok Melintang Akibat Beban Di Balok Melintang 1 (Posisi1)

Balok Melintang 1

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.3360	0.2619	0.2030
100 Kg	0.5770	0.5626	0.4390
150 Kg	0.8880	0.8730	0.6810
200 Kg	1.1900	1.2222	0.9300
250 Kg	1.4840	1.5811	1.1900
300 Kg	1.8120	1.9449	1.4520
350 Kg	2.0970	2.2747	1.7010
400 Kg	2.3500	2.5851	1.9410

Balok Melintang 2

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.2160	0.1698	0.2050
100 Kg	0.4580	0.3444	0.3910
150 Kg	0.6710	0.5044	0.5500
200 Kg	0.9000	0.6548	0.7340
250 Kg	1.1420	0.8342	0.9560
300 Kg	1.3800	0.9991	1.1400
350 Kg	1.6390	1.1883	1.3580
400 Kg	1.8620	1.3435	1.5440

Balok Melintang 3

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.1450	0.0970	0.1230
100 Kg	0.2930	0.1892	0.2290
150 Kg	0.4440	0.2959	0.3410
200 Kg	0.5920	0.3929	0.4640
250 Kg	0.7320	0.4850	0.5630
300 Kg	0.8780	0.5772	0.6930
350 Kg	1.0260	0.6790	0.8140
400 Kg	1.1660	0.7809	0.9260

Hasil Lendutan Balok Melintang Akibat Beban Di Balok Melintang 2 (Posisi 2)

Balok Melintang 1

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.1850	0.1720	0.2780
100 Kg	0.4510	0.3781	0.4850
150 Kg	0.6420	0.5213	0.7310
200 Kg	0.8990	0.6384	0.8950
250 Kg	1.0750	0.8060	1.1240
300 Kg	1.2790	0.9821	1.3580
350 Kg	1.5710	1.1521	1.6250
400 Kg	1.7200	1.3590	1.8910

Balok Melintang 2

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.4500	0.5287	0.4130
100 Kg	0.9040	1.1058	0.8640
150 Kg	1.3800	1.7509	1.3180
200 Kg	1.8580	2.3959	1.7850
250 Kg	2.3390	3.0410	2.2440
300 Kg	2.8320	3.7006	2.7180
350 Kg	3.3370	4.3553	3.1930
400 Kg	3.8320	5.0295	3.6680

Balok Melintang 3

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.1970	0.1504	0.2430
100 Kg	0.4100	0.3104	0.4440
150 Kg	0.6310	0.4802	0.6690
200 Kg	0.8340	0.6208	0.8570
250 Kg	1.0410	0.7760	1.0710
300 Kg	1.2420	0.9458	1.2950
350 Kg	1.4490	1.1058	1.5180
400 Kg	1.6480	1.2756	1.7410

Hasil Lendutan Balok Melintang Akibat Beban Di Balok Melintang 3 (Posisi 3)

Balok Melintang 1

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.1290	0.0970	0.0970
100 Kg	0.2640	0.1989	0.2570
150 Kg	0.4080	0.3104	0.4080
200 Kg	0.5520	0.4123	0.5500
250 Kg	0.6970	0.5238	0.6950
300 Kg	0.8340	0.6305	0.8480
350 Kg	0.9700	0.7421	0.9950
400 Kg	1.1090	0.8391	1.1480

Balok Melintang 2

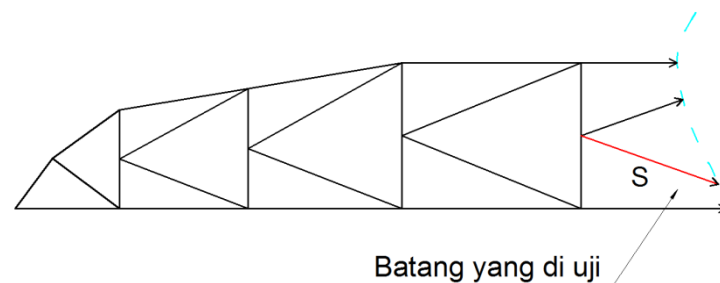
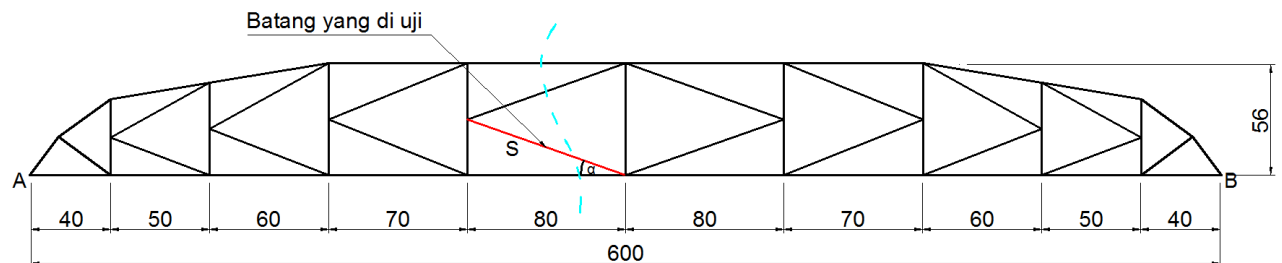
Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.2220	0.2303	0.2793
100 Kg	0.4880	0.3903	0.4863
150 Kg	0.6790	0.5601	0.7323
200 Kg	0.9360	0.7007	0.8963
250 Kg	1.1120	0.8559	1.0727
300 Kg	1.3160	1.0257	1.2967
350 Kg	1.6080	1.1857	1.5197
400 Kg	1.7570	1.3555	1.7427

Balok Melintang 3

Beban	Lendutan (mm)		
	A	B	C
50 Kg	0.2790	0.2959	0.2290
100 Kg	0.5680	0.6208	0.5180
150 Kg	0.8450	0.9603	0.7920
200 Kg	1.1510	1.3192	1.0880
250 Kg	1.4430	1.6587	1.3600
300 Kg	1.7220	2.0031	1.6350
350 Kg	1.9800	2.3426	1.8980
400 Kg	2.2550	2.6675	2.1770

Lampiran 8

Perhitungan Garis Pengaruh Gaya Batang Akibat Beban 1 Satuan



Garis Pengaruh RA

$$\sum M_B = 0$$

$$RA \cdot 600 - 1 \cdot (600 - x) = 0$$

$$RA = \frac{(600 - x)}{600}$$

Garis Pengaruh RB

$$\sum M_A = 0$$

$$-RB \cdot 600 + 1 \cdot x = 0$$

$$RB = \frac{x}{600}$$

Garis Pengaruh Batang S ($0 < x < 220$)

$$\sum V = 0$$

$$RA - 1 - 2 \cdot S \cdot \sin \alpha = 0$$

$$S = \frac{RA - 1}{2 \cdot \sin \alpha}$$

Garis Pengaruh Batang S ($300 < x < 600$)

$$\sum V = 0$$

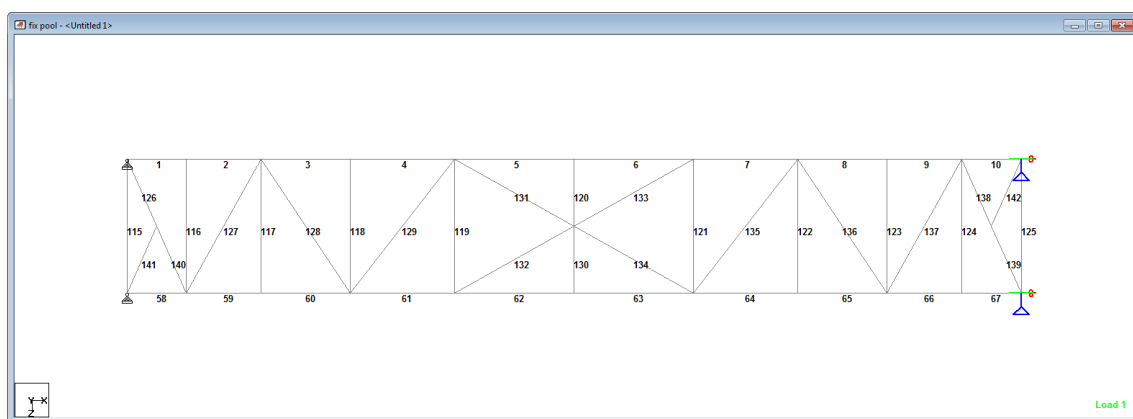
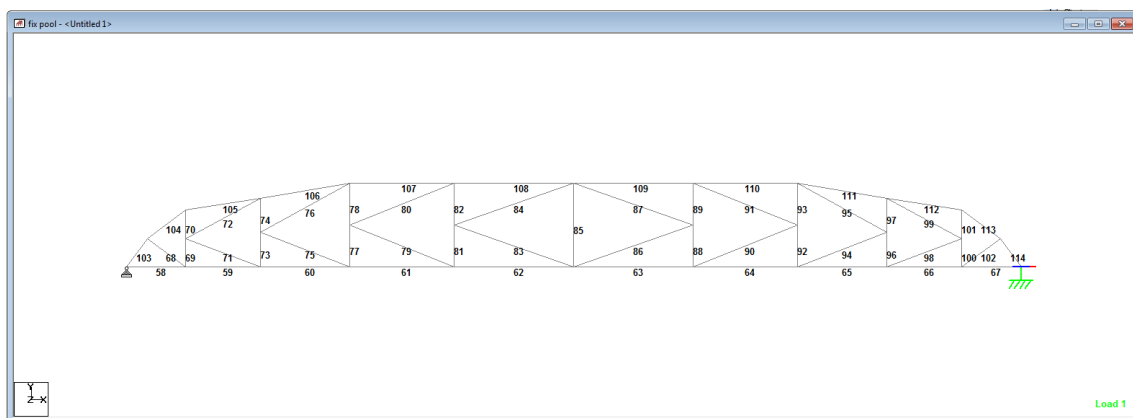
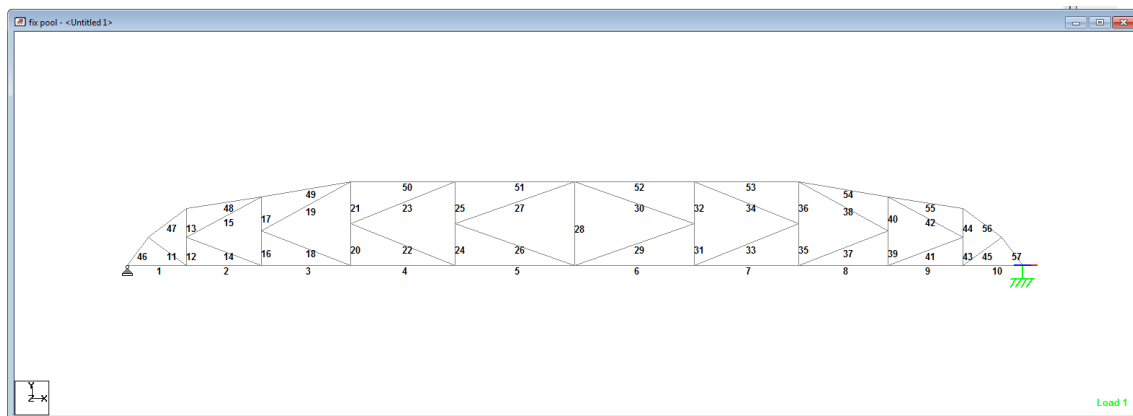
$$RA - 2 \cdot S \cdot \sin \alpha = 0$$

$$S = \frac{RA}{2 \cdot \sin \alpha}$$

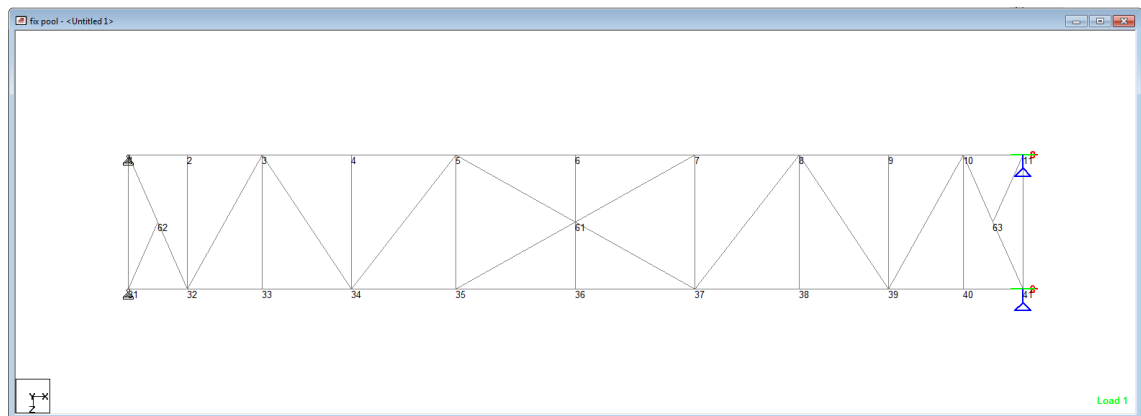
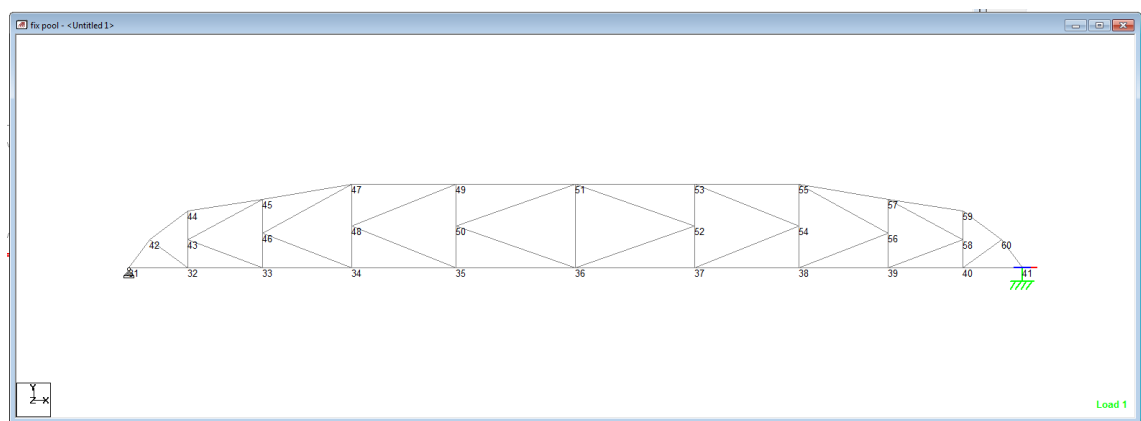
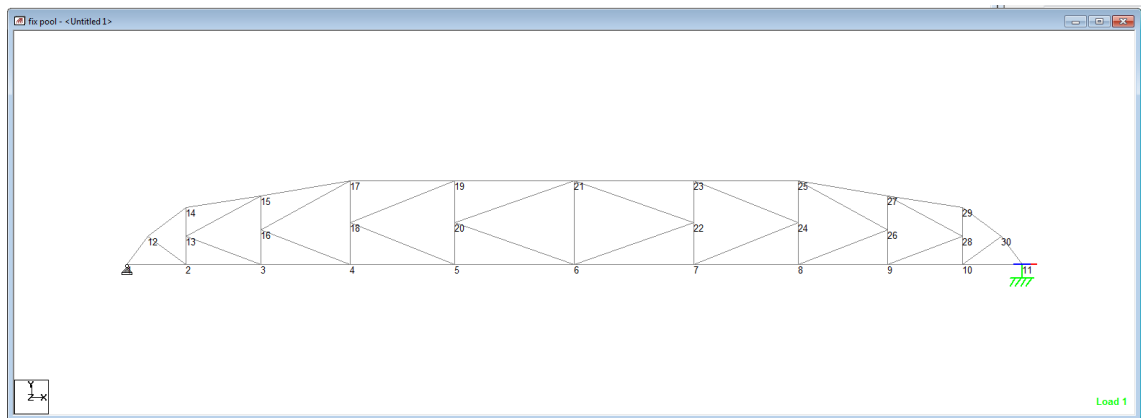
Lampiran 9

Analisis Perhitungan Dengan Menggunakan Program

Penomoran Batang



Penomoran Buhul



Input Nilai Elastisitas Bahan

Isotropic Material

Identification
Title : BAJA

Material Properties

Young's Modulus (E) : 1.86712e+010 kg/m²

Poisson's Ratio (nu) : 0.3

Density : 7833.41 kg/m³

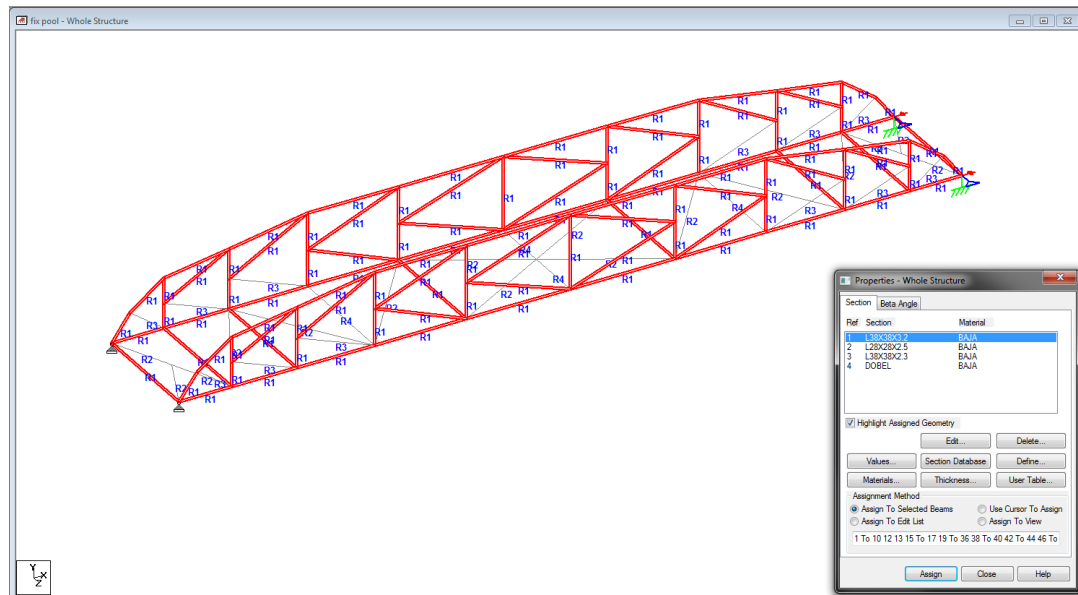
Thermal Coeff(a) : 0 @/

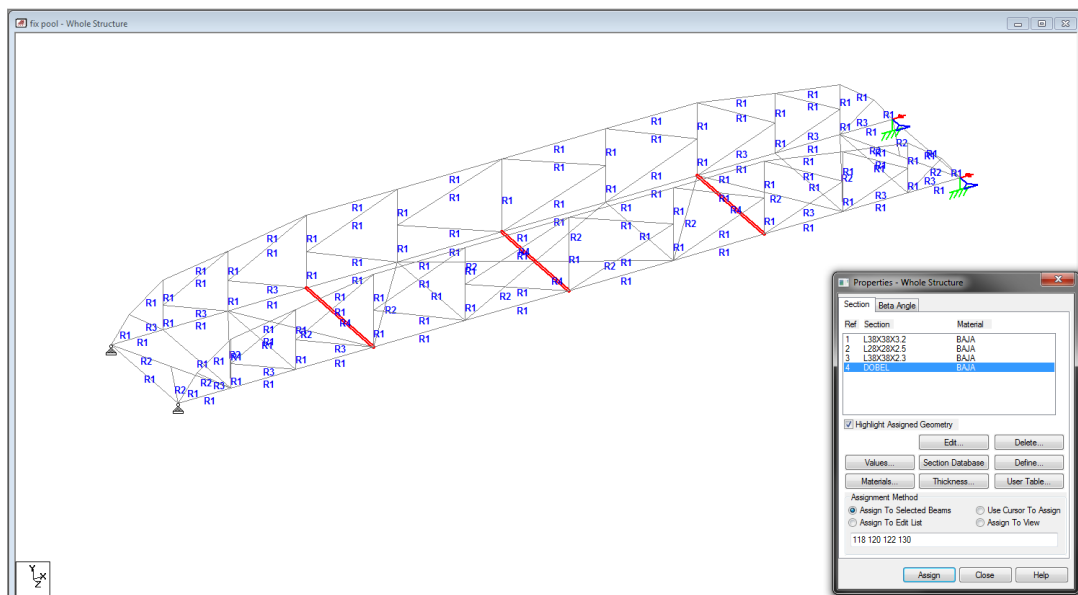
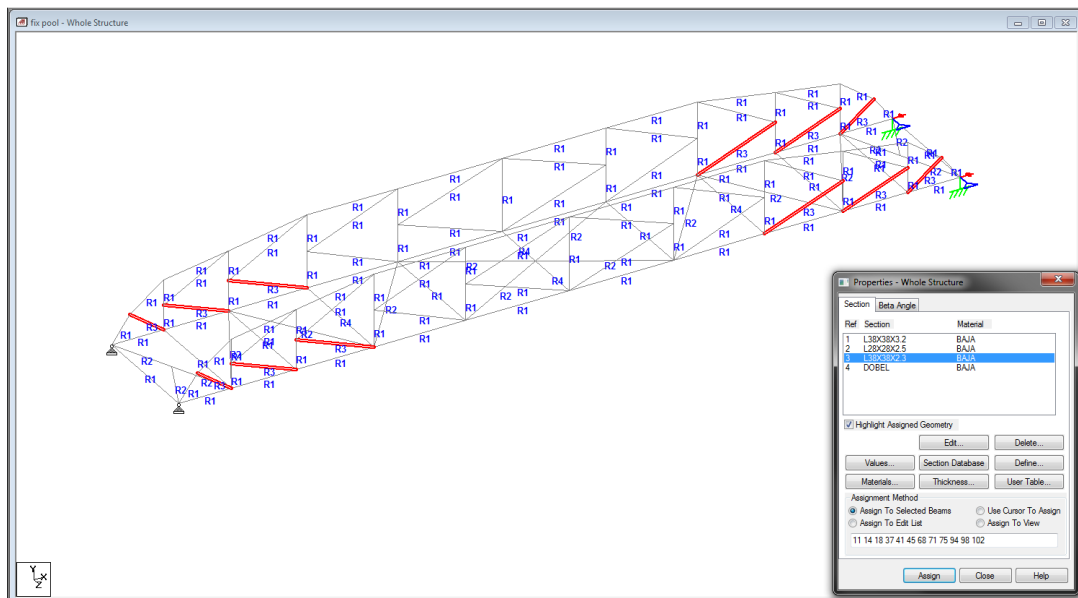
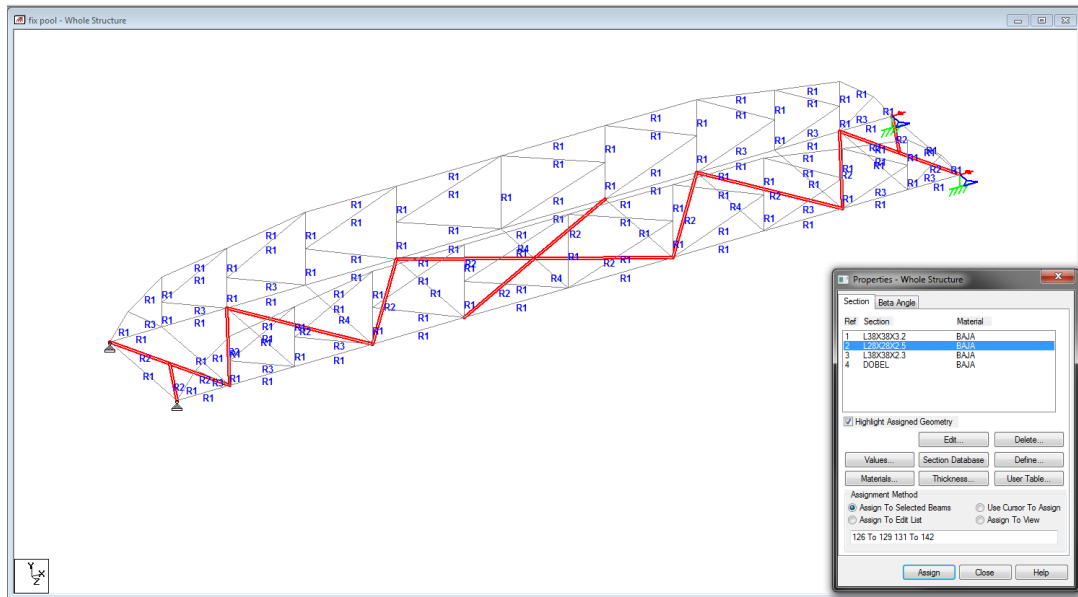
Critical Damping : 0

Shear Modulus (G) : 0 kg/m²

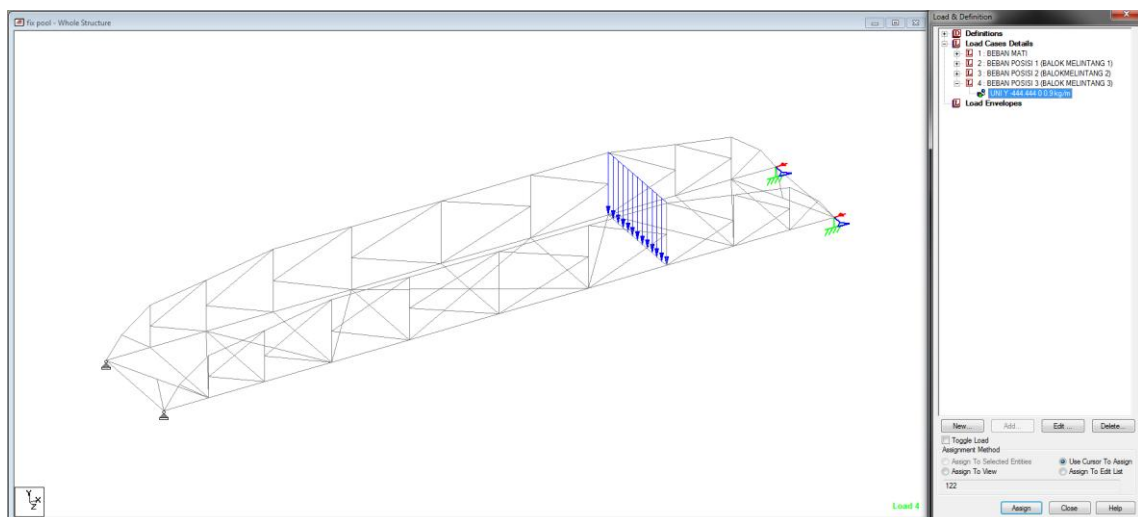
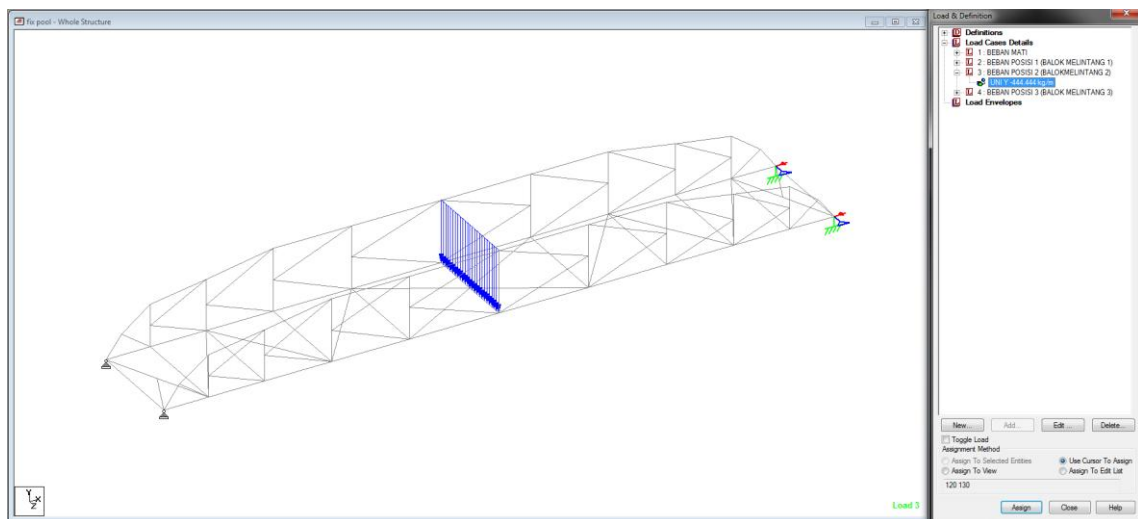
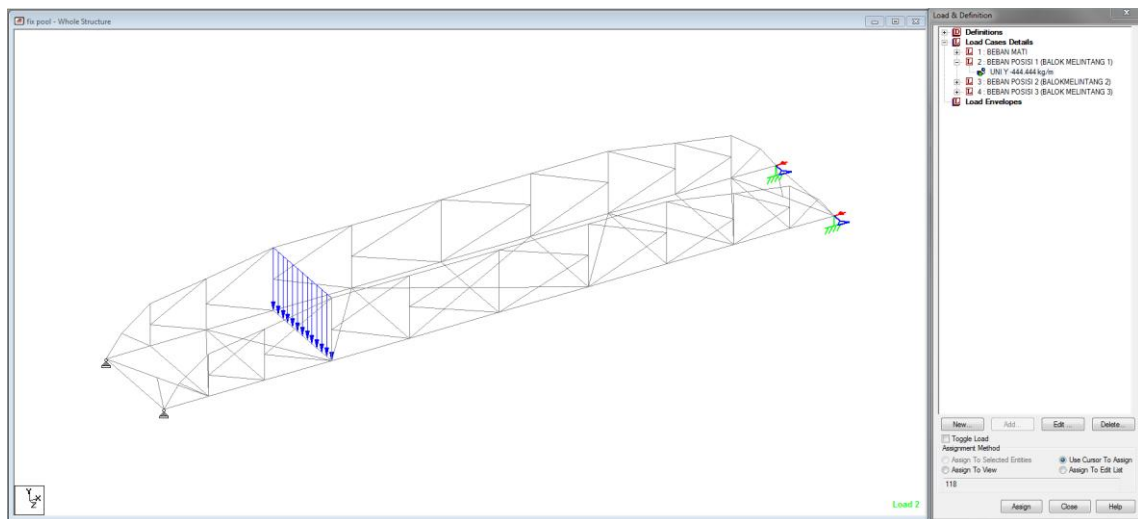
OK Cancel

Penentuan Profil Batang

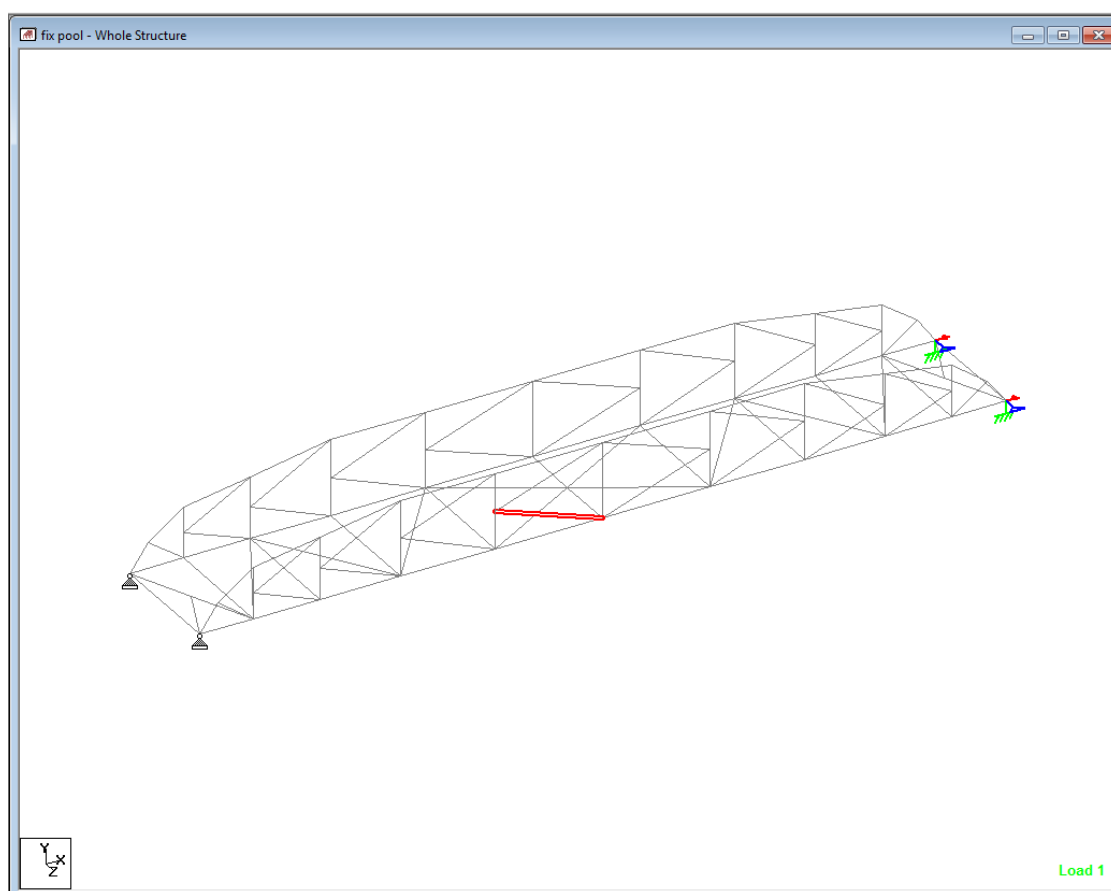




Input Beban



Output Gaya Batang Diagonal



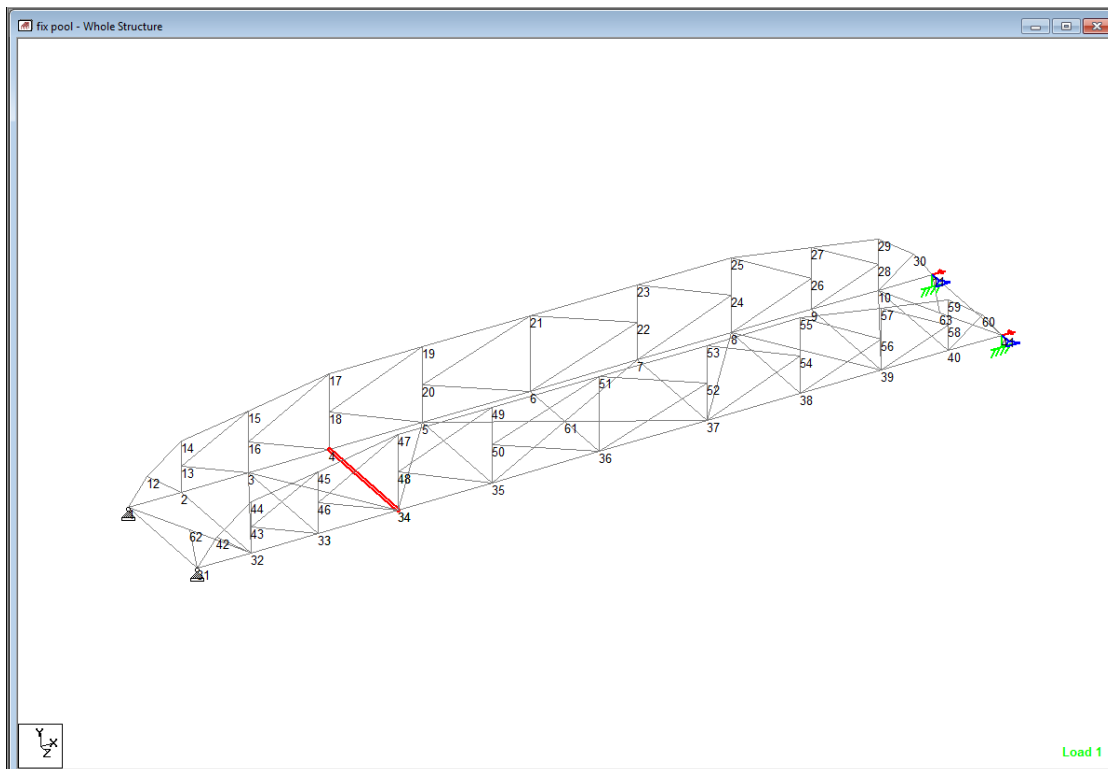
fix pool - Beam End Forces:

Summary Envelope

Beam	L/C	Node	Fx kg	Fy kg	Fz kg	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
83	1 BEBAN MATI	50	-7.679	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000
		36	7.168	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	50	75.998	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		36	-75.998	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOK MELINTANG 2)	50	-149.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		36	149.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	50	-75.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		36	75.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
84	1 BEBAN MATI	51	7.168	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000
		50	-7.679	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	51	-75.998	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		50	75.998	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOK MELINTANG 2)	51	149.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		50	-149.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

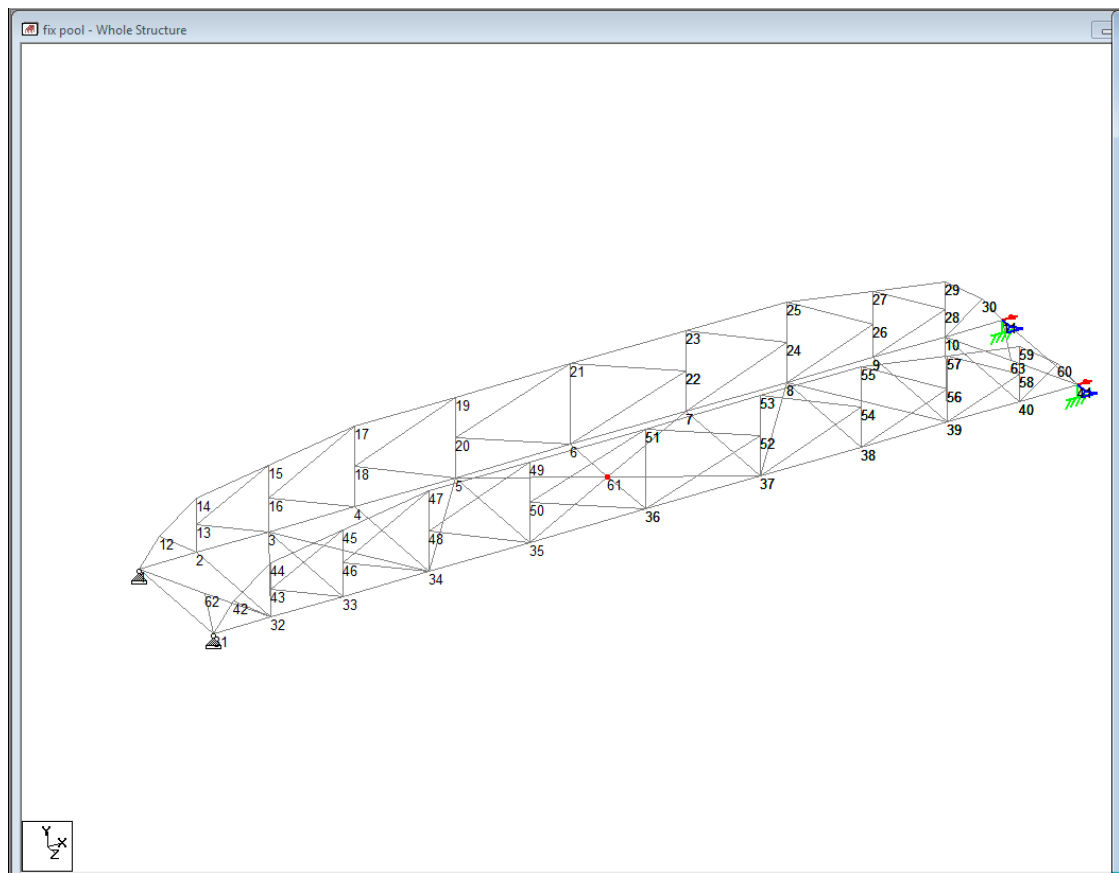
Output Lendutan Balok Melintang

lendutan tengah balok melintang 1 sumbu lokal



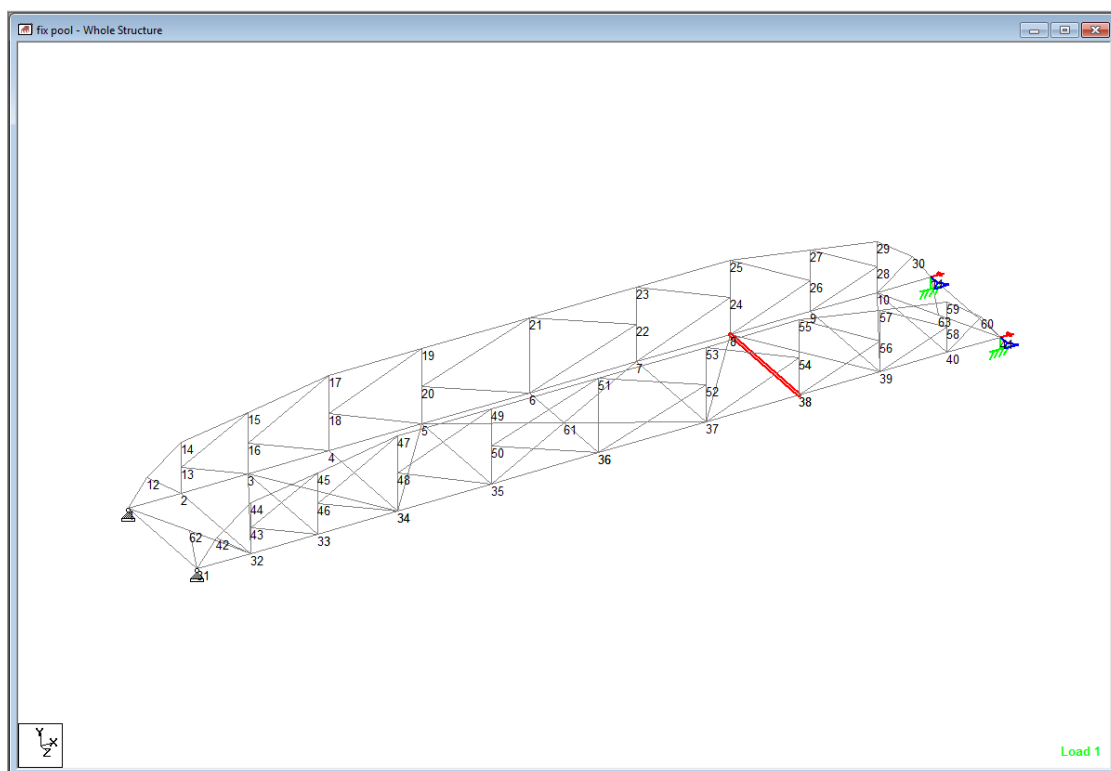
All Relative Displacement / Max Relative Displacements						
Beam	L/C	Dist m	x mm	y mm	z mm	Resultant mm
118	1 BEBAN MATI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.450	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.675	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	-2.183	0.000	2.183
		0.450	0.000	-2.977	0.000	2.977
		0.675	0.000	-2.084	-0.000	2.084
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOK MELINTANG 2)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.450	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.675	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.450	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.675	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
119	1 BEBAN MATI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	-0.099	-0.000	0.099
		0.450	0.000	-0.099	-0.000	0.099
		0.675	0.000	-0.099	-0.000	0.099

lendutan tengah balok melintang 2



60	1 BEBAN MATI	0.045	-0.025	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.182	-0.057	0.000	0.191	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.174	-0.092	0.000	0.197	0.000	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.126	-0.107	0.000	0.165	0.000	0.000	0.000
61	1 BEBAN MATI	0.037	-0.298	0.001	0.301	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.170	-0.777	0.015	0.796	0.000	0.000	-0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.142	-4.214	0.005	4.217	0.000	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.081	-0.778	-0.005	0.782	0.000	0.000	0.000
62	1 BEBAN MATI	-0.000	-0.204	-0.000	0.204	-0.000	0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	-0.000	-0.180	-0.000	0.180	-0.000	0.000	-0.001
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	-0.000	-0.125	-0.000	0.125	-0.000	0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	-0.000	-0.077	-0.000	0.077	-0.000	0.000	-0.000
63	1 BEBAN MATI	0.074	-0.201	0.000	0.214	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.251	-0.076	0.001	0.262	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.285	-0.124	0.001	0.310	0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.250	-0.180	0.001	0.308	0.000	0.000	0.001

lendutan tengah balok melintang 3 sumbu lokal



fix pool - Beam Relative Displacement Detail:

All Relative Displacement / Max Relative Displacements

Beam	L/C	Dist m	x mm	y mm	z mm	Resultant mm
122	1 BEBAN MATI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.450	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.675	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.450	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.675	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOK MELINTANG 2)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.450	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.675	0.000	0.000	-0.000	0.000
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	-2.084	0.000	2.084
		0.450	0.000	-2.977	0.000	2.977
		0.675	0.000	-2.183	0.000	2.183
		0.900	0.000	0.000	0.000	0.000
123	1 BEBAN MATI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.225	0.000	-0.099	0.000	0.099

lendutan ujung balok melintang

fix pool - Node Displacements:

All / Summary /

Node	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Resultant	Rotational		
		X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
2	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000
	1 BEBAN MATI	0.002	-0.065	-0.001	0.065	0.000	-0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.010	-0.275	-0.005	0.275	-0.000	-0.000	0.000
3	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.006	-0.241	-0.003	0.241	-0.000	-0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.003	-0.150	-0.002	0.150	0.000	0.000	-0.000
	1 BEBAN MATI	0.006	-0.136	0.001	0.136	0.000	0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.028	-0.584	0.004	0.584	0.001	0.000	-0.005
4	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.018	-0.519	0.002	0.520	0.000	0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.000	-0.328	0.000	0.328	0.000	0.000	0.000
	1 BEBAN MATI	0.014	-0.196	-0.005	0.197	0.000	0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.068	-0.853	-0.024	0.856	0.011	0.000	0.000
5	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.045	-0.783	-0.017	0.785	-0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.022	-0.505	-0.011	0.506	0.000	0.000	-0.000
	1 BEBAN MATI	0.025	-0.239	0.003	0.240	0.000	0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.131	-0.895	0.023	0.904	0.001	-0.000	0.002
6	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.087	-1.005	0.014	1.009	0.001	0.000	-0.004
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.043	-0.670	0.003	0.671	0.000	0.000	0.000
	1 BEBAN MATI	0.037	-0.244	0.001	0.247	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.180	-0.782	0.015	0.803	-0.000	-0.000	-0.000
7	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.140	-1.103	0.005	1.111	0.011	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.066	-0.783	-0.005	0.786	-0.000	0.000	0.000
	1 BEBAN MATI	0.048	-0.239	0.001	0.244	0.000	-0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.203	-0.670	0.014	0.700	0.000	-0.000	0.000
8	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.193	-1.005	0.006	1.024	0.000	-0.000	0.006
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.115	-0.896	0.006	0.993	0.000	0.000	0.001
	1 BEBAN MATI	0.060	-0.197	0.006	0.206	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.225	-0.506	0.018	0.554	0.000	0.000	0.000
9	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.236	-0.784	0.024	0.819	-0.000	0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.179	-0.856	0.032	0.876	0.010	0.000	-0.000
	1 BEBAN MATI	0.068	-0.136	0.000	0.152	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.238	-0.328	0.005	0.406	0.000	0.000	0.000
10	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.263	-0.520	0.002	0.583	0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.219	-0.585	0.001	0.625	0.000	0.000	0.005
	1 BEBAN MATI	0.071	-0.065	0.002	0.097	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.244	-0.151	0.004	0.287	0.000	0.000	0.000
11	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.275	-0.242	0.006	0.366	-0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.237	-0.276	0.007	0.364	-0.000	0.000	-0.000
	1 BEBAN MATI	0.074	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.001
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.247	0.000	0.000	0.247	0.000	0.000	0.000
12	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.282	0.000	0.000	0.282	0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.248	0.000	0.000	0.248	0.000	0.000	0.001
	1 BEBAN MATI	0.030	-0.025	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.126	-0.105	0.000	0.164	0.000	0.000	0.000

lendutan ujung balok melintang

fix pool - Node Displacements:								
All / Summary /								
Node	L/C	Horizontal		Vertical	Resultant	Rotational		
		X mm	Y mm	Z mm		rX rad	rY rad	rZ rad
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
32	1 BEBAN MATI	0.002	-0.066	-0.001	0.066	-0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.011	-0.278	-0.005	0.278	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.007	-0.244	-0.003	0.244	0.000	0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.004	-0.154	-0.002	0.154	0.000	0.000	-0.000
33	1 BEBAN MATI	0.006	-0.137	0.001	0.137	-0.000	-0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.029	-0.589	0.004	0.590	-0.000	-0.000	-0.005
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.020	-0.524	0.002	0.524	-0.000	-0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.010	-0.333	0.000	0.333	0.000	0.000	-0.000
34	1 BEBAN MATI	0.014	-0.198	-0.005	0.198	-0.000	0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.070	-0.862	-0.024	0.865	-0.010	-0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.047	-0.789	-0.017	0.790	0.000	-0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.024	-0.512	-0.011	0.512	0.000	0.000	-0.000
35	1 BEBAN MATI	0.026	-0.241	0.001	0.242	-0.000	-0.000	-0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.135	-0.903	0.014	0.913	-0.000	-0.000	0.001
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.090	-1.011	0.002	1.015	-0.000	-0.000	-0.006
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.046	-0.676	0.005	0.678	0.000	0.000	0.000
36	1 BEBAN MATI	0.038	-0.245	0.001	0.248	-0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.185	-0.790	0.015	0.811	0.000	0.000	-0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.144	-1.109	0.005	1.118	-0.011	0.000	0.000
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.070	-0.789	-0.005	0.792	0.000	-0.000	0.000
37	1 BEBAN MATI	0.049	-0.240	-0.001	0.245	-0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.209	-0.677	0.006	0.708	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.198	-1.011	-0.006	1.030	-0.001	0.000	0.004
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.120	-0.601	-0.014	0.600	-0.001	0.000	0.002
38	1 BEBAN MATI	0.061	-0.197	0.006	0.206	-0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.230	-0.511	0.018	0.561	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.241	-0.788	0.024	0.825	0.000	0.000	-0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.184	-0.859	0.032	0.879	-0.011	0.000	-0.000
39	1 BEBAN MATI	0.069	-0.137	0.000	0.153	-0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.244	-0.332	0.005	0.412	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.268	-0.523	0.002	0.588	-0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.225	-0.588	0.001	0.629	-0.001	0.000	0.005
40	1 BEBAN MATI	0.073	-0.065	0.002	0.098	-0.000	0.000	0.000
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.250	-0.153	0.004	0.293	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.280	-0.243	0.006	0.371	0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.243	-0.277	0.007	0.369	0.000	0.000	-0.000
41	1 BEBAN MATI	0.075	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.001
	2 BEBAN POSISI 1 (BALOK MELINTANG 1)	0.253	0.000	0.000	0.253	0.000	0.000	0.000
	3 BEBAN POSISI 2 (BALOKMELINTANG 2)	0.287	0.000	0.000	0.287	0.000	0.000	0.001
	4 BEBAN POSISI 3 (BALOK MELINTANG 3)	0.253	0.000	0.000	0.253	0.000	0.000	0.001
42	1 BEBAN MATI	0.030	-0.025	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000