

# TESIS

## PENGUJIAN BEBAN STATIK DAN ANALISA KAPASITAS SISA STRUKTUR PADA JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK

Tesis

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam Mencapai  
Derajat Magister Teknik



Oleh:

**Dedy Novdiansyah**  
NMP: 153120030

Diajukan kepada:

PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU  
2019

TESIS

**PENGUJIAN BEBAN STATIK DAN ANALISA KAPASITAS SISA  
STRUKTUR PADA JEMBRAN MELENGO KABUPATEN SIAK**

Yang dipersiapkan dan diajukan oleh:

**DEDY NOVDIANSYAH**

NMP: 153120030

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ir. Sugeng Wiyono, MMT.

Tanggal : .....ttd.

Pembimbing Pendamping,

Dr. Anas Puri, ST., MT.

Tanggal : .....ttd.

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Tanggal: \_\_\_\_\_



Dr. Anas Puri, ST., MT.

Ketua Program Magister Teknik Sipil  
Universitas Islam Riau

TESIS

**PENGUJIAN BEBAN STATIK DAN ANALISA KAPASITAS SISA  
STRUKTUR PADA JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK**

Yang dipersiapkan dan diajukan oleh:


**DEDY NOVDIANSYAH**

NMP: 153120030

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Ir. Sugeng Wiyono, MMT.

Tanggal : .....ttd. 

Pembimbing Pendamping,

Dr. Anas Puri, ST., MT.

Tanggal : .....ttd. 

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Tanggal: \_\_\_\_\_



Dr. Anas Puri, ST., MT.

Ketua Program Magister Teknik Sipil  
Universitas Islam Riau



**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**  
**PROGRAM PASCASARJANA**  
 Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 Pekanbaru 20284 Riau  
 Telp. (+62) (761) 674717 - 7047726 Fax. (+62) (761) 674717

SURAT KEPUTUSAN DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
 NOMOR : 627 /KPTS/PPS/2019  
 TENTANG PENUNJUKAN PEMBIMBING PENULISAN TESIS MAHASISWA  
 PROGRAM MAGISTER (S2) TEKNIK SIPIL PPS UIR.

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU

1. Bahwa penulisan tesis merupakan tugas akhir dan salah satu syarat bagi mahasiswa dalam menyelesaikan studinya pada Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS – UIR.
2. Bahwa dalam upaya meningkatkan mutu penulisan dan penyelesaian tesis, perlu ditunjuk pembimbing yang akan memberikan bimbingan kepada mahasiswa tersebut.
3. Bahwa nama – nama dosen yang ditetapkan sebagai pembimbing dalam Surat Keputusan ini dipandang mampu dan mempunyai kewenangan akademik dalam melakukan pembimbingan yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

1. Undang – Undang Nomor : 12 Tahun 2012 Tentang : Pendidikan Tinggi
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor : 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 37 Tahun 2009 Tentang Dosen
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 68 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan
5. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor : 63 Tahun 2009 Tentang Sistem Penjamin Mutu Pendidikan
6. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor : 49 Tahun 2014 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi
7. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018
8. Peraturan Universitas Islam Riau Tahun Nomor : 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

**MEMUTUSKAN**

1. Menunjuk

No	Nama	Jabatan Fungsional	Bertugas Sebagai
1	Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT	Guru Besar	Pembimbing I
2	Dr. Anas Puri, ST., MT	Lektor Kepala	Pembimbing II

Untuk Penulisan Tesis Mahasiswa :

Nama : DEDY NOVDIANSYAH  
 N P M : 153120030  
 Program Studi : Teknik Sipil  
 Judul Proposal Tesis : PENGUJIAN BEBAN STATIK DAN ANALISA KAPASITAS SISA STRUKTUR PADA JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK

2. Tugas – tugas pembimbing adalah memberikan bimbingan kepada mahasiswa Program Magister (S2) Teknik Sipil dalam penulisan tesis.
3. Dalam pelaksanaan bimbingan supaya diperhatikan usul dan saran dari forum seminar proposal dan ketentuan penulisan tesis sesuai dengan Buku Pedoman Program Magister (S2) Teknik Sipil.
4. Kepada yang bersangkutan diberikan honorarium, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau.
5. Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan segera ditinjau kembali.

**KUTIPAN** : Disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dapat diketahui dan diindahkan.

DITETAPKAN DI : PEKANBARU  
 PADA TANGGAL : 15 Oktober 2019

Dr. Ir. Salpul Bahri, M.Ec.  
 NPK. 921102199

Disampaikan kepada :  
 1. Wakil Rektor Universitas Islam Riau di Pekanbaru  
 2. Ketua Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS UIR di Pekanbaru.



PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
**PERPUSTAKAAN**

Jalan KH. Nasution No. 113 Gedung B Pascasarjana Universitas Islam Riau  
Marpoyan, Pekanbaru, Riau

**SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT**

Nomor: 373/A-UIR/5-PSTK/PPs/2020

Perpustakaan Program Pascasarjana Universitas Islam Riau menerangkan:

Nama : Dedy Novdiansyah  
NPM : 153120030  
Program Studi : Teknik Sipil

Telah melalui proses pemeriksaan kemiripan karya ilmiah (tesis) menggunakan aplikasi *Turnitin* pada tanggal 7 April 2020 dan dinyatakan memenuhi syarat batas maksimal tingkat kemiripan tidak melebihi 30 % (tiga puluh persen).

Surat keterangan ini digunakan untuk syarat ujian tesis dan pengurusan surat keterangan bebas pustaka.

Mengetahui

Pekanbaru, 7 April 2020

Ketua Prodi. Magister Teknik Sipil

Staf Perpustakaan

  
Dr. Anas Puri, S.T., M.T.

  
Sumardiono, S.IP

Lampiran:

- *Turnitin Originality Report*

Tumitin Originality Report

PENGUJIAN BEBAN STATIK DAN ANALISA KAPASITAS SISA STRUKTUR PADA  
JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK by Dedy Novdiansyah



From Prodi. Teknik Sipil (Tesis 2)

- Processed on 07-Apr-2020 11:56 +08
- ID: 1291636340
- Word Count: 12834

Similarity Index

30%

Similarity by Source

Internet Sources:

28%

Publications:

3%

Student Papers:

12%

sources:

- 1 3% match (Internet from 01-Nov-2018)  
<https://www.scribd.com/document/384119882/Proposal-Jembatan-Pabrik-Gula-PT-SIL-Lampung-13226-pdf>
- 2 3% match (Internet from 09-Apr-2018)  
<http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/193>
- 3 2% match (Internet from 16-Mar-2020)  
<https://www.scribd.com/document/437311178/Report-Structural-Assessment-and-Testing-Jetty-Dumai-rev-Beium-Analisis-pdf>
- 4 2% match (Internet from 19-Sep-2017)  
<http://repository.unhas.ac.id/bitstream/handle/123456789/18782/JURNAL%20fx.pdf?sequence=1>
- 5 2% match (Internet from 14-May-2019)  
<https://id.scribd.com/document/318880874/SNI-1725-2016-Pembebanan-Jembatan-pdf>
- 6 1% match (Internet from 06-Feb-2019)  
<https://docplayer.info/73539659-Jurnal-jalan-jembatan.html>
- 7 1% match (Internet from 09-Apr-2018)  
<http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/158>
- 8 1% match (Internet from 07-Jan-2019)  
<http://eprints.umm.ac.id/42928/3/BAB%20II.pdf>
- 9 1% match (Internet from 16-Feb-2020)  
<https://es.scribd.com/document/366356663/arsif>
- 10 1% match (Internet from 09-Apr-2018)

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, Desember 2019



Dedy Novdiansyah  
NPM: 153120030

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Bersyukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayahNya sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis ini yang berjudul “Pengujian Beban Statik dan Analisa Kapasitas Sisa Struktur Pada Jembatan Melengo Kabupaten Siak”. Penulisan tesis ini untuk memenuhi kurikulum akademis dalam rangka untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau Pekanbaru.

Penulisan tesis ini dilakukan untuk mengetahui perilaku Jembatan Melengo Kabupaten Siak dengan pengujian *soft loading test* terhadap kombinasi pembebanan yang telah ditentukan dalam rangka mengetahui kondisi jembatan, regangan, tegangan, lendutan dan untuk mengetahui kapasitas sisa struktur jembatan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih terdapat kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan, terutama terhadap penulis sendiri.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Pekanbaru, Desember 2019

Dedy Novdiansyah  
NPM: 153120030



## UCAPAN TERIMA KASIH

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Bersyukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayahNya sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis ini yang berjudul “Pengujian Beban Statik dan Analisa Kapasitas Sisa Struktur Pada Jembatan Melengo Kabupaten Siak”. Penulisan tesis ini untuk memenuhi kurikulum akademis dalam rangka untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau Pekanbaru.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini terdapat banyak kesulitan dan kendala yang dihadapi. Untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang sudah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH. MCL. selaku Rektor Universitas Islam Riau beserta staf.
2. Bapak Dr. Saipul Bahri MEc. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau beserta staf.
3. Bapak Dr. Anas Puri, ST. MT, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau beserta staf dan juga selaku Pembimbing Pendamping.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT, selaku Guru Besar Teknik Sipil Universitas Islam Riau sekaligus sebagai dosen pembimbing utama dalam penulisan Tesis ini.

5. Pimpinan dan karyawan PT. Graha Survey Indonesia (GSI) selaku pihak yang membantu pelaksanaan pengujian jembatan.
6. Sdr. Ari Nufizal selaku rekan pengujian dan penelitian serta rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. H. Norminsyah (Bapak) dan Hj. Nurmalian (Mak) yang senantiasa membimbing dan memberi dukungan moril dalam penyelesaian tesis ini.
8. Sri Marlinda, Ananda M. Afzaal Alfayyaz, Ananda Amanda Keisha Adzra Annajla, Ananda Aalisha Adzkiya Shareen, istri dan anak tercinta yang senantiasa mendorong dan mendoakan penulis serta semua pihak yang telah turut berpartisipasi baik secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkannya, terutama kepada penulis sendiri.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Pekanbaru, Desember 2019

Dedy Novdiansyah  
NPM: 153120030

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN 1 .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN 2 .....	iii
PERNYATAAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
ABSTRAK .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penulisan .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Pengujian Terdahulu .....	6
2.2 Keaslian Penelitian .....	14
<b>BAB III LANDASAN TEORI .....</b>	<b>15</b>
3.1 Umum .....	15
3.2 Struktur Jembatan .....	15
3.3 Pengujian Jembatan .....	16
3.4 Pengujian Beban Jembatan .....	18
3.5 Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan .....	19
3.6 Standar Pembebanan untuk Jembatan .....	20

3.7	Pemeriksaan Visual Jembatan .....	21
3.8	Korelasi Regangan ke Tegangan .....	23
3.9	Korelasi Tegangan ke Momen Lentur .....	23
3.10	Berat Sendiri (MS) .....	24
3.11	Kombinasi Pembebanan .....	24
3.12	Beban Lajur "D" (TD) .....	24
3.13	Gaya Rem (TB) .....	25
3.14	Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP) .....	26
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
4.1	Umum .....	27
4.2	Objek dan Lokasi Penelitian .....	27
4.3	Peralatan .....	27
4.3.1	Peralatan Pengukuran Lentutan .....	28
4.3.2	Peralatan Pengukuran Regangan ( <i>Strain Gauge Test</i> ) .....	28
4.4	Tahapan Penelitian .....	29
4.4.1	Persiapan .....	29
4.4.2	Pemeriksaan Visual Jembatan .....	30
4.4.3	Pemasangan Sensor .....	30
4.4.4	Penimbangan Beban Uji .....	32
4.4.5	Pengujian Beban Statis ( <i>Static Load Test</i> ) .....	33
4.4.5.1	Pengukuran Regangan ( <i>Strain Gauge Test</i> ) .....	33
4.4.5.2	Pengukuran Lentutan .....	34
4.4.6	Analisis data dan Analisa Kapasitas Sisa Struktur .....	35
4.4.7	Kesimpulan dan Saran .....	36
4.5	Kombinasi Beban Statis .....	37

<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>42</b>
5.1	Hasil Pemeriksaan Visual	42
5.2	Hasil <i>Static Loading Test</i>	47
5.2.1	Pengukuran Regangan Statis	47
5.2.2	Korelasi Regangan ke Tegangan	53
5.2.3	Korelasi Tegangan ke Momen Lentur	57
5.2.4	Pengukuran Lendutan	60
5.2.4.1	Pengukuran Lendutan (Hasil Pembacaan <i>Waterpass</i> dan LVDT)	60
5.2.4.2	Pengukuran <i>Displacement</i> (Hasil Pembacaan <i>Total Station</i> )	64
5.3	Evaluasi Pengujian Pembebanan Statis pada Jembatan	66
5.3.1	Nilai Tinjauan Pengujian Pembebanan Statis	66
5.3.2	Komparasi Analisa Struktur dan Hasil Pengujian Pembebanan Statis	68
5.3.3	Tinjauan Pengujian Pembebanan Statis Berdasarkan Hasil Komparasi	72
5.4	Analisa Kapasitas Sisa Jembatan	73
5.4.1	Data Material Struktur	74
5.4.2	Pembebanan Jembatan	74
5.4.3	Evaluasi Kapasitas Sisa Struktur	75
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>77</b>
6.1	Kesimpulan	77
6.2	Saran	78
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>79</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3.1	Kriteria penilaian terhadap Struktur (BMS, 1993) .....	21
4.1	Titik Pemasangan <i>Strain Gauge</i> .....	31
4.2	Muatan Truk Pengujian Jembatan .....	32
4.3	Perhitungan Jumlah Truk Uji .....	37
4.4	Kombinasi Pengujian Pembebanan Statis dan Posisi Pembebanan .....	38
5.1	Kesimpulan Nilai Kondisi Elemen Struktur Jembatan .....	46
5.2	Nilai Regangan Aktual Struktur Jembatan Melengo .....	49
5.3	Regangan Maksimum pada setiap <i>Strain Gauge</i> .....	53
5.4	Nilai Tegangan Aktual Struktur Jembatan Melengo .....	54
5.5	Tegangan Maksimum pada setiap <i>Strain Gauge</i> .....	55
5.6	Kesimpulan Tegangan Maksimum pada setiap Elemen Struktur Jembatan .....	56
5.7	Korelasi Nilai Tegangan ke Momen Lentur .....	57
5.8	Rekapitulasi Hasil Reaksi Kapasitas Aktual .....	58
5.9	Nilai Pembacaan Lendutan <i>Edge Beam</i> pada sisi Kanan Jembatan Arah Truk Masuk .....	60
5.10	Hasil Pembacaan Lendutan <i>Edge Beam</i> pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk) .....	61
5.11	Hasil Pembacaan Lendutan <i>Edge Beam</i> Berdasarkan LVDT .....	63
5.12	Hasil Pembacaan Lendutan <i>Arch Beam</i> pada sisi Kanan Jembatan (Arah Masuk Truk) .....	64
5.13	Hasil Pembacaan Lendutan <i>Arch Beam</i> pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk) .....	64
5.14	Hasil Pengukuran <i>Displacement</i> pada <i>Arch Beam</i> pada sisi Kanan Jembatan (Arah Masuk Truk) .....	65

5.15	Hasil Pengukuran <i>Displacement</i> pada <i>Arch Beam</i> pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk) .....	65
5.16	Nilai Maksimum Tinjauan Pada Jembatan Struktur Jembatan Melengo Berdasarkan Pengujian .....	66
5.17	Nilai Tegangan dan Regangan Maksimum Tinjauan Pada Jembatan Struktur Jembatan Melengo Berdasarkan Pengujian .....	67
5.18	Komparasi dan Evaluasi Lendutan, <i>Displacement</i> dan Tegangan Struktur Jembatan Melengo .....	73
5.19	Kapasitas Sisa Setiap Elemen Struktur Jembatan Melengo Dengan Tinjauan Lendutan .....	75
5.20	Kapasitas Sisa Setiap Elemen Struktur Jembatan Melengo Tinjauan Lendutan dengan Cara Interpolasi .....	76



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1	Tampak Depan dan Atas Jembatan Sungai Melengo. ....2
3.1	Beban Garis ( <i>Knife Edge Load</i> ). ....24
4.1	<i>Total Station or Waterpass</i> .....28
4.2	<i>Data Acquisition Instrument dan Strain Gauge</i> . ....29
4.3	Lokasi Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan.....30
4.4	Lokasi Pemasangan Sensor Pada Jembatan.....31
4.5	Pelaksanaan Pemasangan Sensor Pada Jembatan.....32
4.6	Lokasi Titik Pemeriksaan Lendut Jembatan.....35
4.7	Tahapan Penelitian Yang Dilakukan .....36
4.8	Skema Pembebanan Kombinasi 1.....39
4.9	Skema Pembebanan Kombinasi 2.....39
4.10	Skema Pembebanan Kombinasi 3.....40
4.11	Skema Pembebanan Kombinasi 1 ( <i>Unloading</i> ).....40
4.12	Proses Kombinasi Pembebanan Statis .....41
5.1	Kondisi lapangan <i>Abutment</i> .....42
5.2	Kondisi lapangan <i>Arch Beam</i> .....43
5.3	Kondisi lapangan <i>Edge Beam</i> .....43
5.4	Kondisi lapangan <i>Hanger</i> .....44
5.5	Kondisi lapangan <i>Cross Beam</i> .....44
5.6	Kondisi lapangan <i>Slab</i> .....45
5.7	Kondisi lapangan <i>Railing</i> .....45
5.8	Kondisi Pipa Cucuran .....46
5.9	Contoh Grafik <i>Time Domain</i> Regangan Statis.....48



5.10	Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tengah Bentang <i>Edge Beam</i> .....	50
5.11	Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tengah Bentang <i>Arch Beam</i> .....	50
5.12	Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tumpuan <i>Edge Beam</i> .....	51
5.13	Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tumpuan <i>Arch Beam</i> .....	51
5.14	Grafik Hasil Regangan Aktual pada <i>Cross Beam</i> .....	52
5.15	Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tengah Bentang Pelat <i>Joint</i> .....	52
5.16	Hasil Diagram Reaksi Gaya Momen dan Axial .....	58
5.17	Posisi Nilai Momen 0 (nol) pada <i>Arch Beam</i> .....	60
5.18	Posisi Nilai Momen 0 (nol) pada <i>Edge Beam</i> .....	60
5.19	Grafik Perilaku Lendutan <i>Edge Beam</i> pada sisi Kanan Jembatan (Arah Masuk Truk).....	62
5.20	Grafik Perilaku Lendutan <i>Edge Beam</i> pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk).....	63
5.21	Data Penampang Elemen Struktur <i>Arch Beam</i> dan <i>Edge Beam</i> Sesuai Asbuil Drawing .....	69
5.22	Data Penampang Elemen Struktur <i>Hanger Beam</i> dan <i>Cross Beam</i> Sesuai Asbuil Drawing .....	70
5.23	Pemodelan Beban dan Grafik Momen Pembebanan Kombinasi 1 .....	71
5.24	Pemodelan Beban dan Grafik Momen Pembebanan Kombinasi 2 .....	71
5.25	Pemodelan Beban dan Grafik Momen Pembebanan Kombinasi 3 .....	72
5.26	Contoh Hasil Lendutan Berdasarkan Analisa Struktur .....	73
5.27	Pemodelan Beban Lajur .....	76

# PENGUJIAN BEBAN STATIK DAN ANALISA KAPASITAS SISA STRUKTUR PADA JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK

Dedy Novdiansyah  
NPM. 153120030

## ABSTRAK

Jembatan Melengo Kabupaten Siak adalah jembatan yang berlokasi di Kampung Tengah Kecamatan Mempura. Jembatan ini bertipe struktur Rangka Baja *Arch Taper Box* dengan panjang bentang 75m dan lebar bentang 8.5m, dibangun dengan tujuan utama untuk penunjang Kawasan pariwisata di Kabupaten Siak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku jembatan berdasarkan hasil pengujian pembebanan statis dengan hasil analisa struktur jembatan serta mengetahui Kapasitas Sisa Jembatan itu sendiri. Pengukuran regangan, tegangan dan lendutan pada jembatan akibat konfigurasi beban truk dianalisis untuk mengevaluasi perilaku distribusi beban kendaraan yang melewati jembatan tersebut. Pembebanan statis dilakukan dengan menempatkan beberapa truk yang terukur dimensi dan bebannya sesuai dengan kombinasi pembebanan yang ditetapkan. Penelitian ini juga untuk mendapatkan besarnya momen lapangan yang terjadi pada tengah bentang dan momen pada tumpuan jembatan. Berdasarkan hasil uji beban statis pada struktur jembatan melengo didapat kesimpulan (1) Tegangan aktual maksimum terjadi sebesar  $-31,6 \text{ Mpa}$  saat kombinasi pembebanan 3 truk (beban 45 Ton) pada struktur *Edge Beam* area tumpuan lebih kecil dari nilai tegangan leleh ijin baja sebesar  $305,02 \text{ Mpa}$ . Lendutan pada jembatan berdasarkan pengujian bertambah sebesar  $-11,81 \text{ mm}$  (pada bacaan LVDT) sedangkan lendutan ijin adalah  $66000/800 = 82,50 \text{ mm}$ , maka lendutan yang terjadi pada saat pengujian masih dalam kategori aman, namun jika lendutan saat pengujian ditambahkan dengan lendutan yang telah terjadi sebelum pengujian (rata-rata  $118,5 \text{ mm}$ ) menjadi  $130,31 \text{ mm}$  sehingga lendutan yang terjadi melebihi lendutan ijin yang berlaku. (2) Perilaku Jembatan Melengo berdasarkan hasil analisis terhadap pengamatan antara lain, tegangan aktual sebesar  $-31,6 \text{ Mpa}$  lebih besar dari tegangan analisis sebesar  $-12,64 \text{ Mpa}$ , lendutan aktual sebesar  $-11,81 \text{ mm}$  lebih besar dari lendutan analisis sebesar  $-5,33 \text{ Mpa}$  dan *displacement* aktual sebesar  $15 \text{ mm}$  lebih besar dari *displacement* analisis sebesar  $3,98 \text{ mm}$ . Tinjauan Tegangan, Lendutan dan *Displacement* lebih besar dibandingkan dengan nilai Tegangan, Lendutan dan *Displacement* berdasarkan tinjauan Analisa struktur, hal ini menunjukkan bahwa kondisi jembatan kurang baik dan (3) Kapasitas Sisa dari struktur jembatan adalah sebesar  $122 \text{ Ton}$  atau  $43\%$  dari beban lajur sebesar  $284 \text{ Ton}$ .

**Kata Kunci :** *melengo, static loading test, tegangan, regangan, lendutan, kapasitas sisa, jembatan*

# STATIC LOADING TEST AND ANALYSIS OF RESIDUAL STRUCTURAL CAPACITY IN THE MELENGO BRIDGE OF SIAK REGENCY

Dedy Novdiansyah  
NPM. 153120030

## ABSTRACT

*Melengo Bridge Siak Regency is a bridge located in Kampung Tengah District of Mempura. This bridge type of Arch Taper Box Steel Frame structure with a span length of 75m and span width of 8.5m, was built with the main purpose to support the tourism area in Siak Regency. This research was conducted to determine the behavior of the bridge based on the results of static loading testing with the analysis of the bridge structure and to determine the remaining capacity of the bridge itself. Measurement of strain, stress and deflection on the bridge due to the configuration of the truck load is analyzed to evaluate the behavior of the load distribution of vehicles passing through the bridge. Static loading is done by placing several trucks whose dimensions and loads are measured according to the specified loading combination. This research is also to get the magnitude of the moment of the field that occurs in the middle of the spans and moments on the bridge support. Based on the static load test results on the Melengo bridge structure, it can be concluded that (1) the maximum actual stress occurs is -31.6 MPa when the combination of loading 3 trucks (45 tons load) on the Edge Beam structure, the footing area is smaller than the value of the steel permit fatigue stress 305.02 MPa. Deflection on the bridge based on testing increased by -11.81 mm (on reading LVDT) while permit deflection was  $66000/800 = 82.50$  mm, then deflection that occurred during testing was still in the safe category, but if deflection during testing was added with deflection which has occurred before testing (an average of 118.5 mm) to 130.31 mm so that the deflection that occurs exceeds the deflection of the applicable license. (2) Melengo Bridge Behavior based on the results of analysis of observations, among others, the actual stress of -31.6 Mpa is greater than the analysis voltage of -12.64 Mpa, the actual deflection of -11.81 mm is greater than the analysis deflection of -5, 33 MPa and the actual displacement of 15 mm is greater than the analysis displacement of 3.98 mm. Overview of Stress, Deflection and Displacement is greater than the value of Stress, Deflection and Displacement based on the analysis of structure analysis, this shows that the condition of the bridge is not good and (3) the remaining capacity of the bridge structure is 122 tons or 43% of the lane load of 284 Ton.*

**Keywords:** *melengo, static loading test, stress, strain, deflection, residual capacity, bridge.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

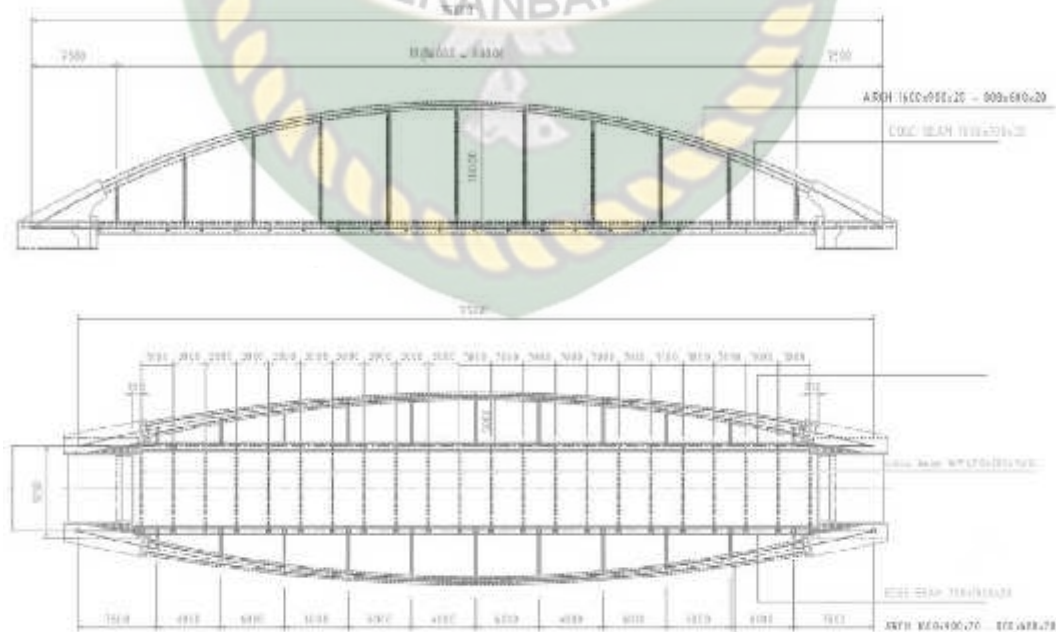
### 1.1 Latar Belakang

Jembatan Melengo atau sering juga disebut jembatan kupu-kupu adalah jembatan yang terletak di Kampung Tengah, Kecamatan Mempura, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Jembatan ini diresmikan oleh Bupati Siak yang diberi nama Jembatan Datuk Pesisir yang direncanakan untuk muatan ringan dan paling besar hanya kendaraan dengan kapasitas maksimal 30 ton. Jembatan ini bertipe struktur Rangka Baja *Arch Taper Box* dengan panjang bentang 75m dan lebar bentang 8.5m.

Jembatan Melengo adalah jembatan yang direncanakan dengan tujuan untuk menunjang kawasan pariwisata dan secara geografis posisi jembatan ini berhadapan langsung dengan Istana Siak Sri Indrapura dan Masjid Raya Syahbuddin Siak yang dipisahkan oleh Sungai Siak. Konsep pembangunan yang mengkombinasikan antara tradisional dan *modern* menjadi dasar lahirnya pemikiran untuk membangun jembatan ini. Secara teknis, jembatan ini berbeda dari jembatan pada umumnya, memiliki baja pelengkung menyerupai kupu-kupu, sehingga tidak sedikit masyarakat menyebutnya dan bahkan lebih dikenal dengan jembatan kupu-kupu. Jembatan ini perletakannya adalah jepit-jepit pada kedua sisi jembatan sehingga jembatan ini dapat juga dikategorikan sebagai jembatan yang *non standart* atau jarang ditemukan pada daerah lain.

Pada proses pelaksanaan pembangunan, jembatan ini seluruh sambungannya menggunakan las tanpa baut dan telah terjadi lendutan yang cukup besar setelah pelaksanaan pekerjaan selesai. Hal ini dapat dikatakan tidak lazim jika dibandingkan dengan jembatan pada umumnya, sehingga hal ini sering menimbulkan kekhawatiran terhadap kekuatan jembatan itu sendiri. Selain itu, jembatan ini juga mengalami perubahan desain rangka pelengkung jembatan yang awalnya direncanakan lingkaran berubah menjadi kotak saat pelaksanaan pembangunan.

Berdasarkan pertimbangan tersebut di atas, penulis tertarik melakukan kajian terhadap perilaku jembatan dengan pengujian bebas static (*loading test*) dan menganalisa kapasitas sisa struktur jembatan dengan cara melakukan uji pembebanan sesuai dengan ketentuan pengujian yang berlaku.



Gambar 1.1 Tampak Depan dan Atas Jembatan Sungai Melengo.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku jembatan jika ditinjau dari tegangan dan lendutan yang terjadi?
2. Bagaimana hasil evaluasi terhadap perilaku jembatan berdasarkan hasil analisa struktur terhadap hasil pengujian?
3. Berapakah Kapasitas Sisa Jembatan dari beban lajur?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tegangan dan lendutan yang terjadi saat jembatan dibebani beban statis.
2. Untuk mengetahui hasil perilaku jembatan berdasarkan hasil analisa struktur terhadap pengamatan.
3. Untuk mengetahui Kapasitas Sisa Jembatan terhadap beban lajur jembatan.

## 1.4 Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Manfaat bagi Ilmu Pengetahuan

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi ilmu pengetahuan, khususnya ilmu teknik sipil, terutama mengenai pembebanan statis dan analisa kapasitas sisa struktur jembatan rangka baja serta diharapkan dapat memberikan informasi perilaku struktur jembatan terhadap beban statis.

### 1.4.2 Manfaat Bagi Pembangunan Negara

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pembangunan negara, terutama dalam aspek pekerjaan sipil, dan lebih khususnya lagi pada pekerjaan pembangunan jembatan rangka baja. Sehubungan penelitian ini pengujian beban statis dan analisis kapasitas sisa struktur jembatan, maka manfaat penelitian adalah untuk memberikan informasi perilaku struktur jembatan terhadap beban statis yang diharapkan memberikan rekomendasi rencana pemeliharaan jembatan baik rutin maupun berkala serta mengetahui kapasitas sisa pada jembatan.

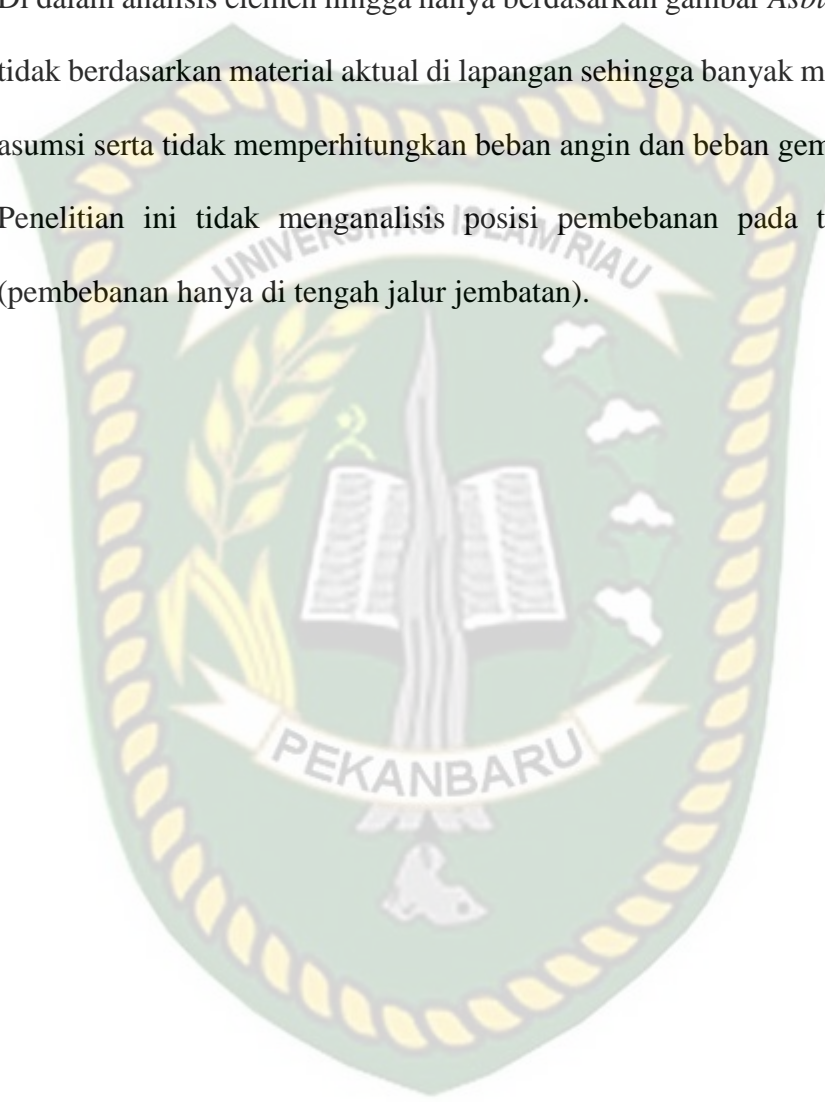
### 1.5 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan dan tetap pada masalah yang terjadi, maka perlu dilakukan pembatasan terhadap penelitian ini, yakni:

1. Penelitian ini tidak meneliti perilaku jembatan dengan pembebanan dinamis.
2. Penelitian ini tidak memberikan rekomendasi terhadap hal-hal yang akan dilakukan berdasarkan hasil penelitian yang dihasilkan.
3. Penelitian hanya untuk mengetahui perilaku jembatan pada bangunan atas, tidak pada bangunan bawah seperti *abutment*, pondasi dan lain sebagainya.
4. Hasil penelitian yang dilakukan hanya sebatas pada kombinasi pembebanan saat pengujian di lapangan.
5. Penelitian ini tidak meneliti sambungan las pada jembatan.
6. Perhitungan kapasitas sisa jembatan belum mempertimbangkan lendutan awal yang terjadi pada jembatan. Perlu dilakukan evaluasi terhadap desain

jembatan dengan mempertimbangkan lendutan yang sudah terjadi pada jembatan sebelum dilakukan pengujian pembebanan.

7. Di dalam analisis elemen hingga hanya berdasarkan gambar *Asbuilt Drawing* tidak berdasarkan material aktual di lapangan sehingga banyak menggunakan asumsi serta tidak memperhitungkan beban angin dan beban gempa.
8. Penelitian ini tidak menganalisis posisi pembebanan pada tengah lajur (pembebanan hanya di tengah jalur jembatan).





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengujian terdahulu

Penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengujian pembebanan dan penentuan kapasitas sisa jembatan telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu baik perorangan maupun kelompok antara lain Setiati dan Surviyanto (2013), Hardiansyah, Cahya Hidayat (2014), Winarputro, Gatot (2014), Alifyanti, M.W. Tjaronge, Rita (2015) dan Widi, Gatot (2017). Selain penelitian-penelitian tersebut dapat juga dijadikan landasan teori untuk pengujian ini antara lain laporan pemeriksaan statis dan dinamis Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Jawa Barat (2017) dan laporan hasil uji beban Jembatan Siak II Kota Pekanbaru (2018).

Setiati dan Surviyanto (2013), meneliti tentang analisis dan hasil evaluasi struktur jembatan sederhana gelagar beton bertulang akibat pembebanan kendaraan berat (truk) pada jembatan Sinapeul. Judul penelitian yang dilakukan adalah Analisis Uji Beban Kendaraan Terhadap Jembatan Integral Penuh. Pengukuran regangan dan lendutan untuk berbagai lokasi dalam satu bentang akibat konfigurasi beban truk dianalisis untuk mengevaluasi perilaku distribusi beban kendaraan yang melewati jembatan tersebut. Pembebanan statis dilakukan dengan menempatkan beberapa kendaraan truk yang terukur dimensi dan beban dari setiap rodanya untuk melihat besarnya momen lapangan yang terjadi pada tengah bentang dan momen pada ujung jembatan. Lendutan dinamis diperoleh dengan melakukan bacaan

lendutan akibat beban yang bergerak. Beban bergerak yang dimaksud adalah beban truk yang bergerak maupun beban lalu-lintas bebas. Berdasarkan hasil uji beban statis dan dinamis pada struktur jembatan Sinapeul, akibat pembebanan konfigurasi simetris, tegangan maksimum yang terjadi pada baja tulangan sebesar 33,8 MPa dengan beban 4 truk. Sedangkan akibat pembebanan konfigurasi asimetris, tegangan maksimum yang terjadi pada tulangan sebesar 28 MPa dengan beban 3 truk, maka dapat disimpulkan tegangan terjadi masih kecil dari tegangan leleh baja tulangan 267 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi di permukaan beton serat bawah untuk kombinasi simetris sebesar 1,22 MPa dan untuk kombinasi asimetris sebesar 1,84 MPa, tegangan tersebut masih kecil bila dibandingkan dengan tegangan izin tarik beton sebesar 4 MPa. Akibat pembebanan konfigurasi simetris, lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang sebesar 1,31 mm dengan beban 4 truk. Sedangkan akibat pembebanan konfigurasi asimetris, lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang sebesar 0,66 mm dengan beban 3 truk, nilai tersebut masih kecil bila dibandingkan dengan nilai persyaratan lendutan izin ( $L/800$ ) sebesar 25 mm. Dari hasil pengukuran regangan dinamis pada baja tulangan, memiliki faktor beban dinamis (*Dynamic Load Allowance-DLA*) sebesar 1,25 nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan faktor beban dinamis pembebanan jembatan sebesar 1,4. Pergerakan horizontal maksimum jembatan sebesar 2,5 mm dan selisih perbandingan antara perpindahan antara abutment 1 arah Sumedang dengan timbunan ringan dan abutment 2 arah Subang dengan timbunan tanah biasa rotasi maksimum sebesar 0,000483 rad (0,028 derajat). Dapat disimpulkan bahwa beberapa lokasi pengamatan menunjukkan perilaku distribusi

beban yang sama. Sebagaimana ditentukan dari regangan yang diukur dalam gelagar, distribusi sebenarnya dari beban yang diterapkan dalam setiap lokasi pengamatan secara umum sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi AASHTO.

Hardiansyah, Cahya Hidayat (2014), telah melakukan penelitian nilai daya dukung ultimit tiang tunggal dengan judul penelitian Perbandingan Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal Berdasarkan Hasil Pengujian Beban Dinamik dan Statik. Pada penelitian ini dilakukan kajian kesesuaian nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan oleh pengujian dinamik dibandingkan dengan hasil pengujian statik. Evaluasi pada 22 titik data pengujian menggunakan analisa korelasi menunjukkan bahwa nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamik rata-rata memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan hasil pengujian statik, dan dari interpretasi nilai daya dukung ultimit dari data pengujian statik menggunakan metode Davisson, Chin dan Mazurkiewicz didapat nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamis mempunyai kesesuaian tertinggi dengan nilai daya dukung ultimit hasil interpretasi menggunakan metode Davisson, dimana nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.92 dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.8554, kesesuaian terendah apabila dibandingkan dengan metode Chin dimana nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.86 dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.7742. Berdasarkan hasil evaluasi nilai daya dukung hasil uji dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai daya dukung hasil uji statik, hal ini bisa dilihat dari nilai rata-rata koefisien korelasi ( $r$ ) yang didapat sebesar 0,90, sedangkan tingkat

kesesuaian yang dihasilkan sebesar 87% atau 13 % lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengujian statik.

Winarputro, Gatot (2014), telah melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Kapasitas Jembatan Sementara Tipe Modular Baja Dengan Metode Uji Pembebanan. Hasil penelitian yang dilakukan menyajikan pemeriksaan pada struktur jembatan sementara berupa *Fly Over Bridge (FOB)* tipe modular baja dengan menggunakan uji pembebanan statis dan dinamis. Uji statis dilakukan dengan memberikan beban kendaraan gandar majemuk pada jembatan dengan variasi muatan mulai 240 ton hingga 300 ton. Berdasarkan uji beban statik, diperoleh hasil bahwa pada kondisi pembebanan maksimum, jembatan masih berperilaku elastis linier. Tegangan maksimum yang terjadi pada serat bawah baja modular masih berada dibawah tegangan baja yang diijinkan. Terdapat lendutan sisa sebesar 71 mm pada tengah bentang jembatan oleh karena pemampatan pada *segmen modular* baja atau *insertion link* pada sambungan. Evaluasi terhadap uji beban dinamis menunjukkan bahwa dari riwayat defleksi akibat beban berjalan, diperoleh Faktor Beban Dinamis (FBD) rata-rata sebesar 1,03 dan masih sesuai dengan persyaratan perencanaan. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah diperlukan sambungan melintang di antara segmen sehingga jembatan akan berdeformasi dalam satu kesatuan.

Alifyanti, M.W. Tjaronge, Rita (2015), telah melakukan penelitian pada Jembatan Molintogupo dengan judul Evaluasi Kondisi Eksisting Struktur Atas Jembatan Bailey Molintogupo, Kabupaten Bone Bolango, Gorontalo yang merupakan jembatan rangka baja berupa tipe jembatan *Panel Bailey* yang

umumnya digunakan sebagai jembatan sementara/darurat yang bersifat *portable*. Namun, jika dilihat kondisi jembatan darurat saat ini tidak memenuhi kriteria struktur yang baik, sehingga mempengaruhi aspek kekuatan dan keamanan dalam menjalankan fungsinya. Untuk menghindari terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan maka dianggap perlu untuk melakukan studi penelitian terhadap kondisi *eksisting* jembatan rangka baja tersebut sehingga dapat mengetahui kelayakan Jembatan *Bailey* Molintogupo dalam memikul beban *eksisting*. Dalam memudahkan analisa struktur maka digunakan aplikasi komputer rekayasa struktur berbasis *finite element* yaitu SAP 2000. Pembebanan yang dilakukan terhadap struktur disesuaikan dengan peraturan pembebanan yang terbaru untuk menyesuaikan kondisi desain jembatan dengan standar terbaru yang berlaku digunakan yaitu RSNI T-02-2005, sedangkan untuk mengetahui batasan nilai lendutan yang terjadi dianalisa berdasarkan SK.SNI T-03-2005 tentang “Perencanaan struktur baja untuk jembatan”. Kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diketahui elemen struktur atas jembatan *eksisting* secara umum masih dapat memikul beban yang bekerja akibat pembebanan 2 mobil penumpang. Namun beberapa gelagar melintang memperlihatkan nilai lendutan pada masing-masing bentang (1,4 mm – 37 mm) yang lebih kecil dari pada lendutan izin L/800 (15,25 mm – 43,75 mm) untuk masing-masing bentang. Ikatan angin (*diagonal bracing*) pada ujung bentang jembatan dan beberapa profil pada dinding jembatan mengalami *over stress*, dimana rasio tegangan  $> 0,95$ .

Widi, Gatot (2017), telah melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Beban Layan Jembatan Apung Pejalan Kaki Tipe Pelengkung Rangka Baja

Berdasarkan Uji Pembebanan. Objek pengujian ini adalah Jembatan apung yang memanfaatkan daya apung ponton sebagai fondasi. Puslitbang Jalan dan Jembatan pada tahun 2015 mengembangkan jembatan apung tipe pelengkung rangka baja untuk pejalan kaki dengan menggunakan ponton apung sebagai fondasi. Tulisan ini mengevaluasi kondisi dan perilaku jembatan yang sesungguhnya terhadap beban, dan dilakukan penyesuaian model struktur sesuai tahapan perencanaan. Uji pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban uji sebanyak 120 buah zak semen ukuran 40 kg, setara dengan 30% kapasitas rencana. Parameter yang diamati adalah tegangan elemen jembatan. Hasil uji pembebanan mengungkap respons jembatan sesungguhnya terhadap beban, kemudian dilakukan beberapa pemodelan, khususnya untuk tumpuan jembatan. Model struktur yang paling sesuai dengan kondisi sesungguhnya yaitu model struktur jembatan dengan ponton dimodelkan sebagai elemen solid, tumpuan ponton berupa pegas dengan koefisien 342,98 kN/m, frekuensi natural 2,20 Hz, yang sama dengan nilai aktual, dan kondisi pergerakan ponton pada arah lateral satu ponton terkekang sedangkan satu ponton lainnya bebas. Dengan model tersebut, berdasarkan kriteria keamanan struktur dan aspek kenyamanan yang diperoleh dari 2,2 Hz, jembatan apung ini layak untuk difungsikan sebagai jembatan pejalan kaki dengan beban layan setara 125% beban uji statis yaitu 1,10 kN/m<sup>2</sup>.

Pengujian statis Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Jawa Barat Tipe BGC-Bentang 54,6m dan 105m (2017). Dalam pengujian ini digunakan truk tipe 3 axle dengan total 10 truk terhadap bentang 54.6 m dan 105 m dengan masing-masing 5 (lima) tahapan kombinasi dengan jumlah truk maksimal 6 unit pada bentang 54,6m

dan 10 unit pada bentang 105 m dengan hasil (1) **Bentang 54,6 m**, kombinasi 1 didapat hasil pergeseran Kolom sebesar 1 mm dan Lendutan sebesar -4.97 mm; kombinasi 2 didapat hasil pergeseran kolom sebesar 3 mm dan Lendutan sebesar -8.06 mm; kombinasi 3 didapat hasil pergeseran kolom sebesar 5 mm dan Lendutan sebesar -9.41 mm. Semua kolom bergeser ke arah Timur (ke Arah Kota Baru Parahyangan) dan (2) **Bentang 105 m**, kombinasi 1 didapat hasil pergeseran kolom sebesar 1 mm dan Lendutan sebesar -52.94 mm ; kombinasi 2 didapat hasil pergeseran kolom sebesar 3 mm dan Lendutan sebesar -60.05 mm; kombinasi 3 didapat hasil pergeseran kolom sebesar 6 mm dan Lendutan sebesar -75.03 mm. Semua kolom bergeser ke arah Timur (ke Arah Kota Baru Parahyangan).

Pengujian pada Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan juga dilakukan pada bentang Tipe *PCI Girder*-36.9m yang menggunakan truk tipe 3 axle dengan total 6 truk dengan 5 (lima) tahapan kombinasi dengan beban aktual terpakai maksimal 2785,94 Kn pada kombinasi pembebanan 3. Dalam pengujian kombinasi 3 adalah hasil terbesar pembacaan regangan aktual dengan nilai maksimum regangan yang terjadi sebesar 103 *mikrostrain* di *Girder*. Dalam hukum *hooke* menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang linear atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Korelasi ini dipakai untuk menentukan tegangan aktual dan dari hasil perhitungan rumus dapat diketahui nilai  $E_c = 33167,5 \text{ Mpa}$ . Nilai inilah yang akan dikorelasikan terhadap regangan aktual dari hasil lapangan. Hasil pembacaan tegangan tersebut kemudian dikerucutkan menjadi nilai maksimum tiap titik uji. Dalam pengujian kombinasi 3 adalah hasil terbesar tegangan aktual dengan nilai maksimum tegangan yang terjadi sebesar 3,4 *Mpa* di *Girder*. Dalam pengujian

ini juga dilakukan pengukuran lendutan yang menghasilkan data pembacaan *total station* yang sudah terkoreksi tiap kombinasi diawali dengan tanpa beban sampai kombinasi 3 + Unloading. Nilai tersebut kemudian diolah untuk menentukan nilai lendutan tiap kombinasi. Peninjauan yang diambil adalah elevasinya. Hasil tersebut kemudian diolah dan diambil nilai aktual lendutan dengan metode *crossing*. Untuk lokasi pengukuran berdasarkan titik pengujian yang diambil. Dari Hasil pengukuran dan perhitungan diketahui nilai maksimum yang terjadi adalah pada kombinasi 3 dengan nilai maksimum lendutan untuk pengujian pada *jembatan 4 Tipe PCI Girder* =  $-28.3 \text{ mm}$ .

Laporan Uji Beban Jembatan Siak II Kota Pekanbaru (PJM Riau, 2019), Laporan kedua pada Jembatan Siak II Pekanbaru yang dibangun dengan struktur atas *Box Gider Balanced Cantilever* dan Pilar Beton pada struktur bawah memiliki bentang 200 meter ( $50 + 100 + 50$ ) dengan lebar 11,90 meter, pondasi menggunakan tiang pancang baja diameter 60 centimeter dengan jumlah lintasan 2 jalur 2 arah, pengujian dilakukan untuk mendapatkan respon yang sesungguhnya dari struktur jembatan terhadap beban aktual mengetahui kekuatan struktur dan perilaku getaran dan beban terhadap rencana. Konfigurasi beban uji truk pada jembatan Siak II untuk bentang menerus mengacu pada RSNI T-02-2005 memiliki bentang ekuivalen LE sehingga beban UDL 100% per meter lari untuk panjang  $(2,75 \times 2) = 5,5$  meter adalah  $3,4 \text{ ton/m}$  dan beban UDL 50% =  $0,615 \times 0,5 = 0,31 \text{ ton/m}^2$  dan per meter lari untuk panjang  $(7-5,5) = 1,5$  meter adalah  $0,465 \text{ ton/m}^2$ , untuk beban keseluruhan adalah  $3,4 + 0,465 = 3,9 \text{ ton/m}$  dengan panjang bentang 81,64 meter maka besar beban UDL adalah sebesar  $3,9 \times 81,64 = 316 \text{ ton}$  dan digunakan 10



mobil truk/jalur untuk satu bentang. Hasil pengujian Jembatan Siak II adalah terjadi lendutan maksimal dengan beban 10 buah truk sisi main span sebesar 12 mm lebih kecil dari rencana sebesar 12,3 mm dan dapat disimpulkan bahwa kondisi jembatan memiliki kekuatan yang cukup.

## 2.2 Keaslian Penelitian

Secara teknis jembatan ini seluruh sambungannya menggunakan las tanpa baut, perletakan jembatan jepit-jepit dan sudah terdapat lendutan sebelum pengujian dilakukan, sehingga perlu mengetahui perilaku jembatan jika dilakukan pembeban statis dan kapasitas sisa jembatan. Perubahan design rangka pelengkung jembatan, dari yang awalnya lingkaran berubah menjadi kotak, penggunaan stifner untuk memperkuat atau pada saat dilakukan pencelupan menambah lapisan anti karat tidak berubah bentuk. Perubahan tulangan lantai dan tebal pelat lantai, akibat penggunaan plat deck yang lebih tebal dari rencana. Selanjutnya penggunaan baut ke sambungan yang menggunakan baja mutu sedang, sehingga pada saat pengencangan baut dengan menggunakan kunci momen ada yang putus, hal ini mengakibatkan dilakukannya penanganan khusus dalam menyambung baut. Pada saat pengecoran pelat lantai, terjadi penurunan lantai jembatan bagian tengah (terjadi lendutan) sehingga lantai yang ditengah lebih rendah dari yang di pinggir, hal ini tidak biasa terjadi pada lantai jembatan pada umumnya. Hal-hal tersebut di atas membuat jembatan ini berbeda dengan jembatan pada umumnya, sehingga pengujian pembebanannya penulis anggap penting untuk dilakukan.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

Jembatan secara umum memiliki pengertian 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. Jenis jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe struktur sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan jaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sampai pada konstruksi yang mutakhir.

#### 3.2 Struktur Jembatan

##### 3.2.1 Bangunan atas jembatan (*Superstructure*)

Bangunan atas jembatan terdiri dari:

*Girder* atau gelagar adalah balok yang membentang secara memanjang maupun melintang diantara dua penyangga (*abutment* atau *pier*) jembatan yang berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban yang bekerja dari atas jembatan dan meneruskannya ke bagian struktur bawah jembatan.

*Deck* atau pelat lantai jembatan adalah seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk lalu lintas kendaraan dan merupakan struktur pertama jembatan yang menerima beban dan meneruskan beban ke gelagar utama.

### 3.2.2 Bangunan bawah jembatan (*Substructure*)

Bangunan atas jembatan terdiri dari:

*Abutment* adalah bangunan bawah tumpuan struktur jembatan yang terletak pada kedua ujung pilar–pilar jembatan, berfungsi se bagai pemikul seluruh beban hidup (angin, kendaraan, dll) dan beban mati (beban gelagar, dll) pada jembatan dan meneruskan ke pondasi.

**Pondasi** adalah bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya *differential settlement* pada sistem strukturnya.

### 3.3 Pengujian Jembatan

Pengujian jembatan memiliki tujuan untuk menentukan kapasitas atau kemampuan dari suatu jembatan dalam menerima beban. Pada pelaksanaannya, ada 3 (tiga) jenis pengujian jembatan yang sering digunakan di lapangan yang akan dijelaskan pada subbab berikut ini.

#### 1. Uji Beban Statis

Uji beban statis dilakukan bila data *as built drawing* tidak ditemukan atau tidak sesuai dengan kondisi lapangan (terdapat cacat yang tidak dihitung jumlahnya menyebar). Ada dua jenis pembebanan pada struktur atas atau bangunan atas di lapangan, antara lain:

- a. *Proof Load Testing*, dilakukan dengan pembebanan sampai pada target beban hidup rencana/standar. *Test* dilakukan untuk mendapatkan *operating rating*

dengan beban truk “T” (RSNI T-02-2005 sebagai *legal load* dan faktor beban  $2,17 \cdot (1+I)$ , sedang *inventory rating* didapatkan dengan membagi *operating rating* itu dengan 1,67.

- b. *Diagnostic Load Testing*, Uji pembebanan ini dilakukan apabila berdasarkan pada hasil inspeksi dan analisis teoritik jembatan tidak kuat menahan beban rencana/standar, tidak tersedia beban rencana/standar untuk melakukan cara *proof load testing*, berdasarkan pengalaman pada jembatan serupa sebenarnya jembatan itu mampu menahan beban rencana, tetapi diminta melakukan *rating factor* untuk beban yang lain, dan jembatan tidak dapat ditutup sepenuhnya seperti halnya pada *proof load testing*.

## 2. Uji Beban Dinamik

Pengujian beban dinamik jembatan dilakukan dengan cara melewati beban dalam hal ini kendaraan dari satu sisi ke sisi lain dari jembatan. Sama halnya dengan uji statis, uji dinamik jembatan juga dibantu dengan alat uji atau sensor untuk mendapatkan hasil pengujian. Biasanya pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya getaran yang terjadi pada jembatan.

## 3. Uji Beban dengan Metode Terintegrasi

Pengujian beban jembatan dengan metode terintegrasi sudah banyak dilakukan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan model yang sesuai atau dengan kata lain pengujian ini bertujuan untuk mengkalibrasi model. Model yang dimaksud adalah jembatan dimana pemodelan dalam metode ini dibantu oleh program. Metode ini sendiri merupakan gabungan dari pengujian yang dilakukan dilapangan dengan pemodelan yang dilakukan pada program.

### 3.4 Pengujian Beban Jembatan

Pengujian beban yang direkomendasikan oleh AASHTO (2000) dimaksudkan untuk mengevaluasi respon struktur jembatan. Tujuan melakukan pengujian beban pada jembatan yang ada adalah untuk mengevaluasi respon struktural jembatan tanpa menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, pengujian beban biasanya dilakukan dengan cara tidak merusak (*non destructive*). Tujuan dari jenis pengujian beban adalah membandingkan respon struktur jembatan di bawah beban uji dengan respon teoritis NCHRP-234 (TRB 1998). Pengujian beban dikategorikan sebagai tes diagnostik dan pengujian bukti. Metode pengujian diagnostik bertujuan untuk menganalisis efek pembebanan *diferensial* (yaitu geser, gaya aksial, defleksi, dan lain lain) yang terjadi dalam berbagai elemen struktur akibat beban bekerja (*Phares* 2005).

Pengujian beban bertujuan untuk mengetahui konfigurasi beban yang menyebabkan komponen struktural mendekati batas elastis (Hubo 2012). Berdasarkan penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh Hubo pada jembatan gelagar beton *Parkview* diperoleh bahwa :

1. Tegangan akibat beban hidup pada serat atas gelagar beton relatif lebih kecil dari tegangan akibat beban mati;
2. Pada lokasi tertentu, tegangan pada serat atas gelagar lebih kecil dari tegangan yang berasal dari pengukuran lendutan;
3. Pembacaan tegangan dan regangan yang berasal dari sensor sangat dipengaruhi perbedaan temperatur pada jembatan.

Beberapa hal yang ditentukan dalam pengujian beban biasanya mencakup penentuan tujuan pengujian, konfigurasi beban, pemilihan dan penempatan instrumentasi, penerapan teknik analisis dan evaluasi yang tepat, dan perbandingan hasil tes dengan hasil analisis (Kleinhans, D.D. 2007). Pengujian beban dilaksanakan secara luas untuk mengevaluasi respon jembatan secara kasus per kasus disamping untuk mengevaluasi material dan struktur elemen jembatan (Hou and Lynch 2006).

### **3.5 Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan**

Direktorat Jenderal Bina Marga telah menyusun pedoman konstruksi dan bangunan Nomor 024/BM/2011 tentang Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan yang merupakan salah satu aspek penting untuk menunjang keberhasilan pembinaan dibidang Jembatan. Nilai Kapasitas adalah kelebihan beban yang masih dapat ditahan oleh jembatan pada kondisi harian (*Inventory*) dan kondisi khusus (*operating*), yang didapat dari metoda analitik (*posting load*) atau uji beban lapangan (*load testing*).

Penentuan nilai sisa kapasitas jembatan diperlukan karena adanya kekhawatiran terhadap tingkat keamanan struktur atau bagian-bagiannya akibat faktor-faktor tertentu, antara lain:

1. Kesalahan dalam perencanaan dan atau pelaksanaan
2. Penurunan kinerja material struktur akibat pelapukan (karena usia maupun serangan zat kimia tertentu)

3. Penurunan kinerja struktur akibat adanya kerusakan karena bencana (kebakaran, gempa, dll)
4. Perubahan peruntukan struktur (tetap atau sementara) sehingga beban menjadi lebih besar dari pada beban rencana
5. Berlakunya standar baru
6. Hasil pemeriksaan jembatan yang memberikan nilai kondisi  $\geq 3$  dari rentang nilai antara 0 (bagus sekali) s/d 5 (buruk sekali)

### 3.6 Standar Pembebanan untuk Jembatan

Berdasarkan RSNI T-02-2005 standar pembebanan memuat beberapa penyesuaian berikut :

1. Gaya rem dan gaya sentrifugal yang semula mengikuti *Austroads*, dikembalikan ke peraturan Nr. 12/1970 dan tata cara SNI 03-1725-1989 yang sesuai dengan AASHTO
2. Faktor beban ultimit dari “beban jembatan” BMS-1992 direduksi dari nilai 2 ke 1,8 untuk beban hidup yang sesuai AASHTO
3. Kenaikan beban hidup layak atau normal (KBL) meliputi :
  - 1) Beban T truk desain dari 45 ton menjadi 50 ton
  - 2) Beban roda desain dari 10 ton menjadi 11,25 ton
  - 3) Beban D terbagi rata (BTR) dari  $q = 8 \text{ kPa}$  menjadi  $9 \text{ kPa}$
  - 4) Beban D garis terpusat (BGT) dari  $p = 44 \text{ kN/m}$  menjadi  $49 \text{ kN/m}$
4. Beban mati ultimit (KBU) diambil pada tingkat nominal (factor beban = 1) dalam pengecekan stabilitas geser dan guling dari pondasi langsung

### 3.7 Pemeriksaan Visual Jembatan

Pemeriksaan visual terhadap jembatan perlu dilakukan sebelum pengujian pembebanan pada struktur jembatan. Pemeriksaan visual yang dilakukan sesuai ketentuan dalam *Bright Management System* (BMS), 1993 dengan tujuan untuk memperoleh data dan informasi terkait keadaan jembatan di lapangan. Hasil tersebut diharapkan dapat memperoleh jenis-jenis kerusakan yang terjadi pada jembatan. Pemeriksaan visual dilakukan dengan menggunakan indera penglihatan pada setiap elemen jembatan yang setiap jenis kerusakan dan posisi kerusakan. Penilaian elemen untuk yang rusak terdiri atas dari pertanyaan-pertanyaan yang berjumlah lima mengenai kerusakan yang ada. Pertanyaan-pertanyaan tersebut berkaitan dengan hal-hal berikut:

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| Struktur              | - apakah struktur dalam keadaan berbahaya atau tidak   |
| Kerusakan             | - sampai manakah tingkat kerusakan yang telah dicapai karena kerusakan tersebut, parah atau ringan   |
| Perkembangan (Volume) | - apakah kerusakan tersebut sudah atau belum meluas, artinya apakah kerusakan tersebut terdapat pada kurang atau lebih dari 50% dari panjang, luas atau volume elemen. |
| Fungsi                | - apakah elemen tersebut masih berfungsi   |
| Pengaruh              | - apakah elemen yang rusak mempunyai dampak yang serius terhadap elemen yang lain atau arus lalu lintas  |



Setiap elemen struktur yang diperiksa diberikan nilai 1 atau 0 sesuai dengan kerusakan yang ada berdasarkan kriteria-kriteria sesuai standar yang berlaku sebagaimana Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Kriteria penilaian terhadap Struktur (BMS, 1993)

Nilai	Kriteria	Nilai
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak berbahaya	0
Kerusakan (R)	Dicapai sampai kerusakan parah	1
	Dicapai sampai kerusakan ringan	0
Perkembangan (K)	meluas > 50 % atau lebih mempengaruhi kerusakan	1
	Tidak meluas-kurang dari 50 % atau tidak lebih mempengaruhi kerusakan	0
Fungsi (F)	Elemen tidak berfungsi	1
	Elemen berfungsi	0
Pengaruh (P)	Dipengaruhi elemen lain	1
	Tidak dipengaruhi elemen lain	0
<b>NILAI KONDISI (NK)</b>	<b>NK = S + R + K + F + P</b>	<b>0 - 5</b>

**Nilai Kondisi**, Sistem penilaian kondisi elemen atau jembatan sebagai berikut:

- 0 Elemen/jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan
- 1 Elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeriksaan rutin
- 2 Elemen/jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan berkala
- 3 Elemen/jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan tindakan secepatnya

- 4 Elemen/jembatan dalam kondisi kritis
- 5 Elemen/jembatan tidak berfungsi atau runtuh

### 3.8 Korelasi Regangan ke Tegangan

Hukum *hooke* menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang linear atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Korelasi ini dipakai untuk menentukan tegangan aktual. Berikut adalah rumus yang dipakai untuk menentukan tegangan:

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (3.1)$$

Dimana :

$\epsilon$  = Regangan (*mikrostrain*) ;  $E$  = Modulus Elastisitas (*Mpa*) ;  $\sigma$  = Tegangan (*Mpa*)

Berdasarkan dokumen, diperoleh nilai modulus elastisitas baja sebagai berikut:

$E_s$  (Modulus Elastisitas Baja) = 200.000 *Mpa*

$f_y$  (Tegangan leleh baja) = 305,02 *Mpa* (rata-rata berdasarkan hasil uji tarik baja profil yang digunakan).

### 3.9 Korelasi Tegangan ke Momen Lentur

Nilai tegangan dapat dikorelasikan ke nilai momen lentur dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3.2)$$

Dimana:  $\sigma$  = Tegangan (*Mpa*)

$M$  = Momen lentur (kNm)

$y$  = Jarak dari sumbu netral ke tegangan normal

$I$  = Momen Inersia

### 3.10 Berat Sendiri (MS)

Berdasarkan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

### 3.11 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban sesuai peraturan Standar pembebanan jembatan SNI-1725-2016. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan dalam kondisi *service* (keadaan batas layan) sebagai pembanding terhadap hasil pengujian pembebanan statis. Berikut adalah kombinasi beban yang akan dipakai dalam analisis struktur jembatan ini.

#### Service Limit State (SLS)

$$\text{Service} = 1 \text{ DL} + 1 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} \quad (3.3)$$

Keterangan:

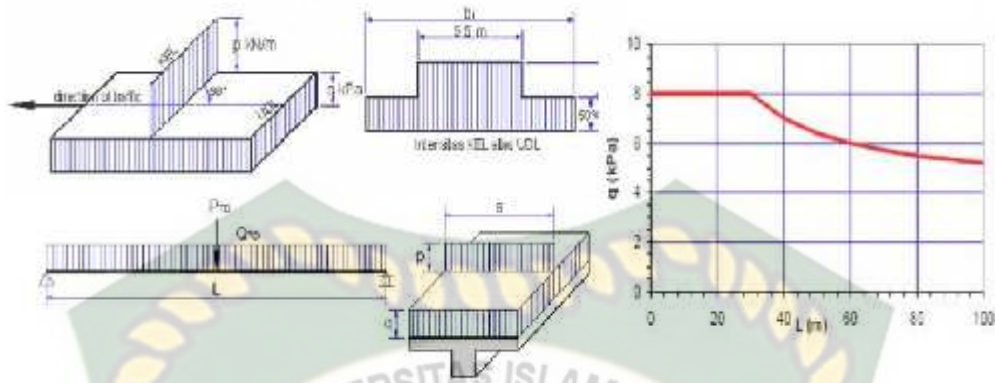
DL = Beban Mati

SDL = Beban Mati Tambahan

LL = Beban Hidup

### 3.12 Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (*Uniformly Distributed Load*), UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*), KEL seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Beban Garis (*Knife Edge Load*).

UDL mempunyai intensitas  $q$  ( $kPa$ ) yang besarnya tergantung pada panjang total  $L$  yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = 9.0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 9.0 * (0.5 + 15 / L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m} \text{ (Dipakai Pada Jembatan Ini)} \quad (3.4)$$

### 3.13 Gaya Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Berikut adalah perhitungan gaya rem untuk pembebanan jembatan. Berdasarkan SNI 1725:2016 beban rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR. Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah *longitudinal* dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani

secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur berlaku untuk menghitung gaya rem.

### **3.14 Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)**

SNI 1725:2016 Pasal 8.9 semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Dalam rangka mendapatkan hasil yang maksimal serta kelancaran selama proses penelitian, sangat diperlukan perencanaan yang baik termasuk di dalamnya menentukan langkah-langkah penelitian yang akan dijadikan pedoman dalam pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan, seperti objek penelitian, lokasi penelitian dan permasalahan yang terjadi, teknik pengumpulan data serta tahapan penelitian yang akan dilaksanakan.

#### **4.2 Objek dan Lokasi Penelitian**

Objek penelitian ini adalah Jembatan Melengo Kabupaten Siak yang berlokasi di Kampung Tengah Kecamatan Mempura Kabupaten Siak Provinsi Riau. Pada saat pelaksanaan pembangunan, jembatan ini seluruh sambungannya menggunakan las tanpa baut dan telah terjadi lendutan yang cukup besar setelah pelaksanaan pekerjaan selesai, sehingga hal ini sering menimbulkan kekhawatiran terhadap kekuatan jembatan.

#### **4.3 Peralatan**

Pengujian Jembatan dengan pembebanan statis diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas maksimal jembatan. Peninjauan pengujian ini adalah berupa hasil pembacaan regangan dan lendutan maksimal pada masing-masing kombinasi pembebanan sesuai dengan perencanaan pengujian yang telah ditentukan sebelumnya.

#### 4.1.1 Peralatan Pengukuran Lendutan

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran lendutan sebagai berikut:

- 1) Form pengujian
- 2) Alat tulis
- 3) Tabung Nivo
- 4) Kalkulator
- 5) 1 set *Total Station* dan *Waterpass*
- 6) Tripot
- 7) Payung
- 8) 2 buah Jalon
- 9) Pilo
- 10) Rol Meter
- 11) *Midas Civil2019 v1.1*
- 12) Dll



Gambar 4.1 *Total Station* dan *Waterpass*.

#### 4.1.2 Peralatan Pengukuran Regangan (*Strain Gauge Test*)

Pengukuran Regangan (*Strain Gauge Test*) menggunakan beberapa peralatan antara lain sebagai berikut:

- 1) Form pengujian
- 2) Alat tulis
- 3) 1 Set *Data Acquisition Instrument*
- 4) *Strain Gauge*
- 5) Payung
- 6) *Cable Connector Strain Gauge*

- 7) 1 Set Toolbox
- 8) Pилоx
- 9) Rol meter
- 10) *Midas Civil2019 v1.1*
- 11) Dll



Gambar 4.2 Data Acquisition Instrument dan Strain Gauge.

#### 4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan urutan pelaksanaan penelitian mulai dari persiapan, pelaksanaan, pengolahan data, evaluasi hingga berakhirnya seluruh rangkaian kegiatan penelitian. Dalam penelitian ini tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

##### 4.4.1 Persiapan

Untuk memulai penelitian ini agar berjalan sesuai dengan yang diinginkan, perlu dilakukan persiapan yang matang dimulai dari mencari rencana pelaksana yang membantu melakukan pengujian, penyediaan peralatan-peralatan yang dibutuhkan, termasuk pengumpulan data-data baik data primer yang merupakan data yang langsung diperoleh dari tempat penelitian maupun data sekunder yang merupakan data dari hasil penelitian sebelumnya, gambar terlaksana, hasil uji material dan data pendukung lainnya.

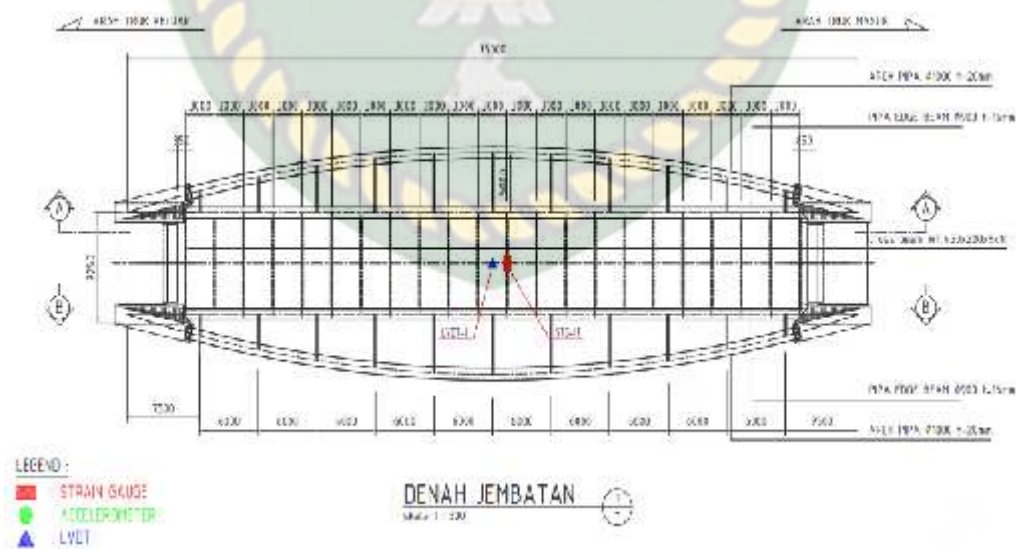


#### 4.4.2 Pemeriksaan Visual Jembatan

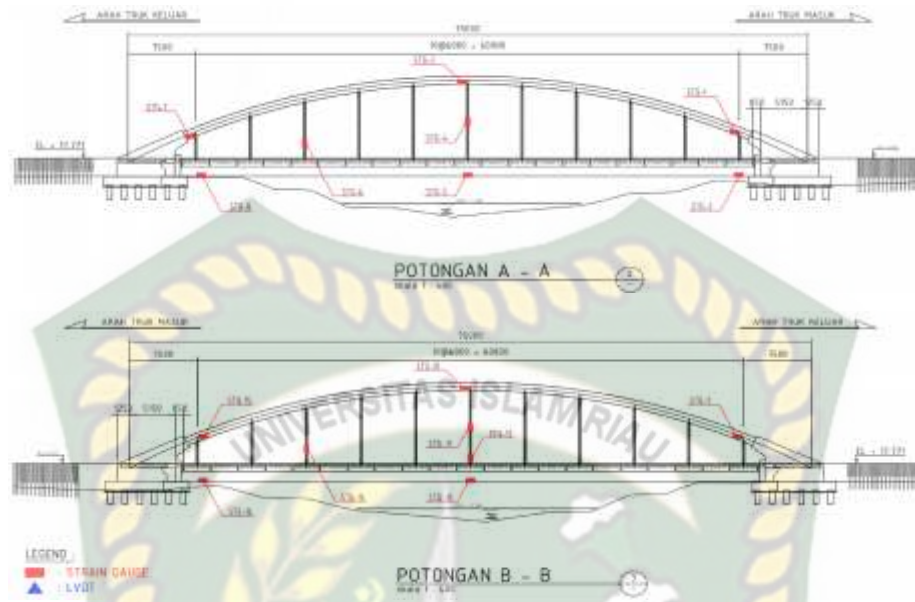
Pemeriksaan visual jembatan sangat perlu dilakukan sebelum pengujian pembebanan dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi setiap struktur utama dan komponen jembatan dalam sistem informasi manajemen jembatan. Apabila jembatan dalam kondisi baik, maka pengujian pembebanan dapat dilakukan dan apabila terdapat kerusakan struktur, maka harus terlebih dahulu dilakukan perbaikan terhadap kerusakan yang terjadi.

#### 4.4.3 Pemasangan Sensor

Pemasangan sensor ditempatkan pada posisi yang diperkirakan memiliki nilai reaksi yang paling besar atau lokasi yang menjadi pertimbangan peneliti. Di jembatan ini pemasangan *strain gauge* ditetapkan pada *Arch Beam*, *Edge Beam* dan *Hanger* dengan posisi pemasangan sesuai pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Lokasi Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan.



Gambar 4.4 Lokasi Pemasangan Sensor Pada Jembatan.

Sesuai Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat diuraikan titik pemasangan *strain gauge* pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Titik Pemasangan *Strain Gauge*

No	Nomor <i>Strain Gauge</i>	Jenis Struktur
1	STG-1	<i>Arch Beam</i> ujung kanan
2	STG-2	<i>Edge Baem</i> ujung kanan
3	STG-3	<i>Arch Beam</i> tengah kanan
4	STG-4	<i>Hangar</i> tengah kanan
5	STG-5	<i>Edge Beam</i> tengah kanan
6	STG-6	<i>Hangar</i> ke-3 kanan
7	STG-7	<i>Arch Beam</i> pangkal kanan
8	STG-8	<i>Edge Baem</i> pangkal kanan
9	STG-9	<i>Edge Baem</i> pangkal kiri
10	STG-10	<i>Arch Beam</i> tengah kiri
11	STG-11	<i>Hangar</i> tengah kiri
12	STG-12	<i>Hangar</i> tengah kiri (sambungan bawah)
13	STG-13	<i>Edge Baem</i> tengah kiri
14	STG-14	<i>Hangar</i> ke-9 kiri
15	STG-15	<i>Arch Beam</i> ujung kiri
16	STG-16	<i>Edge Baem</i> ujung kiri
17	STG-17	<i>Cross Beam</i> tengah

Gambat 4.5 di bawah ini adalah gambar pada saat pemasangan sensor dan dihubungkan dengan laptop.



Gambar 4.5 Pelaksanaan Pemasangan Sensor Pada Jembatan.

#### 4.4.4 Penimbangan Beban Uji

Beban yang digunakan adalah truk dan harus diberi muatan dan ditimbang sesuai dengan berat yang telah direncanakanm, bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penggunaan beban pada saat pengujian dilakukan. Dalam pengujian ini truk yang digunakan adalah type 3 *axle* dengan total 4 truk dan detail berat truk aktual seperti pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Muatan Truk Pengujian Jembatan

No Truck	Plat Nomor	TONNASE	
		KG	KN
1	BM 8671 MU	15090	147,882
2	B 9732 NYU	15170	148,666
3	BM 8672 MU	15170	148,666
4	BM 8673 MU	15120	148,176

#### 4.4.5 Pengujian Beban Statis (*Static Load Test*)

Pengujian Jembatan dengan pembebanan statis diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas maksimal Jembatan. Peninjauan pengujian ini adalah berupa hasil pembacaan regangan dan lendutan maksimal pada masing-masing kombinasi pembebanan sesuai dengan perencanaan penelitian.

##### 4.4.5.1 Pengukuran Regangan (*Strain Gauge Test*)

Pengukuran ini dilakukan guna mengetahui seberapa besar regangan yang terjadi pada jembatan untuk setiap kombinasi pembebanan. Pengukuran menggunakan *Strain Gauge* dan alat *Data acquisition* yang dihubungkan dengan data *logger* tersambung perangkat komputer menggunakan *software*. Pengukuran regangan dilakukan sebanyak dua kali dengan tambahan satu kali yaitu pengukuran pada tiap sisi jembatan dan penambahan titik-titik yang dianggap mengalami regangan besar. Pelaksanaan pengukuran regangan dilakukan secara tidak bersamaan dengan pengukuran lendutan dikarenakan kondisi lapangan yang tidak memungkinkan.

#### 1. Metode Pelaksanaan, Metode Pelaksanaan Pengukuran Regangan Sebagai

Berikut :

- 1) Persiapan Pengujian, persiapan pengujian dilakukan sebagai berikut:
  - 1.1 *Mapping* persiapan sesuai kombinasi pembebanan yang akan digunakan.
  - 1.2 Menentukan posisi *Data Acquisition Instrument*.
  - 1.3 Menentukan dan memasang *Strain Gauge* sesuai lokasi titik Uji.

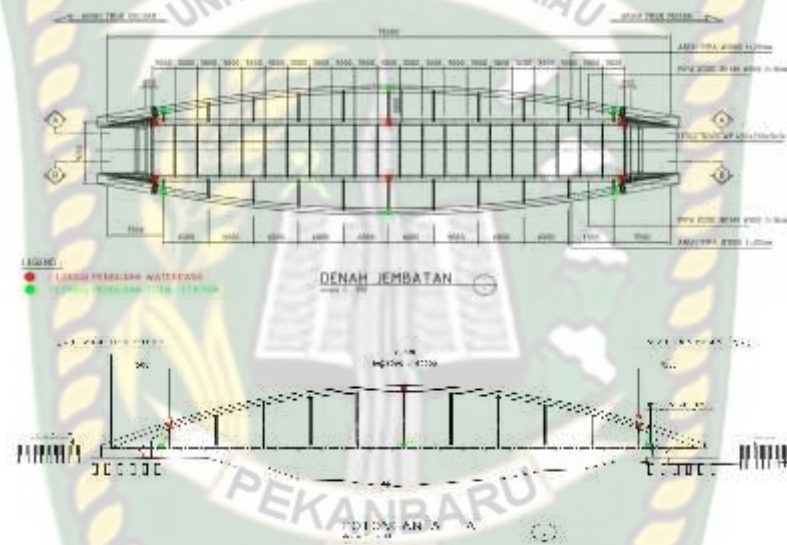
- 1.4 Menghubungkan *Data Acquisition Instrument* dan *Strain Gauge* dengan perangkat komputer
- 1.5 Pengaturan konfigurasi *software*.
- 1.6 Koordinasi dan Persiapan Pembebanan.
- 2) Teknis, Lakukan pengujian sebagai berikut:
  - 2.1 Pembacaan regangan tanpa adanya kombinasi pembebanan.
  - 2.2 Pembebanan sesuai dengan kombinasi yang ditentukan.
  - 2.3 Pembacaan data regangan saat proses kombinasi pembebanan dilakukan.
  - 2.4 Hasil masing-masing data ditulis

#### **4.4.5.2 Pengukuran Lendutan**

Pengukuran ini dilakukan guna mengetahui seberapa besar lendutan yang terjadi di Jembatan pada tiap kombinasi pembebanan. Pengukuran menggunakan alat *Total Station* dengan total 2 kali penembakan tiap kombinasi Pembebanan. Pengukuran lendutan dilakukan tidak bersamaan dengan pengukuran regangan dikarenakan kondisi lapangan yang tidak memungkinkan. Metode pelaksanaan pengukuran lendutan sebagai berikut:

1. Persiapan Pengujian, persiapan pengujian dilakukan sebagai berikut:
  - 1) *Mapping* persiapan sesuai kombinasi pembebanan yang akan digunakan.
  - 2) Menentukan posisi pembacaan.
  - 3) Menentukan dan memasang pembacaan lendutan dengan *Total Station*.
  - 4) Koordinasi dan Persiapan Pembebanan.

2. Teknis Pengujian pengujian sebagai berikut :
  - 1) Pembacaan lendutan tanpa adanya kombinasi pembebanan.
  - 2) Pembebanan sesuai dengan kombinasi yang ditentukan.
  - 3) Pembacaan lendutan dengan *Total Station/Waterpass* terhitung setelah 10 menit beban berada sesuai kombinasi yang ditentukan.
  - 4) Hasil masing-masing data ditulis.



Gambar 4.6 Lokasi Titik Pemeriksaan Lendut Jembatan.

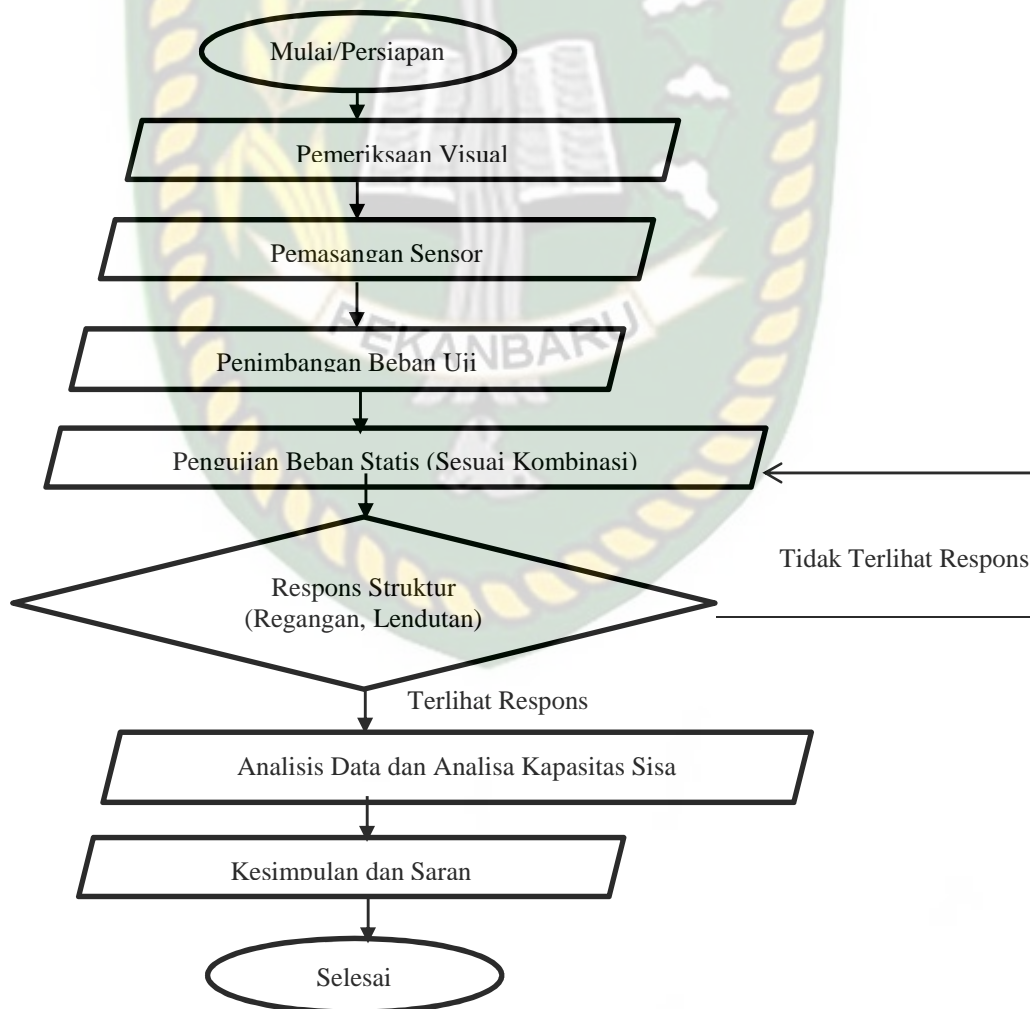
#### 4.4.6 Analisis data dan Analisa Kapasitas Sisa Struktur

Hasil pengujian pembebanan statis dianalisa terkait dengan bacaan regangan yang dikomparasi ke tegangan dan lendutan yang terjadi serta mendapatkan perilaku setiap elemen struktur yang terjadi serta diperhitungkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Selanjutnya dilakukan analisa kapasitas sisa jembatan yang merupakan kemampuan maksimal jembatan untuk memikul beban baik berat sendiri maupun beban hidup yang bekerja pada jembatan.

#### 4.4.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan penelitian harus mampu menjawab tujuan dari penelitian ini dilakukan dan dibandingkan dengan ketentuan ijin yang berlaku. Saran disajikan bagi semua pihak yang berkepentingan dan membutuhkan sehubungan dengan penelitian untuk pengembangan dan perbaikan dimasa yang akan datang. Saran hanya berkaitan dengan kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini.

Lebih jelasnya untuk setiap tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.7 Tahapan Penelitian Yang Dilakukan.

#### 4.5 Kombinasi Beban Statis

Kombinasi Beban dilakukan dengan menggunakan dump truk dengan beban maksimum 30 Ton. Pembebanan *Loading Test* direncanakan sebesar 50% dari beban lajur mengacu beban lajur yang dipakai berdasarkan Standar SNI 1725 2016 Pembebanan Untuk Jembatan. Berikut adalah perhitungan jumlah truk uji yang akan dilakukan.

Tabel 4.3 Perhitungan Jumlah Truk Uji

Berat 1 Truk Single	= 30 Ton (Sudah dengan Muatan Agregat)	
Panjang Bentang Jembatan	= 75 M (L)	
Lebar Jalan untuk Lalu-Lintas	= 8.5 M (BLL)	
BTR (untuk $L > 30$ m)	= $9,0 \times (0,5 + (15/L)) = 6.3$ Kpa	
BGT	= 49 KN/m	
Total Beban Lalu Lintas BTR (BTRxLxBLL)	= 4016.25 KN (LL1)	
Total Beban Garis BGT (BGT x BLL)	= 416.5 KN (LLPE)	
Total Beban Hidup Lalu Lintas	= BGT + BTR	= 4432.8 KN
Beban Hidup 40%	= 40% x Ttl Beban Hidup	= 1773.1 KN
Beban 1 Truk untuk Loading Test	= 30 Ton	= 306.12 KN
Jumlah Truk untuk Loading Test	= 5.79 Truk	
<b>Dibulatkan Ke Atas</b>	=	<b>6.0 Truk</b>

Pada awal rencana pengujian pembebanan statis menggunakan beban truk maksimum 30 ton dengan jumlah truk sebanyak 6 truk, namun berdasarkan pemeriksaan visual dan pengukuran defleksi yang dilakukan sebelum pengujian pembebanan, diketahui bahwa kondisi jembatan sudah mengalami beberapa



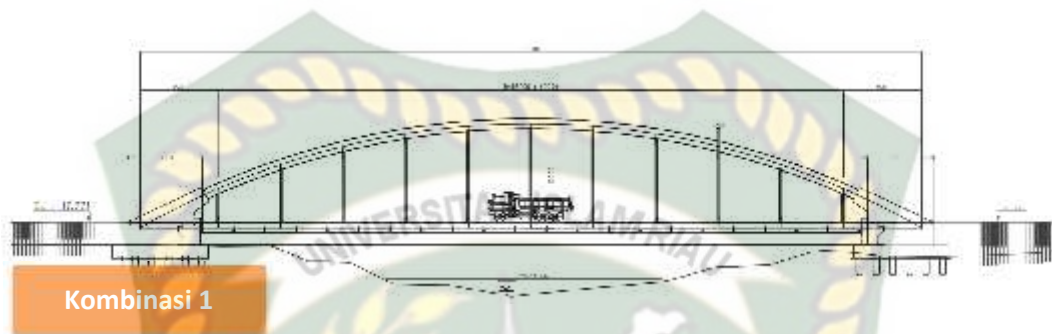
kerusakan dan kondisi struktur sudah melendut sebesar 9,4 cm pada sisi kanan arah truk masuk dan 14,3 cm pada sisi kiri arah truk masuk. Berdasarkan kondisi ini penggunaan beban uji untuk pembebanan statis menggunakan beban maksimum truk 15 ton dengan jumlah truk sebanyak 3 truk (Beban uji total sebesar 45 ton).

Proses pengujian pembebanan statis dilakukan secara bertahap mulai dari tanpa beban (*initial*) kemudian dilanjutkan dengan kombinasi 1 dan seterusnya sampai dengan beban maksimum 45 ton (3 truk) kemudian diakhiri dengan dengan tahapan *unloading*. Posisi truk saat pembebanan berada pada tengah lebar jembatan. Untuk lebih detail, proses kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Kombinasi Pengujian Pembebanan Statis dan Posisi Pembebanan

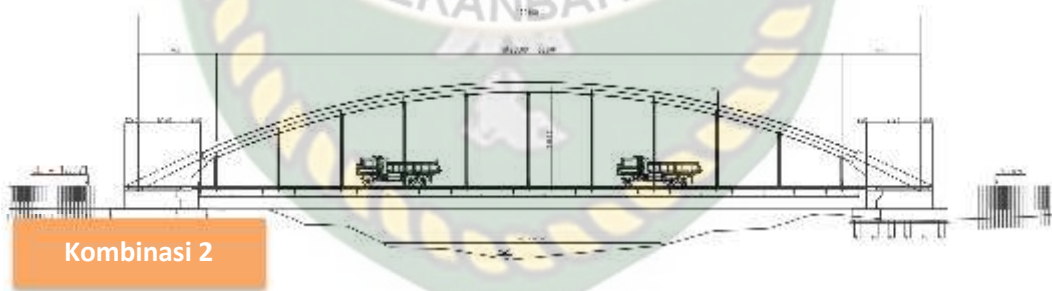
Kombinasi	Pembebanan	Jumlah Truk	Tonase (Ton)	Posisi dan Jarak Truk	Durasi Pengamatan (menit)
<i>Initial</i>	0%	0	0	Tanda beban	0
Kombinasi 1	33,33%	1	15	Posisi truk ditengah jalur dan bentang jembatan	15 s.d 20
Kombinasi 2	66,67%	2	30	Posisi truk ditengah jalur jembatan, jarak antar truk $\pm$ 24 meter	15 s.d 20
Kombinasi 3	100%	3	45	Posisi truk ditengah jalur jembatan, jarak antar truk $\pm$ 18 meter	15 s.d 20
Kombinasi 1 ( <i>Unloading</i> )	33,33%	1	15	Posisi truk ditengah jalur dan bentang jembatan	15 s.d 20
<i>Unloading</i>	0%	0	0	Tanpa beban	0

Dari Tabel 4.1 di atas dapat digambarkan skema pembebanan sebagaimana gambar berikut.



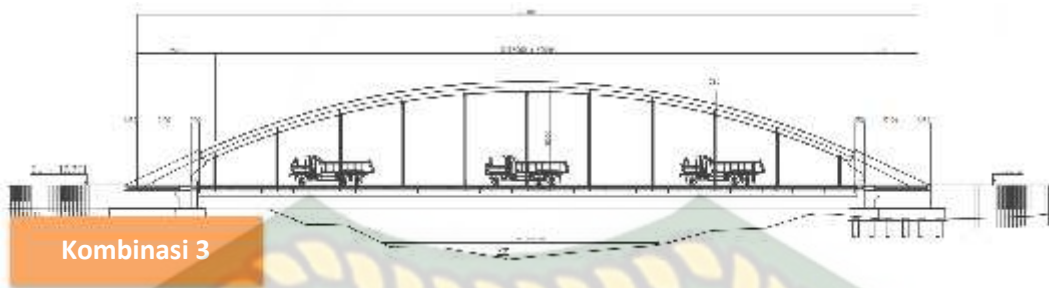
Gambar 4.8 Skema Pembebanan Kombinasi 1.

Gambar 4.8 merupakan skema pembebanan kombinasi 1, yaitu 1 truk ditempatkan pada posisi tengah bentang dan tengah jalur jembatan dengan berat truk sebesar 15 Ton.



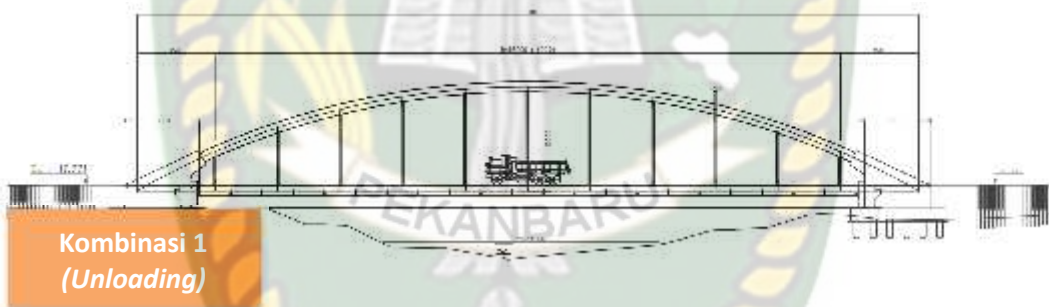
Gambar 4.9 Skema Pembebanan Kombinasi 2.

Gambar 4.9 merupakan skema pembebanan kombinasi 2, yaitu 2 truk ditempatkan pada posisi  $1/3$  bentang dan tengah jalur jembatan, jarak antar truk lebih kurang 24 meter dengan berat total truk sebesar 30 Ton.



Gambar 4.10 Skema Pembebanan Kombinasi 3.

Gambar 4.10 merupakan skema pembebanan kombinasi 3, yaitu 3 truk ditempatkan pada posisi 1/4 bentang dan tengah jalur jembatan, jarak antar truk lebih kurang 18 meter dengan berat total truk sebesar 45 Ton.



Gambar 4.11 Skema Pembebanan Kombinasi 1 (*Unloading*).

Gambar 4.11 merupakan skema pembebanan kombinasi 1 (*Unloading*), yaitu jumlah truk 1 unit pada posisi tengah bentang dan tengah jalur jembatan dengan berat truk sebesar 15 Ton.



Gambar 4.12 Proses Kombinasi Pembebanan Statis.

Gambar 4.12 merupakan gambar situasi pada saat pelaksanaan pembebanan selama proses penelitian.

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual terhadap jembatan perlu dilakukan sebelum pengujian pembebanan pada struktur jembatan. Pemeriksaan visual yang dilakukan disesuaikan dengan ketentuan dalam *Bright Management System (BMS)*, 1993 dengan tujuan untuk memperoleh data dan informasi terkait keadaan jembatan di lapangan. Hasil tersebut diharapkan dapat memperoleh jenis-jenis kerusakan yang terjadi pada jembatan. Pemeriksaan visual dilakukan dengan menggunakan indera penglihatan pada setiap elemen jembatan yang setiap jenis kerusakan dan posisi kerusakan. Berdasarkan pengamatan visual, struktur Jembatan Melengo memiliki kondisi sebagai berikut:

##### 1. *Abutment*

Hasil pemeriksaan lapangan *abutment* tidak ditemukan kerusakan struktur, sehingga kondisi *abutment* masih dalam kategori kondisi baik. Nilai Kondisi secara keseluruhan adalah 0 atau elemen/jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan.



Gambar 5.1 Kondisi lapangan *Abutment*.

## 2. Rangka Baja (*Arch Beam*)

Kondisi *Arch Beam* sesuai pengamatan visual masih dalam kondisi baik, hanya terdapat kerusakan ringan pada permukaan seperti lepasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur *Arch Beam* masih dalam keadaan baik dan tidak terlihat kerusakan struktur yang berat. Nilai Kondisi keseluruhan adalah 1 atau elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya diperlukan pemeliharaan rutin.



Gambar 5.2 Kondisi *Arch Beam*.

## 3. Rangka Baja (*Edge Beam*)

Saat pemeriksaan di lapangan pada struktur *Edge Beam* dengan pengamatan visual diketahui struktur masih dalam kondisi baik, hanya ditemukan beberapa kerusakan ringan pada permukaan pelat yaitu lepasnya lapisan cat. Secara umum struktur *Edge Beam* masih dalam kondisi baik dan tidak ditemukan kerusakan struktur yang berarti. Nilai Kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.



Gambar 5.3 Kondisi *Edge Beam*.

#### 4. Rangka Baja (*Hanger*)

Berdasarkan pengamatan visual di lapangan *hanger* masih dalam kondisi baik, hanya terjadi sedikit kerusakan ringan seperti lepasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur, *Hanger* masih dalam kondisi baik dan tidak terjadi kerusakan struktur. Nilai Kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.



Gambar 5.4 Kondisi *Hanger*.

#### 5. Rangka Baja (*Cross Beam*)

Struktur *Cross Beam* sesuai dengan pengamatan visual di lapangan masih dalam kondisi baik, hanya terjadi beberapa kerusakan ringan pada permukaan baja seperti terlihat terjadi karat pada profil baja. Secara umum, *Cross Beam* dalam kondisi baik dan tidak terjadi kerusakan struktur berarti. Nilai Kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.



Gambar 5.5 Kondisi *Cross Beam*.

## 6. *Slab*

*Slab* jembatan berdasarkan hasil pengamatan di lapangan masih dalam kondisi baik. Tidak terdapat kerusakan pada *Slab* jembatan, sehingga nilai kondisi *slab* secara keseluruhan adalah 0 atau elemen/jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan.



Gambar 5.6 Kondisi *Slab*.

## 7. *Railing*

*Railing* jembatan dengan pengamatan visual di lapangan masih dalam kondisi baik, hanya terdapat kerusakan-kerusakan ringan yang bersifat permukaan yaitu lepasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur, *railing* masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai Kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.



Gambar 5.7 Kondisi *Railing*.



## 8. Pipa Cucuran

Kondisi pipa cucuran di lapangan masih dalam kondisi baik, hanya perlunya pembersihan secara rutin agar aliran air tidak mengalami penyumbatan. Secara umum pipa cucuran masih dalam kondisi baik dan tidak terjadi kerusakan. Nilai Kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau elemen/jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.



Gambar 5.8 Kondisi Pipa Cucuran.

Berdasarkan hasil pengamatan di atas diketahui bahwa tiap elemen struktur mengalami kerusakan yang bervariasi. Namun apabila disimpulkan secara keseluruhan dapat disimpulkan seperti Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kesimpulan Nilai Kondisi Elemen Struktur Jembatan

No.	Elemen Struktur	Nilai Kondisi	Deskripsi
1	<i>Abutmen</i>	0	Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa ada kerusakan
2	<i>Arch Beam</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
3	<i>Edge Beam</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin

No.	Elemen Struktur	Nilai Kondisi	Deskripsi
4	<i>Hanger</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
5	<i>Cross Beam</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
6	<i>Slab</i>	0	Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa ada kerusakan
7	<i>Railing</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
8	Pipa Cucuran	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin

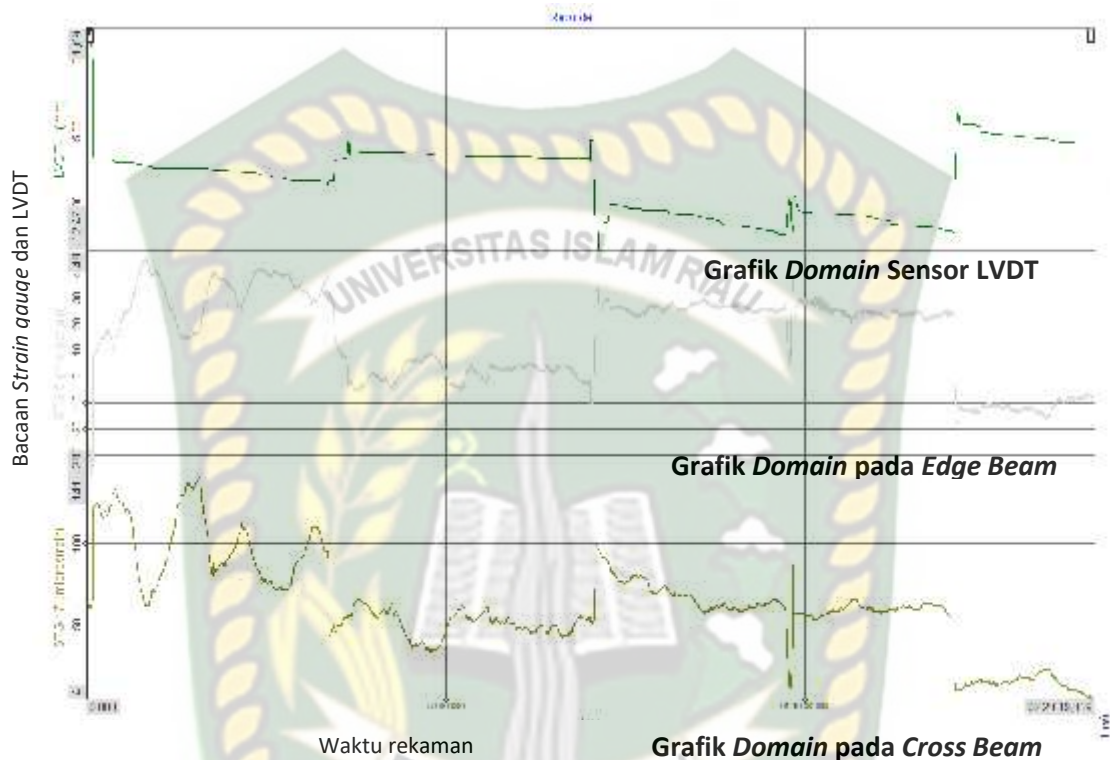
Dari Tabel 5.1 dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan kondisi Jembatan Melengo Kabupaten Siak dalam kondisi baik dan tidak terdapat kerusakan berat, sehingga jembatan dapat untuk dilakukan pengujian pembebanan sesuai dengan rencana.

## 5.2 Hasil *Static Loading Test*

Hasil *Static Loading Test* terdiri atas hasil pengukuran regangan statis, korelasi regangan ke tegangan, korelasi tegangan ke momen lentur dan pengukuran lendutan dengan rincian sebagai berikut:

### 5.2.1 Pengukuran Regangan Statis

Pengukuran regangan menghasilkan grafik gelombang regangan diawali tanpa beban (*initial data*) kombinasi truk pada bentang sampai dengan *unloading* truk. dapat di lihat pada hasil grafik di bawah terjadinya perubahan simpangan yang jelas pada saat pengujian dikarenakan adanya kenaikan nilai yang tidak terlalu besar hasil grafik tersebut kemudian diambil nilai maksimum dari tiap kombinasi dan



Gambar 5.9 Contoh Grafik *Time Domain* Regangan Statis.

Gambar 5.9 adalah hasil rekaman bacaan *strain gauge* dan LVDT selama proses pengujian pembebanan statis yang dimulai dari tanpa beban sampai dengan akhir proses pembebanan (*unloading*). Durasi rekaman pada aplikasi saat pengujian adalah selama 2 jam 20 menit 19 detik dan grafik yang ditampilkan hanya pada posisi yang dianggap mewakili setiap sensor yang ada. Untuk lebih lengkapnya nilai regangan yang terjadi pada setiap kombinasi pembebanan adalah sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.2, bacaan minus (-) menunjukkan struktur baja jembatan mengalami tekan dan bacaan plus (+) menunjukkan struktur baja jembatan mengalami Tarik.

Tabel 5.2 Nilai Regangan Aktual Struktur Jembatan Melengo

NO	SENSOR	NILAI REGANGAN AKTUAL ( <i>MIKROSTRAIN</i> )				<i>UNLOADING</i>
		KOMBINASI 1	KOMBINASI 2	KOMBINASI 3	KOMBINASI 1 ( <i>Unloading</i> )	
		1 TRUK	2 TRUK	3 TRUK	1 TRUK	
1	STG 1	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>
2	STG-2	-17	10	-119	-12	-8
3	STG-3	10	-39	14	24	-30
4	STG 4	13	-10	16	5	3
5	STG-5	58	-32	26	0	-8
6	STG 6	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>
7	STG-7	-39	18	-131	-23	-20
8	STG-9	38	49	-153	-30	-16
9	STG 10	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>	<i>Short</i>
10	STG 11	16	-7	19	3	9
11	STG-12	-13	-2	50	6	-10
12	STG-16	50	95	-158	-14	-12
13	STG-17	49	-57	9	0	10

Dari total 17 sensor yang dipasang pada struktur hanya 13 sensor yang ditampilkan terdapat 3 sensor yang mengalami *short* dan 4 sensor mengalami kerusakan sebelum pengujian dilakukan, namun seluruh elemen struktur jembatan dapat diketahui nilai regangannya. Ada beberapa faktor yang dapat mengakibatkan sensor mengalami *short* yakni:

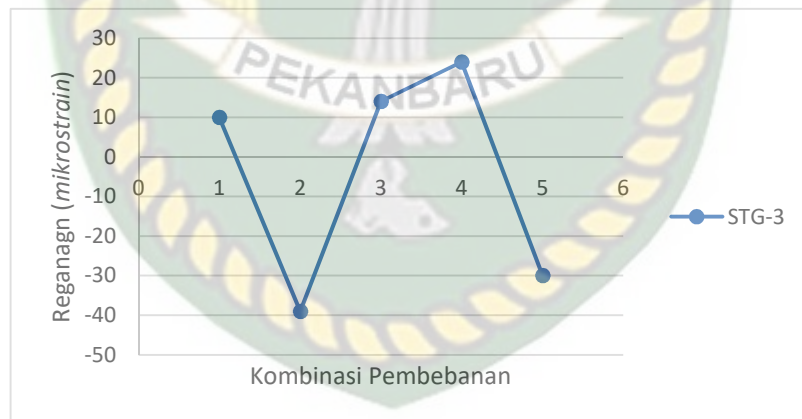
1. Pengaruh suhu dan proses pemasangan (*human error*);
2. Pemasangan sensor yang sudah lama sebelum pelaksanaan pengujian pembebanan.

Jika dikelompokan bacaan sensor pada Tabel 5.2 berdasarkan nilai regangan setiap elemen struktur, maka dapat diuraikan lebih detail pada grafik nilai regangan setiap elemen struktur jembatan sebagai berikut.



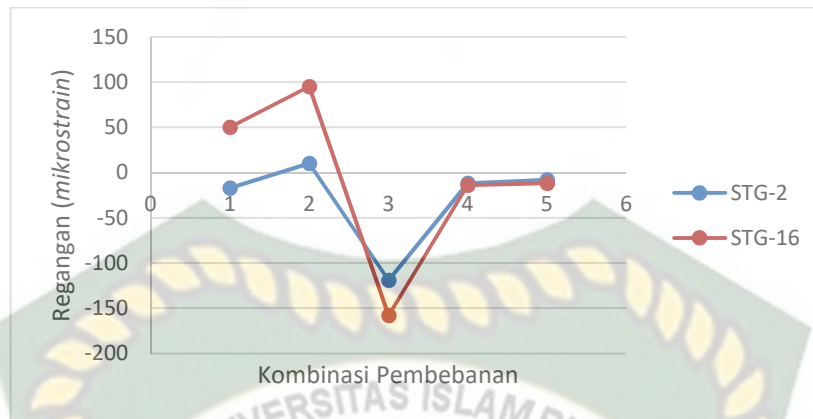
Gambar 5.10 Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tengah Bentang *Edge Beam*.

Gambar 5.10 merupakan hasil bacaan regangan pada *strain gauge* yang dipasang pada *Edge Beam* pada posisi tengah bentang. Nilai regangan maksimum sebesar 58 *mikrostrain* terjadi saat kombinasi 1 (15 Ton, posisi truk ditengah bentang).



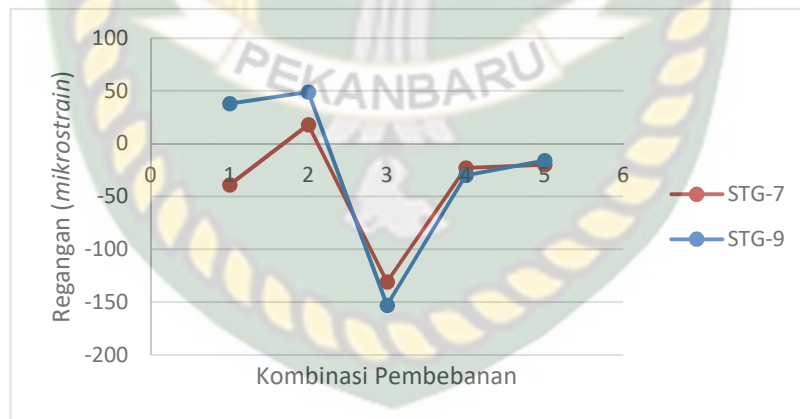
Gambar 5.11 Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tengah Bentang *Arch Beam*.

Gambar 5.11 merupakan hasil bacaan regangan pada *strain gauge* yang dipasang pada *Arch Beam* pada posisi tengah bentang. Nilai regangan maksimum sebesar -39 *mikrostrain* terjadi saat kombinasi 2 (30 Ton).



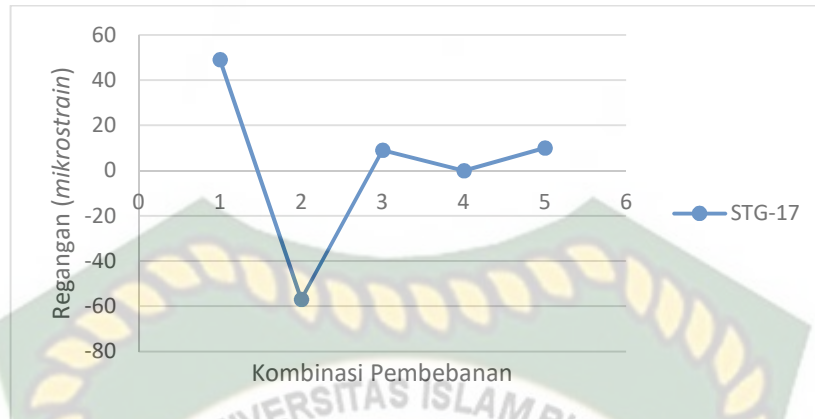
Gambar 5.12 Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tumpuan *Edge Beam*.

Gambar 5.12 merupakan hasil bacaan regangan pada *strain gauge* yang dipasang pada *Edge Beam* pada area tumpuan. Nilai regangan maksimum sebesar -158 mikrostrain pada *strain gauge* 16 (posisi ujung kiri jembatan), terjadi saat kombinasi 3 (45 Ton).



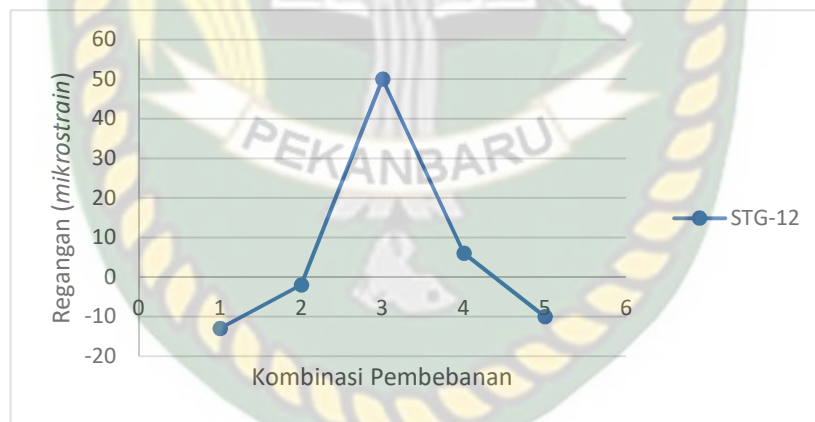
Gambar 5.13 Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tumpuan *Arch Beam*.

Gambar 5.13 merupakan hasil bacaan regangan pada *strain gauge* yang dipasang pada *Arch Beam* pada area tumpuan. Nilai regangan maksimum sebesar -153 mikrostrain pada *strain gauge* 9 (posisi pangkal kiri jembatan), terjadi saat kombinasi 3 (45 Ton).



Gambar 5.14 Grafik Hasil Regangan Aktual pada *Cross Beam*.

Gambar 5.14 merupakan hasil bacaan regangan pada *strain gauge* yang dipasang pada *Cross Beam* di tengah bentang. Nilai regangan maksimum sebesar -57 mikrostrain pada strain gauge 17 pada kombinasi 2 (30 Ton).



Gambar 5.15 Grafik Hasil Regangan Aktual pada Tengah Bentang Pelat *Joint*.

Gambar 5.15 merupakan hasil bacaan regangan pada *strain gauge* yang dipasang pada pelat *Joint* di *hanger tengah* bentang. Nilai regangan maksimum sebesar -50 mikrostrain pada strain gauge 12 pada kombinasi 3 (45 Ton).

Dari uraian grafik pada Gambar 5.10 sampai dengan Gambar 5.15 di atas, dapat ditampilkan nilai regangan maksimum yang terjadi pada setiap *strain gauge* dan setiap elemen struktur jembatan sebagaimana Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Regangan Maksimum pada setiap *Strain Gauge*

NO	SENSOR	Elemen Struktur	Area	Regangan Maksimum (Mikrostrain)	Kombinasi Pembebanan
1	STG-2	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-119	Kombinasi 3
2	STG-3	<i>Arch Beam</i>	Tengah Bentang	-39	Kombinasi 2
3	STG 4	<i>Hanger</i>	Tengah Bentang	16	Kombinasi 3
4	STG-5	<i>Edge Beam</i>	Tengah Bentang	58	Kombinasi 1
5	STG-7	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-131	Kombinasi 3
6	STG-9	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-153	Kombinasi 3
7	STG 11	<i>Hanger</i>	Tengah Bentang	19	Kombinasi 3
8	STG-12	<i>Joint</i>	Tengah Bentang	50	Kombinasi 3
9	STG-16	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-158	Kombinasi 3
10	STG-17	<i>Cross Beam</i>	Tengah Bentang	49	Kombinasi 1

Dari Tabel 5.3 diperoleh nilai regangan maksimum sebesar -158 *Mikrostrain* untuk kombinasi 3 dengan total beban 45 Ton yang terjadi pada *Edge Beam* area tumpuan. Hasil bacaan minus (-) menunjukkan bahwa struktur baja jembatan mengalami tekan dan bacaan plus (+) menunjukkan bahwa struktur baja jembatan mengalami tarik.

### 5.2.2 Korelasi Regangan ke Tegangan

Hukum *hooke* menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang linear atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Korelasi ini dipakai



untuk menentukan tegangan aktual. Struktur Jembatan Melengo Kabupaten Siak menggunakan baja SM 490 YA (setara BJ55) tebal pelat 15 mm untuk *Hanger*, 14 mm untuk *Arch Beam* dan *Cross Beam* serta 12 mm untuk *Edge Beam* yang merupakan pelat standar dengan kekuatan Tarik yang tinggi dibanding pelat yang lain, diperoleh nilai  $E_s$  (Modulus Elastisitas Baja) adalah 200.000 Mpa dan  $f_y$  (Tegangan leleh baja) adalah 305,02 Mpa (rata-rata berdasarkan hasil uji tarik baja profil yang digunakan). Nilai regangan aktual pada Tabel 5.2 kemudian dikorelasikan menjadi estimasi tegangan dengan modulus elastisitas, sehingga diperoleh nilai tegangan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Nilai Tegangan Aktual Struktur Jembatan Melengo

NO	SENSOR	NILAI TEGANGAN AKTUAL (Mpa)				UNLOADING
		KOMB. 1	KOMB. 2	KOMB. 3	KOMB. 1 (Unloading)	
		1 TRUK	2 TRUK	3 TRUK	1 TRUK	
1	STG-2	-3,4	2,0	-23,8	-2,4	-1,6
2	STG-3	2,0	-7,8	2,8	4,8	-6
3	STG 4	2,6	-2	3,2	1	0,6
4	STG-5	11,6	-6,4	5,2	0	-1,6
5	STG-7	-7,8	3,6	-26,2	-4,6	-4
6	STG-9	7,6	9,8	-30,6	-6	-3,2
7	STG 11	3,2	-1,4	3,8	0,6	1,8
8	STG-12	-2,6	-0,4	10,0	1,2	-2
9	STG-16	10,0	19,0	-31,6	-2,8	-2,4
10	STG-17	9,8	-11,4	1,8	0	2

Hasil pembacaan tegangan pada Tabel 5.4 di atas kemudian disimpulkan menjadi nilai maksimum pada struktur jembatan pada setiap sensor sebagaimana Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Tegangan Maksimum pada setiap *Strain Gauge*

NO	SENSOR	Elemen Struktur	Area	Tegangan Maksimum (Mpa)	Kombinasi Pembebanan
1	STG-2	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-23,8	Kombinasi 3
2	STG-3	<i>Arch Beam</i>	Tengah Bentang	-7,8	Kombinasi 2
3	STG 4	<i>Hanger</i>	Terngah Bentang	3,2	Kombinasi 3
4	STG-5	<i>Edge Beam</i>	Tengah Bentang	11,6	Kombinasi 1
5	STG-7	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-26,2	Kombinasi 3
6	STG-9	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-30,6	Kombinasi 3
7	STG 11	<i>Hanger</i>	Tengah Bentang	3,8	Kombinasi 3
8	STG-12	<i>Joint</i>	Tengah Bentang	10	Kombinasi 3
9	STG-16	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-31,6	Kombinasi 3
10	STG-17	<i>Cross Beam</i>	Tengah Bentang	9,8	Kombinasi 1

Dari Tabel 5.5, diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar -31,6 Mpa yang terjadi pada kombinasi 3 dengan total beban 45 Ton pada struktur *Edge Beam* area tumpuan. kemudian dirata-ratakan nilai tegangan maksimum untuk setiap elemen struktur jembatan. Berikut kesimpulan tegangan maksimum yang terjadi pada elemen struktur jembatan.

Tabel 5.6 Kesimpulan Tegangan Maksimum pada setiap Elemen Struktur Jembatan

NO	Elemen Struktur	Area	Tegangan Maksimum Berdasarkan Pengujian (Mpa)	Tegangan Ijin Baja (Mpa) (Hasil Lab. UNRI, 2004)	% Terhadap Tegangan Ijin
1	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-31,6	305,02	20,62
2	<i>Edge Beam</i>	Tengah Bentang	11,6	305,02	7,57
3	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-30,6	305,02	19,96
4	<i>Arch Beam</i>	Tengah Bentang	-7,8	305,02	5,09
5	<i>Cross Beam</i>	Tengah Bentang	9,8	305,02	6,39
6	<i>Hanger</i>	Tengah Bentang	3,8	305,02	2,48

Tegangan maksimal yang terjadi pada setiap elemen jembatan, pada penelitian ini perlu dibandingkan dengan tegangan ijin material baja yang digunakan yang sebelumnya telah dilakukan uji tarik baja profil. Berdasarkan Tabel 5.6 di atas diketahui bahwa tegangan yang terjadi jauh lebih kecil dari tegangan ijin baja yaitu maksimal hanya 20,62% dari tegangan ijin baja. Selanjutnya jika dilihat tegangan actual pada *hanger* persentasenya hanya 2,48% dari tegangan ijin baja, hal ini menunjukkan bahwa mutu baja yang digunakan terlalu kuat dan seharusnya dapat diperkecil. Profil baja yang digunakan untuk struktur *hanger* adalah SM 490 YA (setara BJ55) dengan dimensi 900x250x15x15–500x250x15x15 (penampang *IWF Tapered*).

### 5.2.3 Korelasi Tegangan ke Momen Lentur

Dari nilai tegangan pada Tabel 5.6 dapat dikorelasikan ke nilai momen lentur berdasarkan hasil pengujian yang dihitung dengan persamaan 3.2 pada landasan teori. Momen lentur merupakan gaya yang dapat membuat struktur baja berputar. Tabel 5.7 berikut adalah hasil korelasi nilai tegangan maksimum pada setiap elemen struktur ke nilai momen lentur berdasarkan hasil pengujian.

Tabel 5.7 Korelasi Nilai Tegangan ke Momen Lentur

No	Elemen Struktur	Area	Tegangan Maksimum Berdasarkan Pengujian (Mpa)	Momen Maksimum Berdasarkan Pengujian (kNm)
1	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-31,6	-379,20
2	<i>Edge Beam</i>	Tengah Bentang	11,6	139,20
3	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-30,6	-393,98
4	<i>Arch Beam</i>	Tengah Bentang	-7,8	-100,43
5	<i>Cross Beam</i>	Tengah Bentang	9,8	13,07
6	<i>Hanger</i>	Tengah Bentang	3,8	19,42

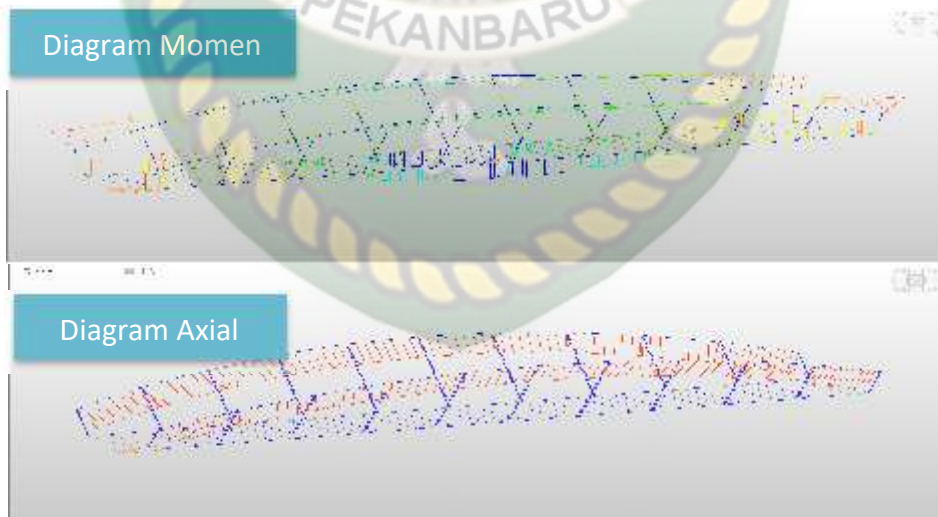
Pada Tabel 5.7 dapat diketahui momen maksimum yang bekerja pada masing-masing struktur, yaitu pada *Edge Beam* sebesar -379,20 kNm, *Arch Beam* sebesar -393,98 kNm, *Cross Beam* sebesar 13,07 kNm dan *hanger* sebesar 19,42 kNm. Berdasarkan hasil *running* program pengolahan analisa struktur *Midas Civil*. Dalam laporan ini pengambilan nilai reaksi diambil berdasarkan hasil maksimum tiap elemen struktur yang diuji. Pengambilan hasil reaksi dilakukan dengan mengambil reaksi maksimum dalam Keadaan *Service* (Keadaan Batas Layan). Berikut adalah hasil nilai maksimum reaksi-reaksi yang terjadi berdasarkan program.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Reaksi Kapasitas Aktual

No	Elemen Struktur	Uraian Gaya	Kapasitas <i>Service</i>
1	<i>Arch Beam</i>	Momen Maksimum(kNm)	458,07
		Axial (kN)	6886,13
		<i>Shear</i> (kN)	53,09
2	<i>Edge Beam</i>	Momen Maksimum(kNm)	1351,89
		Axial (kN)	9,01
		<i>Shear</i> (kN)	40,8
3	<i>Cross Beam</i>	Momen Maksimum(kNm)	8,707
		Axial (kN)	2,43
		<i>Shear</i> (kN)	3,69
4	<i>Hanger Beam</i>	Momen Maksimum(kNm)	24,948
		Axial (kN)	548,83
		<i>Shear</i> (kN)	7,14

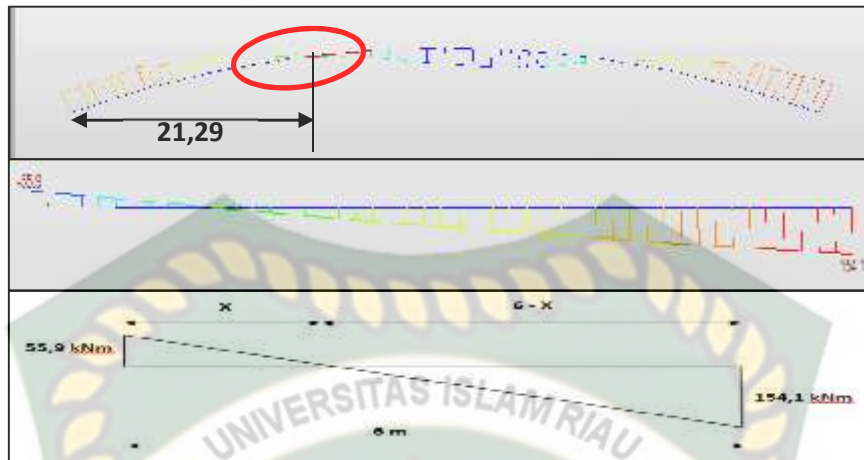
Tabel 5.8 di atas jika digambarkan dalam bentuk grafik adalah sebagaimana

Gambar 5.16



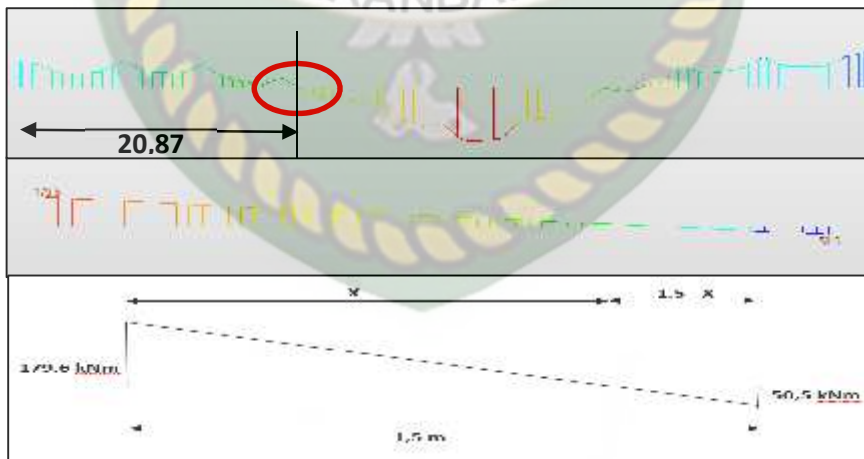
Gambar 5.16 Hasil Diagram Reaksi Gaya Momen dan Axial.

Dari diagram momen pada Gambar 5.16, penulis akan menentukan posisi nilai momen 0 (nol) pada struktur *Arch Beam* dan dapat digambarkan pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Posisi Nilai Momen 0 (nol) pada *Arch Beam*.

Gambar 5.17 diperoleh dengan perhitungan  $\frac{5,9 \text{ kI}}{x} = \frac{1,1 \text{ kI}}{6\text{m} - x}$ , sehingga pada struktur *Arch Beam* momen nol terjadi pada jarak 21,29 m dari tumpuan. Gambar 5.18 berikut adalah gambar posisi nilai momen 0 (nol) pada struktur *Edge Beam*.



Gambar 5.18 Posisi Nilai Momen 0 (nol) pada *Edge Beam*.

Gambar 5.18 diperoleh dengan perhitungan  $\frac{1,6 \text{ kI}}{x} = \frac{5,5 \text{ kI}}{1,5\text{m} - x}$ , sehingga pada struktur *Edge Beam* momen nol terjadi pada jarak 20,87 m dari tumpuan.

## 5.2.4 Pengukuran Lendutan

Pengukuran lendutan dilakukan dengan *Waterpass*, LVDT dan *Total Station* akan dibandingkan dengan lendutan ujin sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

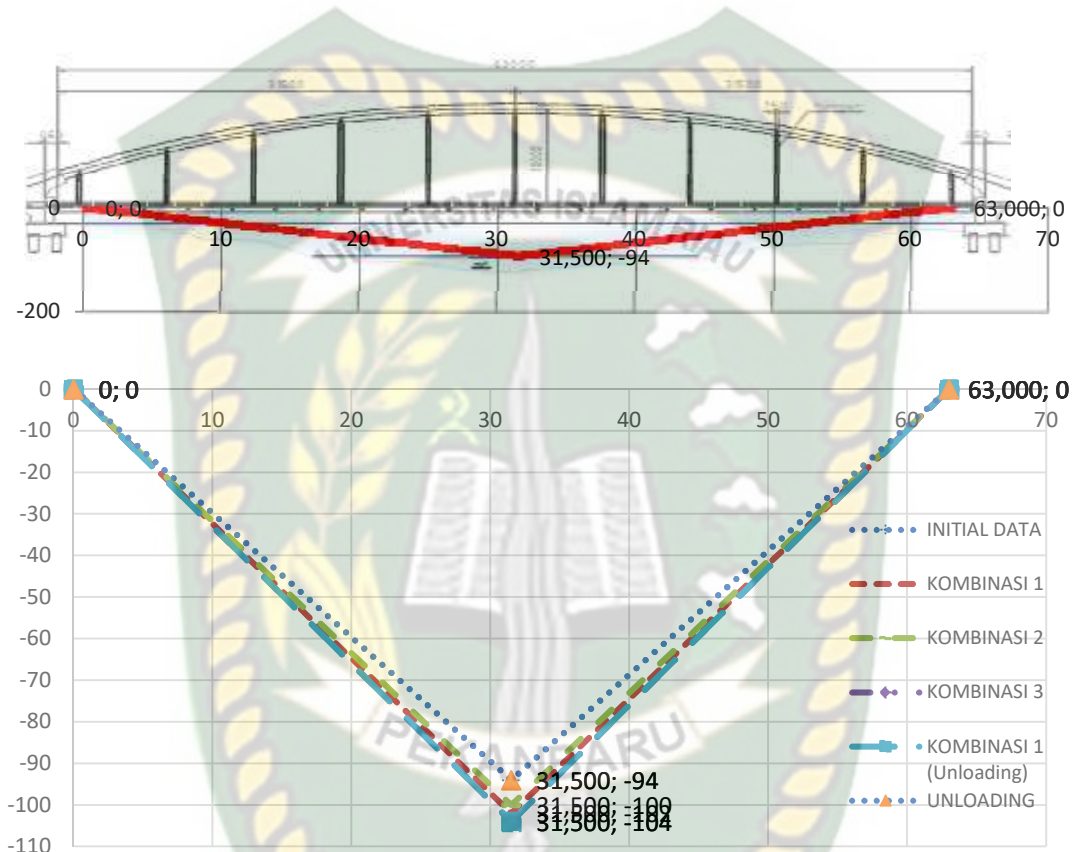
### 5.2.4.1 Pengukuran Lendutan (Hasil Pembacaan *Waterpass* dan LVDT)

Pengukuran lendutan menghasilkan data pembacaan *Waterpass* yang sudah terkoreksi tiap kombinasi diawali dengan tanpa beban (*initial data*) kombinasi truk pada bentang sampai dengan *unloading* truk. Pembacaan lendutan pada tahap *initial* (tanpa beban truk) menunjukkan bahwa kondisi eksisting jembatan sudah mengalami lendutan dengan nilai lendutan sebesar **9,4 cm pada sisi kanan arah truk masuk dan 14,3 cm pada sisi kiri arah truk masuk**. Kondisi ini akan menjadi acuan dalam pemeriksaan lendutan selama proses pelaksanaan pengujian pembebanan. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai lendutan tiap kombinasi. Untuk lokasi pengukuran berdasarkan titik pengamatan yang diambil (titik pengamatan terdiri atas 3 titik pada *Edge Beam* pada kedua sisi jembatan, sehingga total titik pengamatan sebanyak 6 titik). Berikut adalah hasil lendutan pada jembatan Melengo dengan tipe Rangka Baja *Arch Taper Box*, Siak - Riau pada sisi Kanan sebagaimana Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Nilai Pembacaan Lendutan *Edge Beam* pada sisi Kanan Jembatan Arah Truk Masuk

Number <i>Waterpass</i>	Data <i>Initial</i>	Kombina si 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 1 ( <i>Unloading</i> )	<i>Unloading</i>
	<i>Actual Elevation (mm)</i>	1 Truck	2 Truck	3 Truck	1 Truck	
		<i>Actual Elevation (mm)</i>	<i>Actual Elevation (mm)</i>	<i>Actual Elevation (mm)</i>	<i>Actual Elevation (mm)</i>	<i>Actual Elevation (mm)</i>
T1	0	0	0	0	0	0
<b>T2</b>	<b>0</b>	<b>-8</b>	<b>-6</b>	<b>-10</b>	<b>-10</b>	<b>0</b>
T3	0	0	0	0	0	0

Dari Tabel 5.9 dapat digambarkan nilai pembacaan lendutan *Edge Beam* pada sisi Kanan Jembatan Arah Truk Masuk dengan grafik sebagaimana Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Perilaku Lendutan *Edge Beam* pada sisi Kanan Jembatan (Arah Masuk Truk).

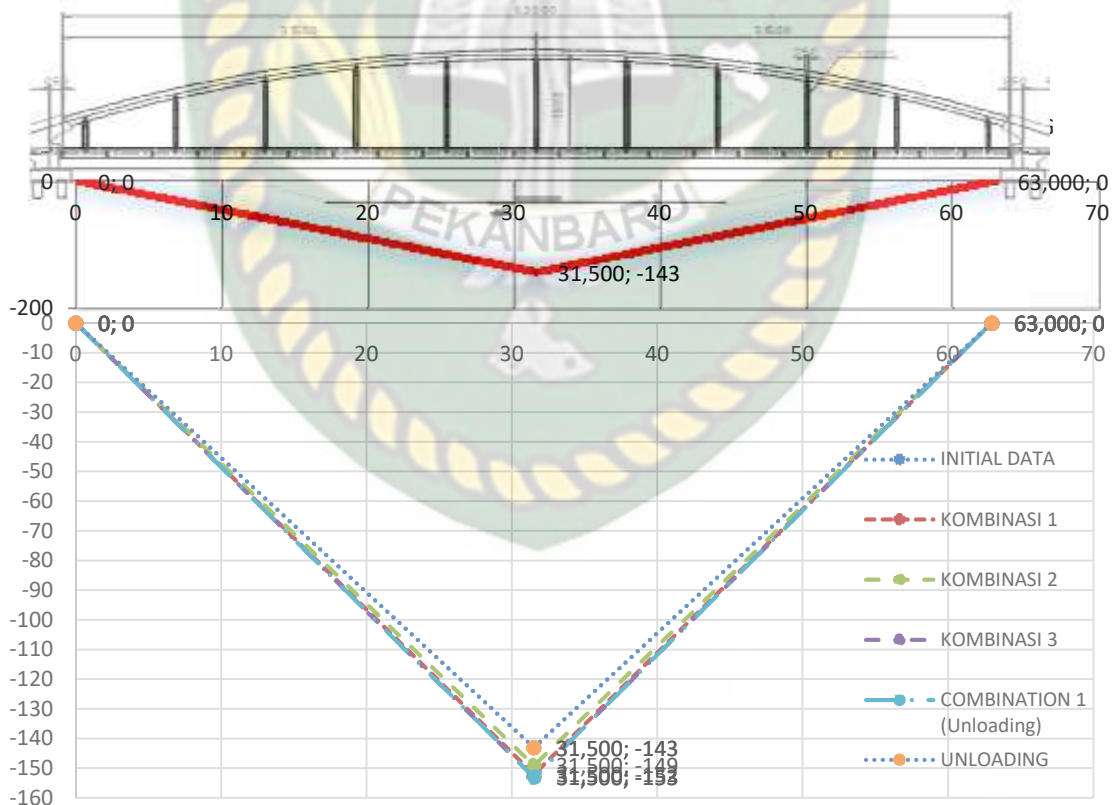
Dari Gambar 5.19 terjadi tambahan lendutan sebesar -10 mm yang terjadi pada saat kombinasi 3 (3 Truk, 45 Ton) pada *Edge Beam* sisi kanan jembatan. Namun jika ditinjau dari lendutan yang telah terjadi sebelum dilakukan pengujian sebesar -94 mm pada *Edge Beam* sisi kanan jembatan terjadi lendutan sebesar -104 mm lebih besar dari lendutan ijin jembatan ( $66000/800$ ) sebesar 82,5 mm. Selanjutnya akan disajikan hasil lendutan pada jembatan Melengo dengan tipe Rangka Baja *Arch Taper Box*, Siak - Riau pada sisi kiri sebagaimana Tabel 5.10.



Tabel 5.10 Hasil Pembacaan Lentutan *Edge Beam* pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk)

Number Waterpass	Data Initial	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 1 (Unloading)	Unloading
		1 Truck	2 Truck	3 Truck	1 Truck	
	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)
T1'	0	0	0	0	0	0
T2'	0	-9	-6	-10	-10	0
T3'	0	0	0	0	0	0

Dari Tabel 5.10 dapat digambarkan nilai pembacaan lentutan *Edge Beam* pada sisi kiri Jembatan Arah Truk Masuk dengan grafik sebagaimana Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Perilaku Lentutan *Edge Beam* pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk).

Dari Gambar 5.20 terjadi tambahan lendutan sebesar -10 mm yang terjadi pada saat kombinasi 3 (3 Truk, 45 Ton) pada *Edge Beam* sisi kiri jembatan. Namun jika ditinjau dari lendutan yang telah terjadi sebelum dilakukan pengujian sebesar -143 mm pada *Edge Beam* sisi kiri jembatan terjadi lendutan sebesar -153 mm lebih besar dari lendutan ijin jembatan (66000/800) sebesar 82,5 mm.

Pengukuran lendutan juga dilakukan dengan menggunakan sensor LVDT yang menjadi pembanding terhadap hasil pengukuran lendutan berdasarkan pengukuran dengan menggunakan *waterpass*. Berikut hasil pengukuran nilai lendutan pada setiap kombinasi pembebanan dengan menggunakan sensor LVDT.

Tabel 5.11 Hasil Pembacaan Lendutan *Edge Beam* Berdasarkan LVDT

NO	SENSOR	NILAI LENDUTAN AKTUAL (mm)									UNLOADING
		INITIAL	KOMBINASI 1		KOMBINASI 2		KOMBINASI 3		KOMBINASI 1 (Unloading)		
			PUNCAK (mm)	AKTUAL DEFLEKSI (mm)	PUNCAK (mm)	AKTUAL DEFLEKSI (mm)	PUNCAK (mm)	AKTUAL DEFLEKSI (mm)	PUNCAK (mm)	AKTUAL DEFLEKSI (mm)	
1	LVDT	0,48	-8,03	-8,51	-6,62	-7,1	-11,33	<b>-11,81</b>	-11,27	-11,75	-5,65

Dari hasil pengukuran dengan menggunakan LVDT, dapat diketahui bahwa tambahan lendutan maksimum terjadi pada kombinasi pembebanan ke-3 (total beban 45 ton dengan total jumlah truk sebanyak 3 truk) sebesar -11,81 mm. Namun jika ditinjau dari lendutan yang telah terjadi sebelum dilakukan pengujian sebesar -118,5 mm pada posisi pemasangan LVDT (*Cross Beam* tengah bentang), maka sesungguhnya terjadi lendutan sebesar -130,31 mm. Pada kondisi *unloading* nilai lendutan tidak kembali ke kondisi awal, kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur setelah dibebani membutuhkan waktu yang lama untuk kembali ke kondisi lendutan awal jembatan.

#### 5.2.4.2 Pengukuran *Displacement* (Hasil Pembacaan *Total Station*)

Pengukuran *Displacement* menghasilkan data pembacaan *Total Station* yang sudah terkoreksi tiap kombinasi diawali dengan tanpa beban (*initial data*) kombinasi truk pada bentang sampai dengan *unloading* truk. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai lendutan tiap kombinasi. Untuk lokasi pengukuran berdasarkan titik pengamatan yang diambil (titik pengamatan terdiri atas 3 titik pada *Arch Beam* pada kedua sisi jembatan, sehingga total titik pengamatan sebanyak 6 titik). Berikut adalah hasil *displacement* pada jembatan Melengo dengan tipe Rangka Baja *Arch Taper Box*, Siak - Riau pada sisi Kanan dan Kiri Jembatan.

Tabel 5.12 Hasil Pembacaan Lendutan *Arch Beam* pada sisi Kanan Jembatan (Arah Masuk Truk)

Number Total Station	Data Initial	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 1 (Unloading)	Unloading
		1 Truck	2 Truck	3 Truck	1 Truck	
	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)
T1	0	0	0	0	0	0
T2	0	-6	-9	-10	-10	0
T3	0	0	0	0	0	0

Tabel 5.13 Hasil Pembacaan Lendutan *Arch Beam* pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk)

Number Total Station	Data Initial	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 1 (Unloading)	Unloading
		1 Truck	2 Truck	3 Truck	1 Truck	
	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)	Actual Elevation (mm)
T1'	0	0	0	0	0	0
T2'	0	-8	-7	-9	-9	0
T3'	0	0	0	0	0	0

Dari Hasil pengamatan dan perhitungan diperoleh tambahan nilai lendutan terbesar yang terjadi adalah pada kombinasi 3 dengan tambahan lendutan untuk pengamatan pada *Arch Beam* sisi kanan sebesar -10 mm dan *Arch Beam* sisi kiri sebesar -9 mm. Selain itu pada bagian *Arch Beam* pengambilan data *displacement* juga dilakukan. Hasil pengambilan data *displacement* pada *Arch Beam* untuk sisi kanan dan kiri sebagaimana Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.14 Hasil Pengukuran *Displacement* pada *Arch Beam* pada sisi Kanan Jembatan (Arah Masuk Truk)

Num.	Kombinasi	Titik Pembacaan	Koordinat		Selisih (m)	
			X	Y	X	Y
1	<i>Initial Data</i>	T1	1986.555	1997.848	0	0
		T2	1954.606	2006.325	0	0
		T3	1926.296	2009.192	0	0
2	Kombinasi 1	T1	1986.555	1997.848	0	0
		T2	1954.612	2006.325	0.006	0
		T3	1926.296	2009.192	0	0
3	Kombinasi 2	T1	1986.555	1997.848	0	0
		T2	1954.617	2006.325	0.011	0
		T3	1926.296	2009.192	0	0
4	Kombinasi 3	T1	1986.555	1997.848	0	0
		T2	<b>1954.621</b>	<b>2006.325</b>	<b>0.015</b>	<b>0</b>
		T3	1926.296	2009.192	0	0
5	Kombinasi 1 ( <i>Unloading</i> )	T1	1986.555	1997.848	0	0
		T2	1954.621	2006.325	0.015	0
		T3	1926.296	2009.192	0	0
6	<i>Unloading</i>	T1	1986.555	1997.848	0	0
		T2	1954.606	2006.325	0	0
		T3	1926.296	2009.192	0	0

Tabel 5.15 Hasil Pengukuran *Displacement* pada *Arch Beam* pada sisi Kiri Jembatan (Arah Masuk Truk)

Num.	Kombinasi	Titik Pembacaan	Koordinat		Selisih (m)	
			X	Y	X	Y
1	<i>Initial Data</i>	T1'	1928.342	2019.642	0	0
		T2'	1957.896	2017.682	0	0
		T3'	1928.341	203.605	0	0
2	Kombinasi 1	T1'	1928.342	2019.642	0	0
		T2'	1957.89	2017.682	-0.006	0
		T3'	1928.341	203.605	0	0

Num.	Kombinasi	Titik Pembacaan	Koordinat		Selisih (m)	
			X	Y	X	Y
3	Kombinasi 2	T1'	1928.342	2019.642	0	0
		T2'	1957.892	2017.682	-0.004	0
		T3'	1928.341	203.605	0	0
4	Kombinasi 3	T1'	1928.342	2019.642	0	0
		T2'	<b>1957.885</b>	<b>2017.682</b>	<b>-0.011</b>	<b>0</b>
		T3'	1928.341	203.605	0	0
5	Kombinasi 1 (Unloading)	T1'	1986.555	2019.642	0	0
		T2'	1957.885	2017.682	-0.011	0
		T3'	1928.341	203.605	0	0
6	Unloading	T1'	1986.555	2019.642	0	0
		T2'	1957.896	2017.682	0	0
		T3'	1928.341	203.605	0	0

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwa nilai *displacement* maksimum terjadi pada kombinasi pembebanan ke-3 dengan nilai displacement sebesar 15 mm ke arah sumbu X pada sisi kanan jembatan arah masuk truk dan -11 mm kearah sumbu X pada sisi kiri jembatan arah masuk truk.

### 5.3 Evaluasi Pengujian Pembebanan Statis pada Jembatan

Evaluasi diperlukan untuk mengetahui kondisi jembatan ditinjau dari pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Tinjauan pada cakupan sub-bab ini menjelaskan kondisi jembatan apabila ditinjau dari pengujian pembebanan statis.

#### 5.3.1 Nilai Tinjauan Pengujian Pembebanan Statis

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui hasil data reaksi yang akan ditinjau. Berikut adalah hasil rekapitulasi nilai-nilai reaksi maksimum pada pengujian sebelumnya. Nilai-nilai reaksi ini adalah nilai yang selanjutnya akan menjadi tinjauan komparasi untuk evaluasi dengan hasil analisis.

Tabel 5.16 Nilai Maksimum Tinjauan Pada Jembatan Struktur Jembatan Melengo Berdasarkan Pengujian

No.	Tinjauan	Nilai	Nilai ijin	Satuan
1	Lendutan	-11,81	-82,50	mm
2	<i>Displacement horizontal</i>	15	-	mm

Pada Tabel 5.16 di atas bahwa terjadi tambahan lendutan pada jembatan berdasarkan pengamatan sebesar -11,81 mm (terjadi pada bacaan LVDT). Jika ditinjau dari lendutan ijin yang berlaku sesuai ketentuan adalah  $L/800 = 82,50$  mm (lendutan akibat berat sendiri dan beban hidup) maka lendutan yang terjadi pada saat pengujian masih dalam kategori aman, namun jika lendutan yang terjadi saat pengujian ditambahkan dengan lendutan yang telah terjadi sebelum pengujian (rata-rata 118,5 mm) menjadi 130,31 mm, lendutan yang terjadi melebihi lendutan ijin yang berlaku.

Selanjutnya Tabel 5.17 adalah hasil rekapitulasi nilai-nilai regangan dan tegangan maksimum pada pengujian yang akan menjadi tinjauan komparasi untuk evaluasi dengan hasil analisis.

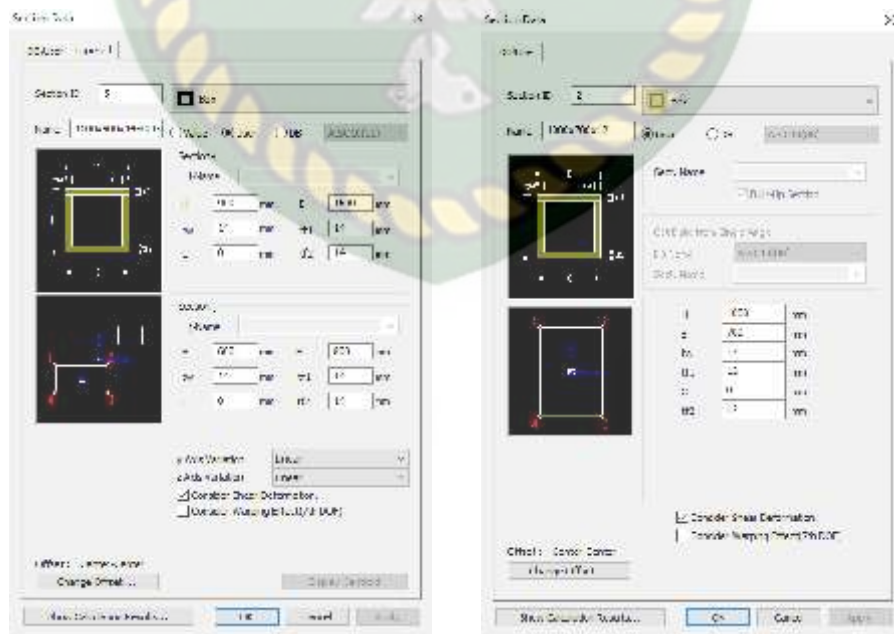
Tabel 5.17 Nilai Tegangan dan Regangan Maksimum Tinjauan Pada Jembatan Struktur Jembatan Melengo Berdasarkan Pengujian

No	Elemen Struktur	Area	Regangan Maksimum ( <i>Mikrostrain</i> )	Tegangan Maksimum ( <i>Mpa</i> )
1	<i>Edge Beam</i>	Tumpuan	-158	-31,6
2	<i>Edge Beam</i>	Tengah Bentang	58	11,6
3	<i>Arch Beam</i>	Tumpuan	-153	-30,6
4	<i>Arch Beam</i>	Tengah Bentang	-39	-7,8
5	<i>Cross Beam</i>	Tengah Bentang	49	9,8
6	<i>Hanger</i>	Tengah Bentang	19	3,8

Dari Tabel 5.17 nilai regangan maksimum sebesar  $-158 \text{ Mikrostrain}$  pada elemen struktur *Edge Beam* area tumpuan dan menunjukkan hubungan linear dengan tegangan maksimum sebesar  $-31 \text{ Mpa}$  juga terjadi pada struktur *Edge Beam* area tumpuan.

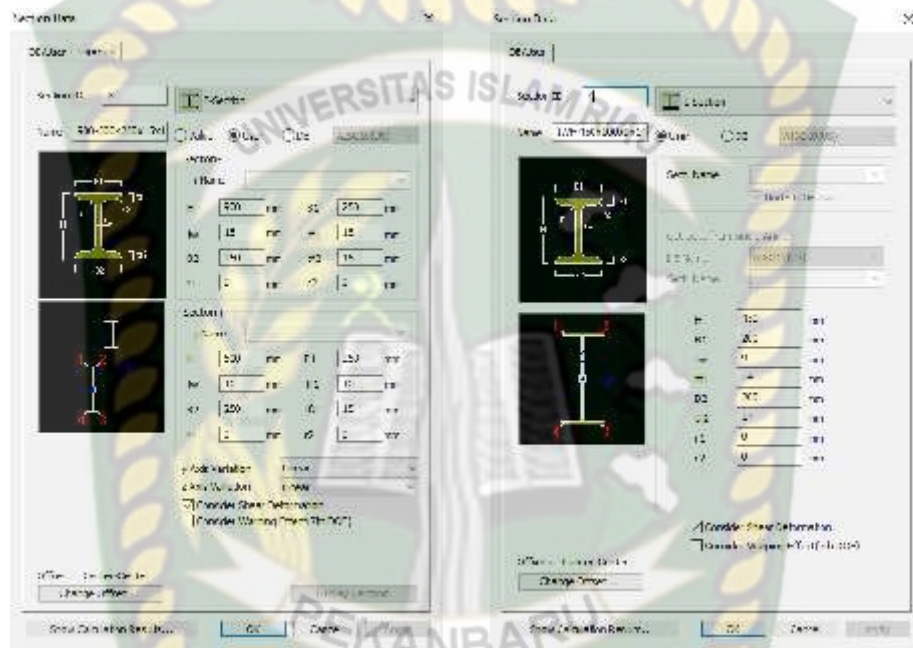
### 5.3.2 Komparasi Analisa Struktur dan Hasil Pengujian Pembebanan Statis

Analisa struktur yang dilakukan pada sub-bab ini disesuaikan dengan proses pembebanan yang telah dilakukan pada setiap kombinasi. Modeling struktur dan pembebanan menggunakan *software Midas Civil* disesuaikan dengan jumlah dan jarak setiap truk pada setiap kombinasi. Hasil inilah yang nantinya akan dibandingkan dengan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian pembebanan. Parameter input dan model material pada analisis elemen hingga *Midas Civil* yang disesuaikan dengan gambar *Asbuilt drawing* adalah pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.21 Data Penampang Elemen Struktur *Arch Beam* dan *Edge Beam* Sesuai *Asbuilt Drawing*.

Gambar 5.21 merupakan data penampang struktur *Arch Beam* dan *Edge Beam* yang diinput pada *software Midas Civil* dengan dimensi masing-masing pelat baja yang digunakan untuk *Arch Beam* (1600x900x14 – 800x600x14 penampang *Box Tapered*) dan *Edge Beam* (1000x700x12 penampang *Box*).

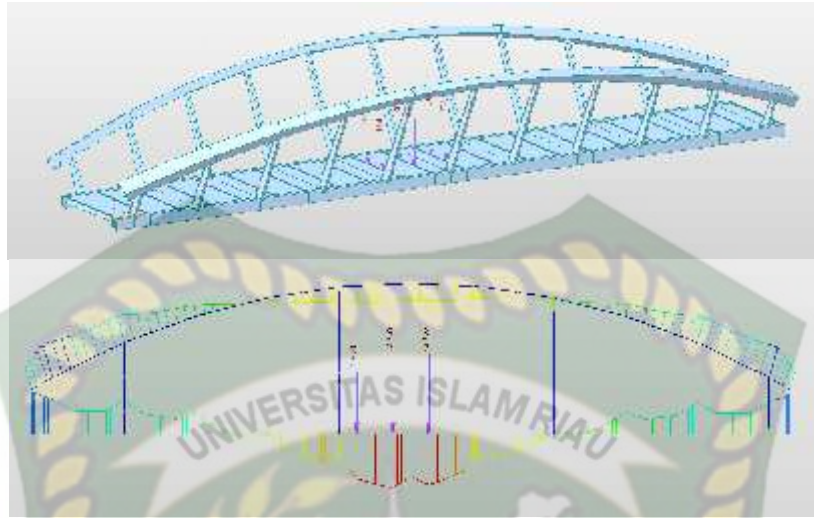


Gambar 5.22 Data Penampang Elemen Struktur *Hanger Beam* dan *Cross Beam* Sesuai *Asbuil Drawing*.

Gambar 5.22 merupakan data penampang struktur *Hanger Beam* dan *Cross Beam* yang diinput pada *software Midas Civil* dengan dimensi masing-masing pelat baja yang digunakan untuk *Hanger Beam* (900x250x15x15 – 500x250x15x15 penampang *IWF Tapered*) dan *Cross Beam* (450x200x9x14 penampang *IWF*).

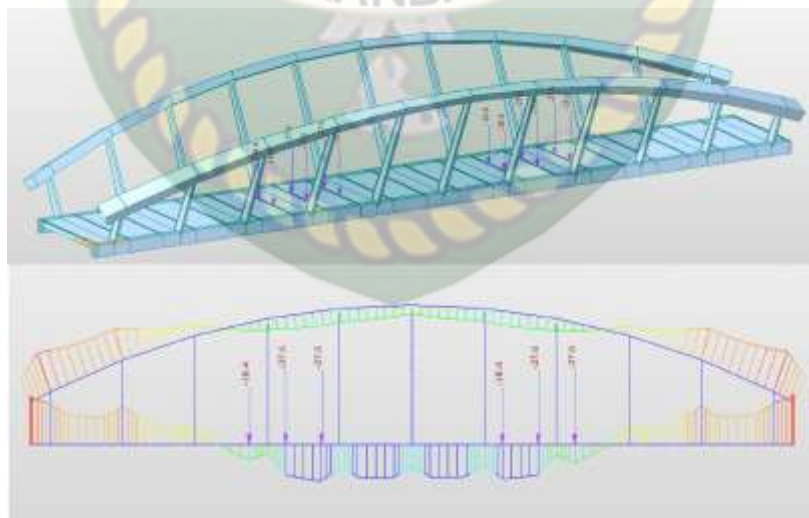
Berikut adalah permodelan hasil analisa struktur yang dilakukan pada sub-bab ini disesuaikan dengan proses pembebanan yang telah dilakukan pada setiap kombinasi dengan *software Midas Civil*.





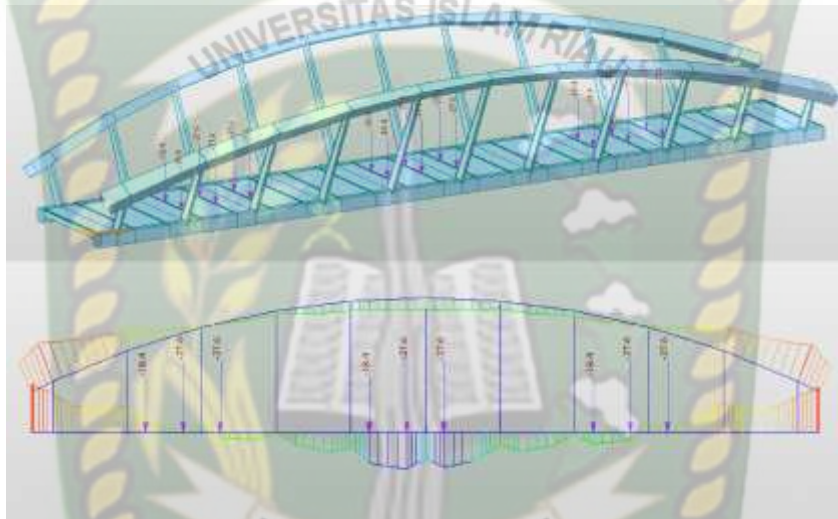
Gambar 5.23 Pemodelan Beban dan Grafik Momen Pembebanan Kombinasi 1.

Gambar 5.23 merupakan hasil permodelan beban dan momen yang terjadi ketika dilakukan pembebanan kombinasi 1 (1 truk, 15 ton). Sesuai standar pembebanan pada jembatan roda depan mendapatkan distribusi beban sebesar 25% dan roda belakang mendapatkan distribusi beban sebesar 75%



Gambar 5.24 Pemodelan Beban dan Grafik Momen Pembebanan Kombinasi 2.

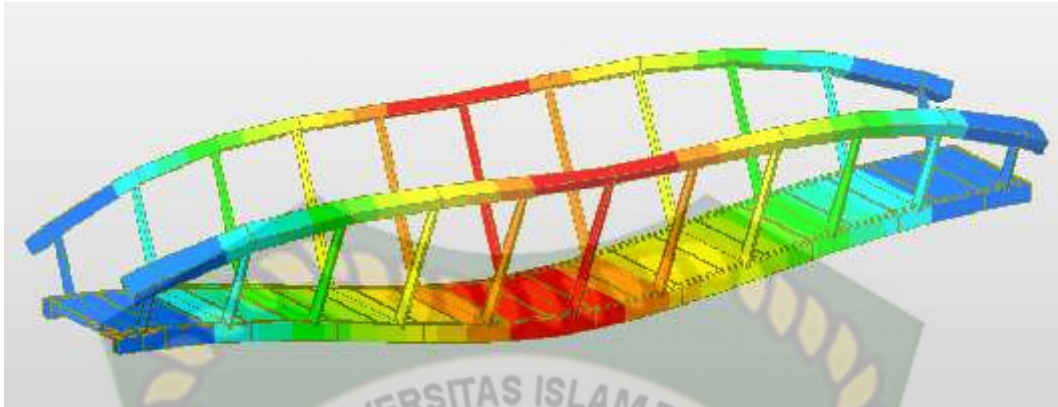
Gambar 5.24 merupakan hasil permodelan beban dan momen yang terjadi ketika dilakukan pembebanan kombinasi 2 (2 truk, 30 ton). Sesuai standar pembebanan pada jembatan roda depan mendapatkan distribusi beban sebesar 25% dan roda belakang mendapatkan distribusi beban sebesar 75% untuk masing-masing truk.



Gambar 5.25 Pemodelan Beban dan Grafik Momen Pembebanan Kombinasi 3.

Gambar 5.25 merupakan hasil permodelan beban dan momen yang terjadi ketika dilakukan pembebanan kombinasi 3 (3 truk, 45 ton). Sesuai standar pembebanan pada jembatan roda depan mendapatkan distribusi beban sebesar 25% dan roda belakang mendapatkan distribusi beban sebesar 75% untuk masing-masing truk.

Gambar 5.26 di bawah ini adalah hasil lendutan sesuai dengan Analisa struktur menggunakan *software Midas Civil*.



Gambar 5.26 Contoh Hasil Lendutan Berdasarkan Analisa Struktur.

Gradasi warna yang ditampilkan pada Gambar 5.26 menggambarkan nilai lendutan maksimum (warna merah tua) berada ditengah bentang sampai dengan warna biru tua pada area tumpuan.

### 5.3.3 Tinjauan Pengujian Pembebanan Statis Berdasarkan Hasil Komparasi

Berdasarkan hasil komparasi pada point 5.3.2 dapat diketahui bahwa terdapat tinjauan yang berbeda-beda sesuai dengan pembebanan dan perilaku struktur yang dibebani. Dalam hal ini, tinjauan yang dilakukan hanya struktur bagian atas jembatan. Berikut adalah Kesimpulan tinjauan disertai alasan pada masing-masing jembatan yang diuji.

Pada jembatan Melengo dengan kombinasi pembebanan maksimum yang terjadi adalah kombinasi 3 (beban aktual terpakai sebesar *45 Ton*). Tinjauan yang digunakan sebagai evaluasi data adalah lendutan, *displacement* dan tegangan maksimum. Berikut adalah tabel komparasi beserta keterangannya pada struktur Jembatan Struktur Jembatan Melengo.

Tabel 5.18 Komparasi dan Evaluasi Lentutan, *Displacement* dan Tegangan Struktur Jembatan Melengo

No	Bentang Jembatan	Uraian	Nilai		Selisih Analisis dan Aktual (a-b) mm	Keterangan
			Aktual (a)	Analisis (b)		
1	Struktur Jembatan Melengo	Lentutan maksimum (mm)	-11,81	-5,33	-6,48	Lentutan Aktual > Lentutan Hasil Analisis
2	Struktur Jembatan Melengo	<i>Displacement</i> maksimum (mm)	15	3,98	11,02	<i>Displacement</i> Aktual > <i>Displacement</i> Hasil Analisis
3	Struktur Jembatan Melengo	Tegangan maksimum (Mpa)	-31,6	-12,64	-18,96	Tegangan Aktual > Tegangan Hasil Analisis

Membaca hasil komparasi terhadap Lentutan, *Displacement* dan Tegangan aktual dengan Lentutan, *Displacement* dan Tegangan hasil analisis diketahui bahwa aktual yang terjadi lebih besar dari hasil analisis menunjukkan kondisi jembatan dalam kondisi kurang baik, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain dapat disebabkan kondisi material saat ini, kondisi sambungan yang sudah korosi, lingkungan, cuaca dan lain-lain.

#### 5.4 Analisa Kapasitas Sisa Jembatan

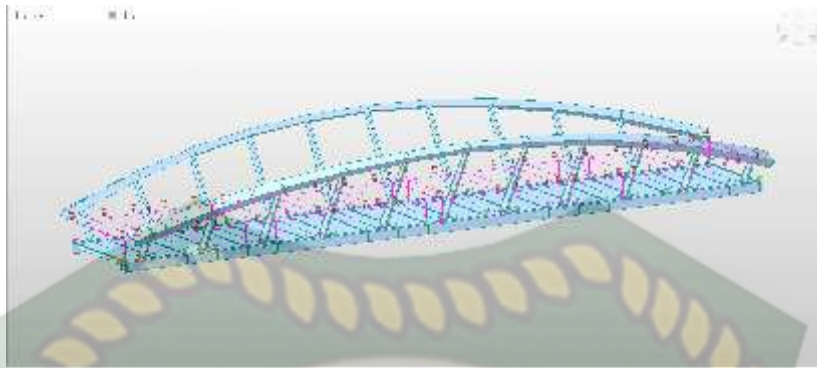
Analisa kapasitas sisa jembatan yang kemudian akan dikomparasikan antara hasil analisa kapasitas *ultimate* dengan hasil pengujian sehingga diperoleh estimasi kapasitas sisa dari struktur jembatan teruji. Metode analisis yang digunakan adalah metode analisis Linear. Komponen-komponen yang diperhitungkan dalam menentukan kapasitas sisa jembatan adalah sebagai berikut:

#### 5.4.1 Data Material Struktur

1. Mutu Beton, nilai mutu beton yang digunakan dalam proses Analisa struktur merupakan nilai asumsi karena keterbatasan data actual material struktur. Nilai mutu beton diasumsikan menggunakan  $Fc' = 30 \text{ Mpa}$
2. Mutu Baja, mutu baja Penampang Menggunakan material baja dengan  $f_y = 305,02 \text{ Mpa}$ .

#### 5.4.2 Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan digunakan SNI 1725:2016 untuk menetapkan persyaratan minimum dalam pembebanan beserta batasan penggunaan setiap beban, faktor beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perencanaan jembatan jalan raya, termasuk jembatan pejalan kaki serta bangunan sekunder yang terkait dengan jembatan tersebut. Dalam rangka menentukan kapasitas sisa jembatan maka diperlukan beban lajur yang bekerja pada jembatan. Beban Lajur "D" (TD) terdiri dari beban terbagi merata (*Uniformly Distributed Load*), UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*), KEL. UDL mempunyai intensitas  $q$  (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total  $L$ . Jembatan Melengo memiliki Panjang 75 m ( $L > 30$  m) sehingga diambil  $q = 9.0 * (0.5 + 15/L)$  kPa. Beban Garis Terpusat dengan intensitas  $P$  kN/m ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $P$  adalah sebesar 49 kN/m. Gambar 5.27 adalah permodelan beban lajur dengan menggunakan *software midas civil*.



Gambar 5.27 Pemodelan Beban Lajur.

Hasil permodelan pada Gambar 5.27 diketahui beban lajur sebesar 2785,09 kN atau 284 Ton.

#### 5.4.3 Evaluasi Kapasitas Sisa Struktur

Evaluasi kapasitas sisa jembatan dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian dengan hasil Analisa struktur. Nilai Kapasitas adalah kelebihan beban yang masih dapat ditahan oleh jembatan pada kondisi harian (*Inventory*) dan kondisi khusus (*operating*). Tinjauan untuk menentukan kapasitas sisa jembatan adalah berdasarkan nilai *defleksi* yang diperoleh dari pengujian dan Analisa struktur. Berikut perhitungan kapasitas sisa dari setiap elemen struktur jembatan Melengo dengan tinjauan lendutan yang terjadi pada struktur.

Tabel 5.19 Kapasitas Sisa Setiap Elemen Struktur Jembatan Melengo Dengan Tinjauan Lendutan

No	Pembebanan	Nilai Lendutan (mm)	
		Analisis	Pengujian
1	1 Truk (15 Ton)	5,68	8,51
2	2 Trukt (30 Ton)	4,45	7,10
3	3 Truk (45 Ton)	5,52	11,81
4	Beban Lajur (284 Ton)	55,39	<b>X</b>

Pada Tabel 5.19 dapat diketahui bahwa nilai lendutan pada pembebanan 1 truk, 2 truk dan 3 truk sudah diperoleh nilai lendutan berdasarkan analisis dan pengujian. Namun, untuk lendutan akibat beban lajur hanya didapat berdasarkan Analisa struktur dan untuk memperoleh nilai lendutan akibat beban lajur saat pengujian, dapat dilakukan pendekatan dengan cara interpolasi, maka diperoleh nilai lendutan seperti pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Kapasitas Sisa Setiap Elemen Struktur Jembatan Melengo Tinjauan Lendutan dengan Cara Interpolasi

No	Pembebanan	Nilai Lendutan (mm)	
		Analisis	Pengujian
1	1 Truk (15 Ton)	5,68	8,51
2	2 Trukt (30 Ton)	4,45	7,10
3	3 Truk (45 Ton)	5,52	11,81
4	Beban Lajur (284 Ton)	55,39	<b>86,69</b>

Berdasarkan Tabel 5.20 dapat diketahui bahwa nilai estimasi lendutan pengujian jika menggunakan beban lajur adalah sebesar 86,69 mm. Jika dibandingkan dengan lendutan hasil Analisa struktur (55,39 mm), lendutan pengujian lebih besar dari pada lendutan analisa struktur dengan persentasi peningkatan sebesar 157%, maka dapat diketahui kapasitas sisa jembatan adalah  $284 \text{ ton} - (57\% \times 284 \text{ ton}) = 122 \text{ ton}$  dan dapat diambil kesimpulan bahwa kapasitas sisa dari struktur jembatan adalah sebesar 122 Ton atau 43% dari beban lajur.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pembebanan statis dengan total beban uji maksimum sebesar 45 ton (setara dengan beban truk 15-ton sebanyak 3 truk), dapat disimpulkan bahwa pada Struktur Jembatan Melengo berdasarkan hasil pengujian pembebanan statis adalah sebagai berikut:

1. Tegangan aktual maksimum sebesar  $-31,6 \text{ Mpa}$  terjadi pada kombinasi 3 dengan total beban 45 Ton pada struktur *Edge Beam* area tumpuan dan tambahan lendutan pada jembatan saat pengujian sebesar  $-11,81 \text{ mm}$  (terjadi pada bacaan LVDT). Tegangan aktual maksimum yang terjadi lebih kecil tegangan leleh ijin baja sebesar  $305,02 \text{ Mpa}$  sehingga struktur jembatan dapat disimpulkan dalam keadaan aman, sedangkan lendutan ijin adalah  $66000/800 = 82,50 \text{ mm}$  sehingga lendutan yang terjadi pada saat pengujian masih dalam kategori aman, namun jika lendutan saat pengujian ditambahkan dengan lendutan yang telah terjadi sebelum pengujian (rata-rata  $118,5 \text{ mm}$ ) menjadi  $130,31 \text{ mm}$  lendutan yang terjadi melebihi lendutan ijin yang berlaku.
2. Perilaku Jembatan Melengo berdasarkan hasil analisis terhadap pengamatan antara lain, tegangan aktual sebesar  $-31,6 \text{ Mpa}$  lebih besar dari tegangan analisis sebesar  $-12,64 \text{ Mpa}$ , lendutan aktual sebesar  $-11,81 \text{ mm}$  lebih besar dari lendutan analisis sebesar  $-5,33 \text{ Mpa}$  dan *displacement* aktual sebesar  $15 \text{ mm}$  lebih besar dari *displacement* analisis sebesar  $3,98 \text{ mm}$ . Tinjauan



Tegangan, Lendutan dan *Displacement* lebih besar dibandingkan dengan nilai Tegangan, Lendutan dan *Displacement* berdasarkan tinjauan Analisa struktur, hal ini menunjukkan bahwa kondisi jembatan kurang baik.

3. Kapasitas Sisa struktur jembatan adalah sebesar 122 Ton atau 43% dari beban lajur (284 Ton)

## 6.2 Saran

Berikut beberapa saran berdasarkan hasil pengujian pada Jembatan Melengo, Siak – Riau yang telah dilakukan:

1. Perlu dilakukan pemeriksaan rutin secara berkala untuk memastikan bahwa struktur masih berfungsi secara layak khususnya pada sambungan las.
2. Perlu dilakukan pembatasan berat kendaraan atau beban *inventory* maksimum agar umur jembatan dapat bertahan lebih lama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alifyanti, M.W. Tjaronge, Rita, 2015, *Evaluasi Kondisi Eksisting Struktur Atas Jembatan Bailey Molintogupo*, Kabupaten Bone Bolango, Gorontalo
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 2000, *Manual for Condition Evaluation of Bridges. 2nd edition*. Washington, DC: AASHTO
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 2003, *Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridge*, Washington
- Badan Standardisasi Nasional SNI 03-1725-1989, 1989, *Tata Cara Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional RSNI T-02-2005, 2005, *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional SK.SNI T-03-2005, 2005, *Perencanaan struktur baja untuk jembatan*, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional SNI 1725:2016, 2016, *Pembebanan untuk jembatan*, Jakarta
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Pt-05-2002-B, 2002, *Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas Dengan Cara Uji Getar*, Jakarta
- Direktorat Djendral Bina Marga Nomor 12/1970, 1970, *Peraturan Muatan untuk Djembatan Djalan Raya*, Jakarta

- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1992, *Bridge Management System 1992*, Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Marga 024/BM/2011, 2011, *Pedoman Penentuan Sisa Kapasitas Jembatan*, Jakarta
- Graha survei Indonesia. PT, 2017, *Laporan Pemeriksaan (Static & Dinamic Test di Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan)*, Tangerang
- Hardiansyah, Cahya, 2014, *Perbandingan Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal Berdasarkan Hasil Pengujian Beban Dinamik dan Statik*, Bandung
- Hou, T. and P. J. Lynch, 2006, “*Rapid-to-deploy wireless monitoring systems for static and dynamic load-testing of bridges: validation on the grove street bridge*,” in 13th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Proceedings of SPIE. San Diego: SPIE
- Hubo Cai, et al. 2012. “*Bridge Deck Load Testing Using Sensors and Optical Survey Equipment*”, *Advances in Civil Engineer*, 2012, Article ID 493983
- Hutama Karya (Persero). PT, 2018, *Laporan Uji Beban Jembatan Siak II Kota Pekanbaru*, Pekanbaru
- Kementerian Pekerjaan Umum, Ditjen Bina Marga. 2010. *Uji Pembebanan Jembatan Sebagai Standar Awal Pengoperasian jembatan Untuk Lalu Lintas Umum (Studi Kasus Jembatan Timpah)*, Jakarta, Subdit Teknik Jembatan

- Kementerian Pekerjaan Umum, Puslitbang Jalan dan Jembatan.2012. *Laporan Uji Pembebanan Statis dan Dinamis Jembatan Integral Sinapeul B Kabupaten Sumedang*. Bandung: Pusjatan
- Kleinhans, D. D., Myers, J. J., & Nanni, A. (2007). "Assessment of load transfer and load distribution in bridges utilizing FRP panels". *Journal of Composites for Construction*
- Ministry of Public Work Republic of Indonesia 1992, *Bridge Management System (BMS)*, Jakarta
- Retno, Anton, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan 2013, *Analisis Uji Beban Kendaraan Terhadap Jembatan Integral Penuh (Loading Test Analysis Of Full Integral Bridge)*, Bandung
- Widi, Gatot, 2017, *Evaluasi Beban Layan Jembatan Apung Pejalan Kaki Tipe Pelengkung Rangka Baja Berdasarkan Uji Pembebanan*, Bandung
- Winarputro, Gatot, 2014, *Evaluasi Kapasitas Jembatan Sementara Tipe Modular Baja Dengan Metode Uji Pembebanan*, Bandung
- Yosephine, Jusuf dan Wilhelmus, *Analisa Nilai Sisa Kapasitas Bangunan Atas Jembatan Bahanapu Dengan Menggunakan Metode Rating Factor*