

TUGAS AKHIR

***RE-DESIGN* STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE *WARREN* DAN *CAMEL BACK* (STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO, KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



**Disusun Oleh :
Zulfa Nur Aini
NIM : 30201900257**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025**

TUGAS AKHIR

***RE-DESIGN* STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE *WARREN* DAN *CAMEL BACK* (STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO, KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025**

LEMBARAN PENGESAHAN

RE-DESIGN STRUKTUR ATAS JEMBATAN
RANGKA BAJA TIPE *WARREN* DAN *CAMEL BACK*
(STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO,
KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)



Zulfa Nur Aini
NIM : 30201900250

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2025

Tim Penguji

Linda Tugan

Dr. Ir. Juny Andry Sulistyono, S.T., M.T.
NIDN : 0611118903

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 67 / A.2 / SA – T / VI / 2025

Pada hari ini tanggal 10 Juni 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama:

1. Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir.

Zulfa Nur Aini
NIM : 30201900257

Judul: Re-Design Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Tipe Warren dan Camel Back, Studi Kasus (Jembatan Kali Babon, Terboyo, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah)

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	19/06/2025	ACC
2	Seminar Proposal	19/07/2025	ACC
3	Pengumpulan Data	21/07/2025	ACC
4	Analisis Data	28/07/2025	ACC
5	Penyusunan Laporan	1/08/2025	ACC
6	Selesai Laporan	15/08/2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan sepenuhnya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Zulfa Nur Aini

NIM : 30201900257

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

RE-DESIGN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE *WARREN*
DAN *CAMEL BACK*, (STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO,
KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, Agustus 2025
Yang Membuat Pernyataan

Zulfa Nur Aini
NIM : 30201900257

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Zulfa Nur Aini

NIM : 30201900257

Judul: "RE-DESIGN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE WARREN DAN CAMEL BACK, (STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO, KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)"

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2025
Yang Membuat Pernyataan



Zulfa Nur Aini
NIM : 30201900257

MOTTO

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.” (QS. Ali ‘Imran :110)

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (QS. Al A’raf : 58)

“Dari bumilah Kami ciptakan kamu, dan ke dalamnya Kami akan mengembalikan kamu, dan dari padanya pula Kami akan mengeluarkan kamu sekali lagi.” (QS. At Taha : 55)

“Maka jika kamu tidak dapat membuat(nya) – dan pasti kamu tidak akan dapat membuat(nya), peliharalah dirimu dari neraka yang bahan bakarnya manusia dan batu, yang disediakan bagi orang-orang kafir” (Q.S. Al-Baqarah : 24)

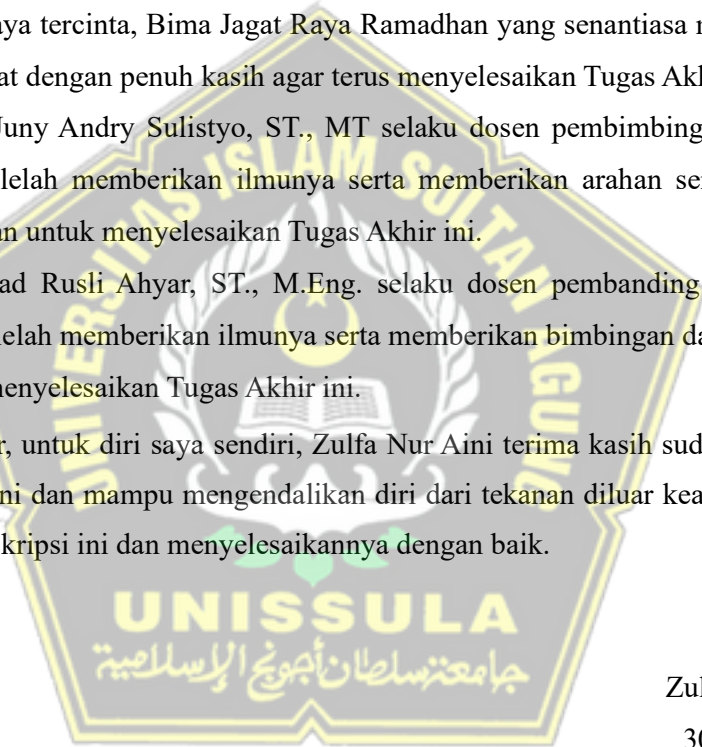
"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan". (HR Tirmidzi)

“waktu itu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”. (HR. Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, semangat serta motivasi baik.
2. Suami saya, yang senantiasa mendukung, menemani, dan menjadi tempat melepaskan segala keluh kesah saya semasa perkuliahan hingga proses penyusunan Tugas Akhir ini baik secara moril maupun materil.
3. Anak saya tercinta, Bima Jagat Raya Ramadhan yang senantiasa memberikan semangat dengan penuh kasih agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan bimbingan dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Zulfa Nur Aini terima kasih sudah berjuang sejauh ini dan mampu mengendalikan diri dari tekanan diluar keadaan dalam proses skripsi ini dan menyelesaikannya dengan baik.



Zulfa Nur Aini

30201900257

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “ *RE-DESIGN* STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE *WARREN* DAN *CAMEL BACK* (STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO, KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan bebrapa pihak, dalam kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik, dan bimbingan.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Sarjana Strata 1 (S1) Program Studi Teknik Sipil.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis juga bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
ABSTRAK	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pengertian Jembatan	4
2.2. Kelas Jembatan	5
2.2.1 Jembatan Kelas Standar (A/I)	5

2.2.2 Jembatan Kelas Sub Standar (B/II)	5
2.2.3 Jembatan Kelas Low Standar (C/III).....	6
2.3. Klasifikasi Jembatan	6
2.4. Jembatan Rangka Baja	7
2.5. Jembatan Rangka Baja Tipe <i>Warren</i> Truss	8
2.6. Jembatan Rangka Baja Tipe <i>Camel Back</i> Truss	8
2.7. Bagian-Bagian Jembatan.....	9
2.7.1 Konstruksi Bagian Atas Jembatan (Upperstructure)	10
2.7.2 Konstruksi Struktur Bawah Jembatan (Substructure)	10
2.8. Pembebanan Pada Jembatan	11
2.8.1 Beban Permanen.....	12
2.9. Kombinasi Pembebanan.....	14
2.10. Komponen Penyusun Struktur Jembatan Rangka Baja.....	17
2.10.1 Batang Tepi Atas (Top Chord).....	17
2.10.2 Batang Tepi Bawah (Bottom Chord).....	17
2.10.3 Batang diagonal.....	17
2.10.4 Ikatan Angin Atas (Upper Bracing).....	18
2.10.5 Gelagar Ventelang (Cross Stringer).....	18
2.10.6 Gelagar Ventelang Ujung (End Cross Girder).....	18
2.10.7 Tumpuan Karet (Seismic Buffer)	18
2.11. Pengertian Baja	19
2.11.1 Jenis-jenis Baja.....	19
2.11.2 Sifat Mekanis Baja	19
2.12. Tahapan Perencanaan Struktur.....	20
2.13. Pemodelan struktur menggunakan Software SAP2000	20
2.13.1 Analisis Gaya Dalam dan Lendutan	20

2.13.2 Simulasi Beban Bergerak pada Jembatan	20
2.13.3 Review Struktur Atas Rangka Jembatan.....	21
2.14. Penelitian Terdahulu Sejenis	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1. Uraian Umum.....	29
3.2. Parameter Jembatan Eksisting	29
3.3. Spesifikasi Material Struktur	30
3.4. Perbandingan Desain pada Rangka Jembatan.....	30
3.5. Pedoman Perencanaan.....	30
3.6. Load Cases Analyze	31
3.6.1 Beban Permanen.....	32
3.6.2 Beban Transien.....	32
3.6.3 Beban Angin.....	35
3.6.4 Beban Temperatur	36
3.6.5 Beban Seismik (E_q)	36
3.7. Diagram Aliran.....	37
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1. Preliminary Design	39
4.2. Perancangan Tebal Pelat Lantai	39
4.2.1 Pelat Lantai Rangka Jembatan	40
4.3. Pembebanan Struktur Jembatan	40
4.3.1 Beban mati (MS)	41
4.3.2 Beban mati tambahan dan utilitas (MA)	41
4.3.3 Beban Lajur (TD)	44
4.3.4 Beban truk (TT).....	50
4.3.5 Gaya Rem (TB)	54

4.3.6 Beban Temperatur (EU_n).....	57
4.3.7 Beban Angin (EW_s).....	60
4.3.8 Beban Seismik (EQ).....	65
4.3.9 Kombinasi Beban Terfaktor	71
4.4. Perancangan Struktur Rangka Jembatan <i>Warren</i> dan <i>Camel Back</i>	71
4.4.1 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan.....	72
4.4.2 Perancangan Gelagar Memanjang.....	73
4.4.3 Perancangan Gelagar Melintang	76
4.4.4 Perancangan Batang Diagonal	79
4.4.5 Perancangan Top Chord	82
4.4.6 Perancangan Top Bracing.....	85
4.4.7 Kontrol Lendutan pada Rangka Jembatan	88
4.4.8 Gaya Aksial Yang Terjadi Pada Rangka Jembatan tipe Warren	89
4.4.9 Gaya Aksial Yang Terjadi Pada Rangka Jembatan Tipe Camel Back.....	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	101
5.1. Kesimpulan	101
5.2. Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA.....	103
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kombinasi Beban terfaktor	15
Tabel 2.2 Kombinasi Beban terfaktor (Lanjutan)	16
Tabel 2.2 Penelitian terdahulu sejenis	22
Tabel 2.3 Penelitian terdahulu sejenis (Lanjutan)	23
Tabel 2.4 Penelitian terdahulu sejenis (Lanjutan)	24
Tabel 2.5 Penelitian terdahulu sejenis (Lanjutan)	25
Tabel 2.6 Penelitian terdahulu sejenis (Lanjutan)	26
Tabel 2.7 Penelitian terdahulu sejenis (Lanjutan)	27
Tabel 2.8 Penelitian terdahulu sejenis (Lanjutan)	28
Tabel 3.1 Tabel nilai V0 dan nilai Z0 untuk berbagai variasi kondisi.....	35
Tabel 3.2 Tabel tekanan angin dasar	35
Tabel 4.1 Standar Ketebalan Aspal Hotmix	40
Tabel 4.2 Total rekapitulasi beban mati tambahan	42
Tabel 4.3 Total rekapitulasi beban lajur (TD)	50
Tabel 4.4 Standar Temperatur Lantai Jembatan	57
Tabel 4.5 Kelas Situs Tanah	65
Tabel 4.6 Data <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) <i>Bore Hole 02</i>	66
Tabel 4.7 Faktor amplifikasi untuk PGA periode 0,2 detik.....	69
Tabel 4.8 Faktor amplifikasi untuk PGA periode 1 detik.....	69
Tabel 4.9 P.M Ratio Rangka Jembatan tipe <i>Warren</i>	95
Tabel 4.10 P.M Ratio Rangka Jembatan tipe <i>Camel Back</i>	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis- jenis geometri jembatan rangka baja.....	7
Gambar 2.2 Potongan memanjang Jembatan rangka baja tipe <i>Warren truss</i>	8
Gambar 2.3 Perspektif 3-dimensi Jembatan rangka baja tipe <i>Warren truss</i>	8
Gambar 2.4 Potongan memanjang Jembatan rangka baja tipe <i>Camel Back truss</i> ...	9
Gambar 2.5 Perspektif 3-dimensi Jembatan rangka baja tipe <i>Camel Back truss</i>	9
Gambar 2.6 Bagian- Bagian Jembatan.....	10
Gambar 2.7 Konstruksi Bagian Atas dan Bawah Jembatan.....	11
Gambar 2.8 Komponen struktur jembatan rangka baja	17
Gambar 3.1 Beban Lajur “D”	33
Gambar 3.2 Beban Truk “TT”	33
Gambar 3.3 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampau 7% dalam 75 tahun.....	36
Gambar 3.4 <i>Flow Chart</i> Review Struktur Rangka Jembatan.....	37
Gambar 4.1 Desain jembatan rangka baja tipe <i>Warren</i>	39
Gambar 4.2 Desain jembatan rangka baja tipe <i>Camel Back</i>	39
Gambar 4.3 Pengaturan <i>Self Weight Multiplier</i> Pada <i>Load Pattern</i> Beban Mati Struktur (MS)	41
Gambar 4.4 Pengaplikasian Beban Mati (MA) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Warren Truss</i> menggunakan aplikasi SAP200 V14	42
Gambar 4.5 Pengaplikasian Beban Mati (MA) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Camel Back Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP200 V14	43
Gambar 4.6 Pengaplikasian Beban Lajur Terbagi Merata (BTR) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Warren truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	45
Gambar 4.7 Pengaplikasian Beban Lajur Terbagi Merata (BTR) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Camel Back Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	46
Gambar 4.8 Pengaplikasian Beban Lajur Garis Terpusat (BGT) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Warren Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000.....	48
Gambar 4.9 Pengaplikasian Beban Lajur Garis Terpusat (BGT) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Camel Back</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000.....	49
Gambar 4.10 Distribusi beban roda truk	50

Gambar 4.11 Pengaplikasian Beban Truk Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Warren Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	52
Gambar 4.12 Pengaplikasian Beban Truk Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Camel Back Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	53
Gambar 4.13 Pengaplikasian Gaya rem Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Warren truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	55
Gambar 4.14 Pengaplikasian Gaya rem Pada struktur rangka Jembatan Tipe <i>Camel Back Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	56
Gambar 4.15 Pengaplikasian Beban temperatur Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Warren truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000	58
Gambar 4.16 Pengaplikasian Beban temperatur Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe <i>Camel Back Truss</i> Menggunakan Aplikasi SAP2000.....	59
Gambar 4.17 Penginputan Beban Angin Pada <i>Joint</i> Rangka Jembatan <i>Warren Truss</i> Yang Terkena Bidang Tekan	61
Gambar 4.18 Penginputan Beban Angin Pada <i>Joint</i> Rangka Jembatan <i>Warren Truss</i> Yang Terkena Bidang Hisap.....	62
Gambar 4.19 Penginputan Beban Angin Pada <i>Joint</i> Rangka Jembatan <i>Camel Back Truss</i> Yang Terkena Bidang Tekan.....	63
Gambar 4.20 Penginputan Beban Angin Pada <i>Joint</i> Rangka Jembatan <i>Camel Back Truss</i> Yang Terkena Bidang Hisap	64
Gambar 4.21 Lokasi Jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang	65
Gambar 4.22 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)	67
Gambar 4.23 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik	67
Gambar 4.24 Peta Respon Spektra Percepatan 1 detik	68
Gambar 4.25 Grafik Respons Spektrum Jembatan Kalibabon.....	70
Gambar 4.26 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan tipe <i>Warren</i> pada aplikasi SAP2000 V22	72
Gambar 4.27 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan tipe <i>CamelBack</i> pada aplikasi SAP2000 V22.....	72
Gambar 4.28 Profil Baja Gelagar Memanjang	73
Gambar 4.29 Data Profil Baja Gelagar Memanjang	74

Gambar 4.30 Profil Baja Gelagar Melintang	76
Gambar 4.31 Data Profil Baja Gelagar Melintang.....	77
Gambar 4.32 Profil Baja Batang Diagonal	79
Gambar 4.33 Data Profil Baja Batang Diagonal	80
Gambar 4.34 Profil Baja <i>Top Chord</i>	82
Gambar 4.35 Data Profil Baja <i>Top Chord</i>	83
Gambar 4.36 Profil Baja <i>Top Bracing</i>	85
Gambar 4.37 Data Profil Baja <i>Top Bracing</i>	86
Gambar 4.38 Lendutan yang terjadi pada Rangka Jembatan tipe <i>Warren</i>	88
Gambar 4.39 Lendutan yang terjadi pada Rangka Jembatan Tipe <i>Camel Back</i>	88
Gambar 4.40 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Rangka Jembatan Baja Tipe <i>Warren</i>	89
Gambar 4.41 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Gelagar Melintang Rangka Jembatan Tipe <i>Warren</i>	90
Gambar 4.42 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Gelagar Memanjang Rangka Jembatan Tipe <i>Warren</i>	91
Gambar 4.43 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Batang diagonal Rangka Jembatan Tipe <i>Warren</i>	92
Gambar 4.44 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Top Chord Rangka Jembatan Tipe <i>Warren</i>	93
Gambar 4.45 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Top Bracing Rangka Jembatan Tipe <i>Warren</i>	94
Gambar 4.46 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Jembatan Baja Tipe <i>Camel Back</i>	95
Gambar 4.47 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Gelagar Melintang Rangka Jembatan Tipe <i>Camel Back</i>	96
Gambar 4.48 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Gelagar Memanjang Rangka Jembatan Tipe <i>Camel Back</i>	97
Gambar 4.49 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Batang diagonal Rangka Jembatan Tipe <i>Camel Back</i>	98
Gambar 4.50 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Top Chord Rangka Jembatan Tipe <i>Camel</i> <i>Back</i>	99
Gambar 4.51 Hasil <i>Running</i> P.M Ratio Top Bracing Rangka Jembatan Tipe <i>Camel</i> <i>Back</i>	100

DAFTAR NOTASI

f_u	= Tegangan putus minimum (Mpa)
f_y	= Tegangan leleh minimum (Mpa)
V	= Kecepatan (km/jam)
P	= Beban gandar (kN)
E	= Modulus elastisitas (Mpa)
L	= Panjang jembatan (m)
n	= Jumlah medan ekonomis
a	= Koefisien beban sentrifugal
LR	= Beban lateral kereta
EQ	= Gaya gempa horizontal statis (kN)
C_{sm}	= Koefisien respon gempa
MS	= Beban mati struktur (kN/m ²)
MA	= Beban mati tambahan (kN/m ²)
TD	= Beban Lajur (kN)
TB	= Beban Rem (kN)
EU_n	= Beban Temperatur (Derajat)
EW_s	= Beban Angin (kN)
EQ	= Beban Seismik



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I DATA HASIL PENYELIDIKAN TANAH.....	104
Gambar 1.1 Data Bor Log (BH-02)	104
Gambar 1.2 Data Bor Log (BH-02) Lanjutan	105
LAMPIRAN II PERSPEKTIF 3 DIMENSI RANGKA JEMBATAN TIPE <i>WARREN</i>	106
Gambar 2.1 Perspektif Tampak 1	106
Gambar 2.2 Perspektif Tampak 2	106
LAMPIRAN III PERSPEKTIF 3 DIMENSI RANGKA JEMBATAN TIPE <i>CAMEL BACK</i>	107
Gambar 3.1 Perspektif Tampak 1	107
Gambar 3.2 Perspektif Tampak 2	107



**RE-DESIGN STRUKTUR ATAS JEMBATAN
RANGKA BAJA TIPE *WARREN* DAN *CAMEL BACK*
(STUDI KASUS : JEMBATAN KALI BABON, TERBOYO,
KOTA SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)**

Abstrak

Untuk menjaga kelancaran arus lalu lintas, kondisi prasarana transportasi, termasuk jembatan, harus senantiasa dirawat dan dipelihara. Hingga saat ini pedoman yang digunakan dalam perancangan jembatan rangka baja masih mengacu pada Pedoman No: 07/BM/2005 yang diterbitkan Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain profil dan keamanan struktur atas jembatan rangka baja tipe *Warren* dan *Camel Back* pada Jembatan Kali Babon, Terboyo, Semarang.

Penelitian ini menggunakan metode LRFD (Load and Resistance Factor Design), yaitu pendekatan berdasarkan konsep probabilistik yang memanfaatkan data statistik dari beban dan kekuatan struktur. Peraturan yang dijadikan acuan mencakup Standar Nasional Indonesia (SNI) 1725:2016, (SNI) 2833:2016 dan (SNI) 1729:2020.

Pada hasil analisis menunjukkan dengan profil baja yang sama pada kedua tipe jembatan dengan I-WF 900 x 300 untuk gelagar melintang, I-WF 600 x 200 untuk gelagar memanjang, H-Beam 400 x 400 untuk batang diagonal, H-Beam 400 x 400 untuk *Top Chord*, dan H-Beam 300 x 300 untuk *Top Bracing* mampu menahan beban-beban yang bekerja dan dikategorikan aman terhadap Batas Lendutan Jembatan yaitu sebesar 6,25 cm, dan nilai P.M Ratio maksimum dikategorikan aman karena lebih kecil dari koefisien 1.

Kata Kunci: *Jembatan; Rangka Baja; Warren ; Camel Back*

RE-DESIGN OF THE UPPER STRUCTURE OF A BRIDGE
WARREN AND CAMEL BACK STEEL FRAME
(CASE STUDY: KALI BABON BRIDGE, TERBOYO,
SEMARANG CITY, CENTRAL JAVA PROVINCE)

Abstract

To maintain smooth traffic flow, transportation infrastructure, including bridges, must be regularly maintained and inspected. To date, the guidelines used in the design of steel truss bridges still refer to Guidelines No. 07/BM/2005 issued by the Directorate General of Highways, Ministry of Public Works. This study aims to analyze the design profile and structural safety of the Warren and Camel Back steel truss bridges at the Kali Babon Bridge in Terboyo, Semarang.

This study employs the LRFD (Load and Resistance Factor Design) method, which is a probabilistic approach utilizing statistical data on loads and structural strength. The regulations referenced include Indonesian National Standards (SNI) 1725:2016, (SNI) 2833:2016, and (SNI) 1729:2020.

The analysis results show that with the same steel profiles for both bridge types—I-WF 900 x 300 for transverse girders, I-WF 600 x 200 for longitudinal girders, H-Beam 400 x 400 for diagonal members, H-Beam 400 x 400 for the top chord, and H-Beam 300 x 300 for the top bracing, capable of withstanding the applied loads and categorized as safe with respect to the Bridge Deflection Limit of 6.25 cm, and the maximum P.M Ratio is categorized as safe because it is less than the coefficient of 1.

Keywords: *Bridge; Steel Frame; Warren ; Camel Back*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infrastruktur merupakan sistem fisik yang menyediakan sarana transportasi, pengairan, drainase, bangunan gedung, dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan dasar manusia, baik kebutuhan ekonomi maupun kebutuhan sosial (Neil S. Grigg, 1988).

Jalan dan jembatan merupakan bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah (UU 38 Tahun 2004).

Struktur atas jembatan berfungsi untuk menahan dan mendistribusikan beban dari lalu lintas serta beban mati ke struktur bawah. Ornamen struktur atas pada jembatan adalah meliputi gelagar utama, balok diafragma, pelat lantai jembatan, lapisan permukaan jalan (aspal atau beton), trotoar, kepala pilar, rangka jembatan (baja), perletakan jembatan.

Desain struktur jembatan sebelum dan sesudah pergantian rangka baja jembatan dari sisi teknis, seperti perubahan beban mati (dead load), distribusi gaya, respons struktur terhadap angin, hingga potensi perubahan metode konstruksi. Perlakuan struktur inilah yang dihitung apakah jembatan layak dilewati oleh kendaraan atau tidak.

SAP2000 adalah sebuah perangkat lunak (software) yang digunakan untuk analisis dan desain struktur, khususnya bangunan bertingkat tinggi dan jembatan. SAP2000 dapat membuat model struktur secara 2D maupun 3D, kemudian menerapkan berbagai jenis beban seperti beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Program ini kemudian menghitung respons struktur berupa momen, gaya geser, dan gaya normal yang diperlukan untuk mendesain elemen struktural seperti tulangan beton atau profil baja.

SAP2000 menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) yang memungkinkan analisis struktur secara menyeluruh dan detail, termasuk analisis statik dan dinamik.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penyusunan tugas akhir ini, ada beberapa rumusan masalah yang akan dibahas, diantaranya :

Berikut merupakan penjabaran rumusan masalah terhadap penjelasan latar belakang diatas :

- a. Bagaimana cara menganalisis struktur atas pembangunan Jembatan Kali Babon menggunakan aplikasi SAP2000?
- b. Bagaimana cara menganalisis struktur atas pembangunan Jembatan Kali Babon dengan perubahan desain rangka baja jembatan menggunakan aplikasi SAP2000?

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan yang didapatkan dari rumusan masalah diatas :

- a. Menganalisis desain profil dari elemen struktur rangka jembatan tipe *Warren* dan *Camel Back*.
- b. Menganalisis lendutan maksimum yang terjadi pada struktur rangka jembatan tipe *Warren* dan *Camel Back*.
- c. Menganalisis rasio keamanan struktur rangka jembatan tipe *Warren* dan *Camel Back*.

1.4. Batasan Masalah

Pada penyusunan tugas akhir ini, ada batasan-batasan terhadap pertanyaan-pertanyaan yang menjadi pokok bahasan penelitian, diantaranya :

- a. Meninjau perilaku struktur atas rangka jembatan Kali Babon (gelagar melintang, gelagar memanjang, batang diagonal, *top chord*, *top bracing*.), dengan tipe rangka jembatan *Warren truss*
- b. Meninjau perilaku struktur atas rangka jembatan Kali Babon (Gelagar melintang, gelagar memanjang, batang diagonal, *top chord*, *top bracing*.), dengan tipe rangka jembatan *Camel Back truss*

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Memberikan perbandingan perilaku struktur atas jembatan Kali Babon ketika menggunakan desain dengan tipe rangka jembatan *Warren truss* dan *Camel Back truss*
- b. Memberikan perbandingan analisa penampang elemen pada struktur atas jembatan Kali Babon ketika menggunakan desain dengan tipe rangka jembatan *Warren truss* dan *Camel Back truss*



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Jembatan

Jembatan adalah infrastruktur lalu lintas dan merupakan fasilitas umum yang berfungsi menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah, sehingga lalu lintas seperti kendaraan, maupun pejalan kaki dapat melewati. Jembatan dibuat agar roda ekonomi dapat berjalan dengan baik karena bagian yang terpisah oleh rintangan seperti sungai, jalan lain, dan lembah terhubung oleh jembatan, baik roda ekonomi secara lokal maupun interlokal.

Jembatan merupakan suatu jenis konstruksi yang digunakan untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah, seperti jalan air atau jalan lalu lintas biasa (Struyk dan Veen, 1984).

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/atau saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi elevasi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persiaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi akses lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Jembatan tidak serta-merta dibangun tanpa perhitungan struktur, sehingga dibutuhkan ahli khusus untuk merancang dan melaksanakan pekerjaan jembatan. Salah satunya struktur atas jembatan yang meliputi gelagar utama, balok diafragma, pelat lantai jembatan, lapisan permukaan jalan (aspal atau beton), trotoar, kepala pilar, rangka jembatan (baja), perletakan jembatan.

Menurut SNI 1725:2016 (Standar Nasional Indonesia tentang Beban Minimum) Jembatan dikategorikan aman apabila :

1. Struktur utama jembatan mampu menahan beban rencana
2. Tidak terjadi kerusakan permanen atau keruntuhan lokal
3. Terdapat sistem pengendalian deformasi dan getaran
4. Stabil terhadap pengaruh lingkungan, seperti angin, gempa, dan banjir.

Pembangunan jembatan Kali Babon dibangun untuk mengatasi masalah banjir dan meningkatkan aksesibilitas di jalur Pantai Utara (Pantura) pulau Jawa yang

mengitari beberapa kabupaten dan kota madya di sepanjang garis pantai utara pulau jawa, yang salah satunya juga menghubungkan Kota Semarang dan Kabupaten Demak, sehingga roda ekonomi masyarakat berjalan dengan baik secara lokal maupun interlokal.

2.2. Kelas Jembatan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, jembatan di Indonesia diklasifikasikan ke dalam tiga kelas utama, yaitu Kelas A, Kelas B, dan Kelas C. Klasifikasi ini dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan teknis, terutama terkait dengan fungsi jalan yang dilayani oleh jembatan tersebut serta lebar jembatan yang direncanakan dalam perencanaan teknisnya. Jembatan Kelas A merupakan jenis jembatan yang dirancang untuk melayani lalu lintas pada jalan nasional atau jalan provinsi, sehingga biasanya memiliki spesifikasi teknis yang lebih tinggi, baik dari segi kapasitas beban maupun lebar jalur lalu lintas. Selanjutnya, Jembatan Kelas B diperuntukkan bagi jalan kabupaten, dengan spesifikasi yang disesuaikan dengan kebutuhan lalu lintas lokal yang tidak sepadat jalan nasional atau provinsi. Adapun Jembatan Kelas C digunakan untuk melayani jalan dengan fungsi yang lebih rendah, seperti jalan desa atau jalan lingkungan, dan umumnya memiliki kapasitas yang lebih kecil dibandingkan dua kelas sebelumnya. Penggolongan jembatan ini penting dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur, karena akan memengaruhi standar teknis yang diterapkan, termasuk aspek kekuatan struktur, material yang digunakan, serta dimensi geometrik jembatan. Penjelasan lebih lanjut mengenai masing-masing golongan atau kelas jembatan tersebut dapat dilihat pada uraian di bawah ini:

2.2.1 Jembatan Kelas Standar (A/I)

Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 9 m (badan jalan 7 m dan lebar trotoar 1 m (kanan-kiri)) yang menggunakan beban lalu lintas BM – 100 (100% sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan Untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988)).

2.2.2 Jembatan Kelas Sub Standar (B/II)

Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 7 m (badan jalan 6 m & lebar trotoar 0.5 m (kanan-kiri)) yang menggunakan 9 beban lalu lintas

BM – 100 (100% sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan Untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988)).

2.2.3 Jembatan Kelas Low Standar (C/III)

Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 4.5 m (badan jalan 3.5 m & lebar trotoar 0.5 m (kanan-kiri) yang menggunakan beban lalu lintas BM – 70 (70% sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan Untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988)).

2.3. Klasifikasi Jembatan

Jembatan dapat diklasifikasikan menjadi bermacam-macam jenis/tipe menurut fungsi, keberadaan, material yang dipakai, jenis lantai kendaraan dan lain-lain (Siswanto, 1999). Pada setiap klasifikasi memiliki karakteristik, keunggulan, serta penerapan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan yang ada di lapangan maupun kondisi geografis dan sosial di sekitarnya.

Berdasarkan kegunaannya jembatan dapat dibedakan sebagai berikut (Agus Iqbal Manu, 1995:9):

1. Jembatan jalan raya (highway bridge)
2. Jembatan jalan kereta api (railway bridge)
3. Jembatan jalan air (waterway bridge)
4. Jembatan jalan pipa (pipeway bridge)
5. Jembatan militer (military bridge)
6. Jembatan pejalan kaki (pedestrian bridge)

Berdasarkan bahan atau material penyusun struktur konstruksinya, jembatan tergolong menjadi beberapa macam antara lain:

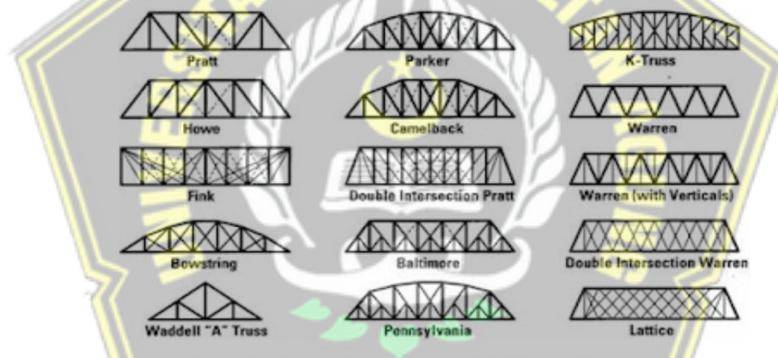
1. Jembatan beton
2. Jembatan beton prategang
3. Jembatan baja
4. Jembatan komposit
5. Jembatan Kayu

Berdasarkan tipe struktur konstruksinya, jembatan sendiri terbagi atas beberapa macam yaitu:

1. Jembatan gelagar (girder bridge)
2. Jembatan pelat (slab bridge)
3. Jembatan pelat berongga (void slab bridge)
4. Jembatan rangka (truss bridge)
5. Jembatan kabel (cable bridge)
6. Jembatan kantilever (cantilever bridge)
7. Jembatan gantung (suspension bridge)

2.4. Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja (steel bridge) adalah suatu konstruksi yang dibuat dari susunan batang- batang baja yang membentuk kumpulan segitiga, dimana setiap pertemuan beberapa batang disambung pada alat pertemuan/simpul dengan menggunakan alat penyambung (baut, paku keeling dan las lumer). (Triyanto dkk, 2018). Jenis jenis jembatan rangka baja terlampir pada gambar 2.1

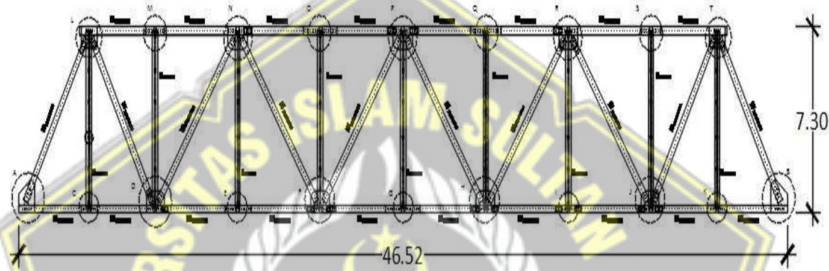


Gambar 2.1 Jenis- jenis geometri jembatan rangka baja
(sumber: <https://fajarnugraha96.blogspot.com>)

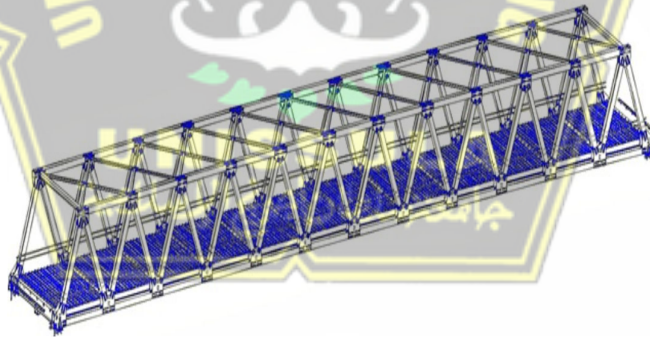
Dalam penulisan tugas akhir ini dilakukan kajian terhadap perilaku struktur atas pada dua desain rangka jembatan yang telah direview. Berdasarkan kajian tersebut dilakukan perbandingan serta analisis struktural terhadap dua jenis jembatan rangka baja, yaitu jembatan rangka baja tipe *Warren Truss* dan jembatan rangka baja tipe *Camel Back Truss*. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kelebihan dan kekurangan masing-masing tipe dari segi aspek struktural, sehingga dapat memberikan rekomendasi desain yang paling optimal dan sesuai dengan kebutuhan teknis.

2.5. Jembatan Rangka Baja Tipe *Warren Truss*

Tipe jembatan *Warren* pada awalnya ditemukan oleh James *Warren* pada tahun 1848 di Inggris. ciri – ciri dari Jembatan rangka batang tipe *Warren* ini adalah sistem struktur rangka batang tidak memiliki batang vertikal sehingga batang yang bekerja pada tipe rangka batang ini terdiri dari batang diagonal berbentuk segitiga sama sisi dan segitiga sama kaki dan batang horizontal sebagai penghubung antar batang diagonal. Ciri ciri dalam analisa struktur rangka jembatan tipe *Warren* adalah batang diagonal menerima gaya tekan (*Compression*) dan gaya tarik (*Tension*). (Veen, 1995). Model jembatan rangka baja tipe *Warren* dapat dilihat pada gambar 2.2 dan gambar 2.3



Gambar 2.2 Potongan memanjang Jembatan rangka baja tipe *Warren truss*
(Sumber : Latefah, 2017)



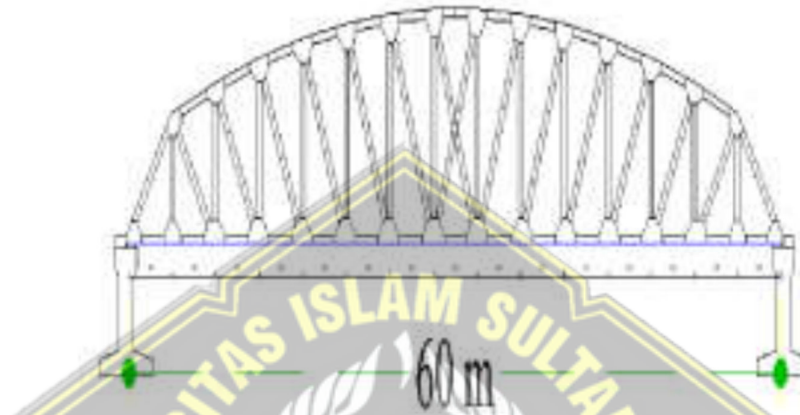
Gambar 2.3 perspektif 3-dimensi Jembatan rangka baja tipe *Warren truss*
(Sumber: <https://fabrikasikonstruksibaja.wordpress.com/>)

2.6. Jembatan Rangka Baja Tipe *Camel Back Truss*

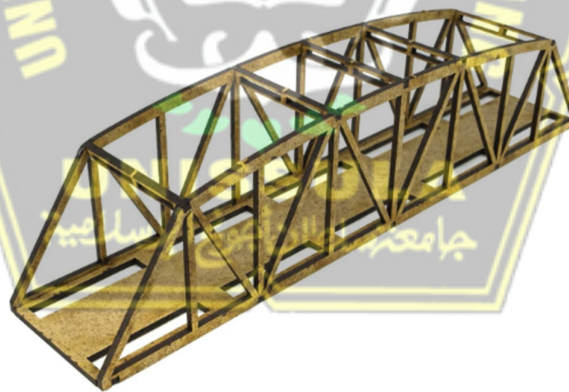
Sama seperti jembatan rangka baja tipe *Warren truss* yang elemen struktur jembatannya juga terdiri dari batang diagonal berbentuk segitiga sama sisi, segitiga sama kaki dan batang horizontal, yang membedakan jembatan rangka *Camel Back truss* dan jembatan rangka *Warren truss* adalah model struktur jembatan rangka *Camel Back truss* berbentuk lengkung, kondisi beban/lalu lintas dan bentang

jembatan yang akan direncanakan. Penggunaan *Camel Back* truss dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien. Selain itu jembatan ini memiliki nilai arsitektur yang lebih. (Ria Dewi (2016)).

Model jembatan rangka baja tipe *Camel Back* truss dapat dilihat pada gambar 2.3 dan gambar 2.4



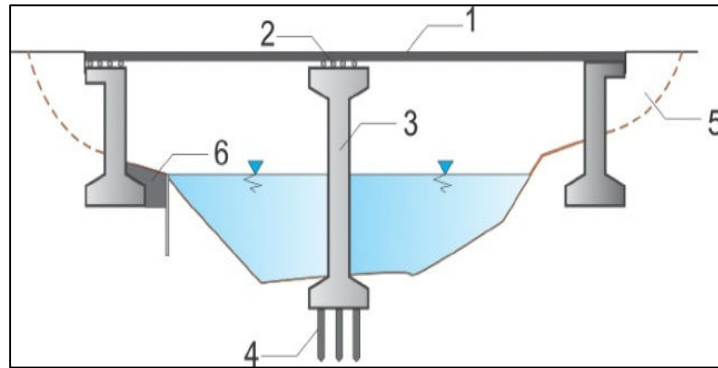
Gambar 2.4 Potongan memanjang Jembatan rangka baja tipe *Camel Back* truss
(Sumber: <https://eprints.itn.ac.id/4846/9/Jurnal.pdf>)



Gambar 2.5 perspektif 3-dimensi Jembatan rangka baja tipe *Camel Back* truss
(Sumber: <https://eprints.itn.ac.id/4846/9/Jurnal.pdf>)

2.7. Bagian-Bagian Jembatan

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan, 2022), bangunan atas jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi memikul langsung beban lalu lintas serta melimpahkannya ke bangunan bawah melalui struktur perletakan.



Gambar 2.6 Bagian- Bagian Jembatan
(Sumber: <https://wordpress.com/id/>)

2.7.1 Konstruksi Bagian Atas Jembatan (Upperstructure)

Struktur atas jembatan adalah bagian yang menahan beban dari kendaraan dan pejalan kaki. Bagian ini terdiri dari gelagar (balok), rantai jembatan, dan pengaku yang membantu menjaga kekuatan. Beban dari atas disalurkan ke bagian bawah jembatan. Bentuk dan jenis struktur atas berbeda-beda, tergantung jenis jembatannya. Struktur atas harus kuat agar jembatan aman dan tahan lama. Bagian-bagian bangunan atas jembatan terdiri dari :

1. Gelagar Utama (rangka, balok, masif, box, girder)
2. Gelagar Memanjang
3. Ikatan Angin
4. Sandaran
5. Rantai Jembatan
6. Expansion Joint

2.7.2 Konstruksi Struktur Bawah Jembatan (Substructure)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan, 2022), bangunan bawah jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi memikul bangunan atas dan semua beban yang bekerja pada struktur atas jembatan kemudian menyalurkannya ke pondasi. Jenis bangunan bawah terdiri dari:

- a. Pilar (*pier*)
- b. Abutment (kepala jembatan)

Sedangkan untuk jembatan gantung, bangunan bawah terdiri dari:

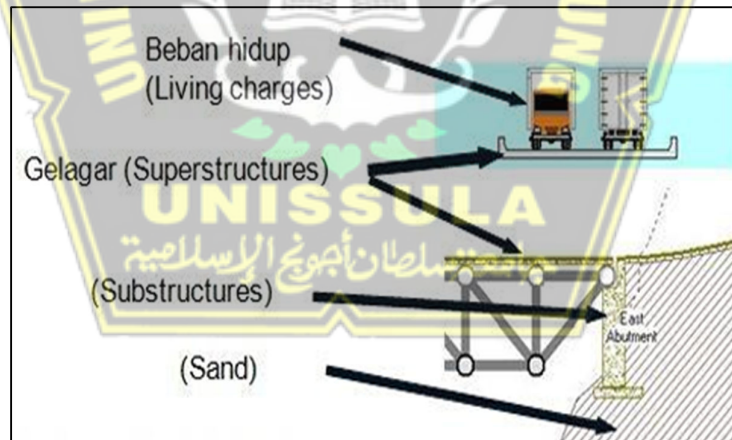
- a. Pilar
- b. Kabel penggantung
- c. Blok anker

Kepala jembatan (abutment), adalah bangunan bawah jembatan yang terletak pada kedua ujung pilar-pilar jembatan, berfungsi sebagai pemikul seluruh beban hidup (angin, kendaraan, dll.) dan mati (beban gelagar, dll.), serta berfungsi sebagai tembok penahan tanah yaitu menahan tekanan tanah aktif.

Sedangkan Pilar di gunakan untuk memberikan tekanan terhadap beban-beban yang bekerja pada pada bangunan atas, tidak terbatas hanya beban vertikal saja tetapi:

- a. Gaya gesekan
- b. Gaya aliran dan benda hanyutan
- c. Gaya rem
- d. Gempa

Pemilihan konstruksi bawah jembatan harus memperhatikan kondisi tanah setempat dan pola aliran sungai. Konstruksi ditetapkan berdasarkan pertimbangan kekuatan, biaya, serta kemudahan dalam pelaksanaan.



Gambar 2.7 Konstruksi Bagian Atas dan Bawah Jembatan.
(Sumber: Teknik Dasar Konstruksi Jembatan, Ir. Moh. Tontro Prastowo, M.T.)

2.8. Pembebanan Pada Jembatan

Pembebanan merupakan salah satu faktor penting dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan gedung, jembatan, dan struktur lainnya.

Seperti yang sudah diatur pada SNI:1725 tahun 2016 tentang pembebanan untuk jembatan, pembebanan pada jembatan terbagi menjadi dua yaitu beban Permanen

dan beban transier. Sedangkan untuk Beban gempa mengacu pada ketentuan SNI 2833 tahun 2016 tentang pembebanan jembatan terhadap gempa.

2.8.1 Beban Permanen

Beban permanen pada jembatan adalah beban yang sifatnya tetap dan selalu ada pada jembatan selama masa layannya. Beban ini meliputi berat sendiri struktur jembatan, seperti lantai, gelagar, dan elemen-elemen struktural lainnya, serta berat elemen non-struktural seperti perkerasan jalan, trotoar, pagar pengaman, dan utilitas.

Berikut merupakan beban-beban yang tergolong beban permanen yang bekerja pada jembatan:

1. Beban mati struktur

Beban mati struktur adalah berat seluruh komponen struktural jembatan, seperti lantai, gelagar, pilar, dan fondasi.

2. Beban mati non struktur

Beban mati non struktur adalah Berat elemen-elemen non-struktural yang terpasang pada jembatan, seperti perkerasan jalan, trotoar, pagar pengaman, lampu penerangan, dan saluran utilitas.

3. Gaya horizontal

Gaya horizontal adalah gaya akibat tekanan tanah pada dinding penahan (retaining wall) atau gaya lain yang bekerja secara horizontal pada struktur jembatan

4. Gaya akibat konstruksi

Gaya yang timbul selama proses pembangunan jembatan, termasuk gaya akibat pemasangan komponen-komponen jembatan.

Beban permanen pada jembatan adalah beban yang bersifat tetap dan selalu ada sepanjang masa layan jembatan. Beban ini tidak berubah-ubah seiring waktu dan menjadi bagian dari perencanaan struktur sejak awal. Karena sifatnya yang konstan, beban permanen sangat penting dalam menentukan kekuatan dan kestabilan jembatan secara keseluruhan.

Beban ini meliputi berat sendiri dari elemen-elemen struktural, seperti lantai jembatan, gelagar, dan komponen pendukung lainnya. Selain itu, beban permanen juga mencakup elemen non-struktural yang tetap ada, seperti lapisan perkerasan jalan, trotoar, pagar pengaman, dan utilitas yang terpasang di jembatan (misalnya pipa atau kabel). Semua elemen ini harus diperhitungkan secara cermat agar jembatan aman digunakan dalam jangka panjang.

Sedangkan beban transien akan dijelaskan pada uraian di bawah ini:

1. Beban lalu Lintas Kendaraan

Termasuk beban dari kendaraan yang lewat, baik itu beban truk, beban kendaraan ringan, maupun beban pejalan kaki.

2. Beban akibat temperatur

Perubahan suhu dapat menyebabkan pemuaian atau penyusutan pada material jembatan, sehingga menimbulkan gaya-gaya tambahan.

3. Beban angin

Gaya angin yang bekerja pada jembatan dapat bervariasi tergantung pada kecepatan dan arah angin.

4. Beban akibat gempa

Getaran akibat gempa bumi dapat memberikan beban yang sangat besar pada jembatan.

5. Beban tumbukan

Benturan kendaraan atau kapal pada jembatan dapat menimbulkan beban impulsif yang signifikan.

6. Beban susut

Perubahan bentuk material jembatan akibat susut atau rangkai juga termasuk dalam beban transien.

7. Beban friksi

Gaya gesek yang timbul akibat pergerakan pada sambungan jembatan atau pada tumpuan.

8. Gaya sentrifugal

Gaya sentrifugal yang bekerja pada jembatan saat kendaraan berbelok.

Beban transien ini perlu diperhitungkan dalam perencanaan dan desain jembatan untuk memastikan jembatan mampu menahan beban-beban tersebut dan tetap stabil serta aman.

2.9. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan pada jembatan adalah rangkaian berbagai jenis beban yang diperhitungkan secara bersama-sama dalam perencanaan struktur jembatan untuk memastikan keamanan, kekuatan, dan keandalannya selama masa layanan. Kombinasi ini mencakup beban mati (berat struktur dan elemen tetap lainnya), beban hidup (beban yang berubah-ubah seperti kendaraan dan pejalan kaki), beban angin, beban gempa, dan beban tambahan lain yang dapat terjadi, seperti tumbukan kapal, banjir, atau gaya hidrolika.

Pada perencanaan jembatan, kombinasi pembebanan harus memenuhi kondisi batas yang telah ditetapkan, yang umum dibedakan menjadi keadaan batas layanan (serviceability limit states) dan keadaan batas kuat atau ekstrem (ultimate limit states). Keadaan batas layanan berfokus pada aspek seperti deformasi maksimum yang diizinkan, lebar retak pada beton bertulang, dan stabilitas operasional sehingga jembatan tetap berfungsi dengan baik tanpa kerusakan signifikan. Sedangkan keadaan batas kuat mengacu pada kapasitas maksimum struktur untuk menahan beban sebelum terjadi kegagalan total atau permanen.

Selain itu, ada juga kombinasi pembebanan khusus seperti beban fatik yang digunakan untuk memodelkan efek kelelahan material akibat beban berulang dalam jangka waktu yang panjang.

Penjabaran kombinasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2

Tabel 2.1 Kombinasi Beban terfaktor

Kombinasi	MS	MA	TT	TD	TB	TP	EWS	Ewl	BF	EU _n	TG	ES	EQ _x	EQ _y
Kuat I (TT)	γ_p	γ_p	1,8		1,8	1,8			1	0,5/1.2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Kuat II (TD)	γ_p	γ_p		1,8	1,8	1,8			1	0,5/1.2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Kuat I (TT)	γ_p	γ_p	1,4		1,4	1,4			1	0,5/1.2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Kuat II (TD)	γ_p	γ_p		1,4	1,4	1,4			1	0,5/1.2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Kuat III	γ_p	γ_p					1,4		1	0,5/1.2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Kuat IV	γ_p	γ_p							1	0,5/1.2				
Kuat V	γ_p	γ_p					0,4	1	1	0,5/1.2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Extreme I (x)	γ_p	γ_p	γ_{EQ}	γ_{EQ}	γ_{EQ}	γ_{EQ}			1				1	0,3
Extreme I (y)	γ_p	γ_p	γ_{EQ}	γ_{EQ}	γ_{EQ}	γ_{EQ}			1				0,3	1
Layan I (TT)	1	1	1		1	1	0,3	1	1	1/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Layan I (TD)	1	1		1	1	1	0,3	1	1	1/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Layan II (TT)	1	1	1,3		1,3	1,3			1	1/1,2				
Layan II (TD)	1	1		1,3	1,3	1,3			1	1/1,2				
Layan III (TT)	1	1	0,8		0,8	0,8			1	1/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}		

Tabel 2.2 Kombinasi Beban terfaktor (Lanjutan)

Kombinasi	MS	MA	TT	TD	TB	TP	EWS	Ewl	BF	EU _n	TG	ES	EQ _x	EQ _y
Layan III (TD)	1	1		0,8	0,8	0,8			1	1/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}		
Layan IV	1	1					0,7		1	1/1,2	1	1		
Fatik (TD)			0,75		0,75	0,75								
Fatik (TT)				0,75	0,75	0,75								

(Sumber: SNI 1725-2016 tentang pembebanan untuk jembatan)

Keterangan

Beban Permanen

MS = Beban mati struktural

MA = Beban mati perkerasan dan utilitas

Beban Transien

EQ = Gaya Gempa

BF = Gaya Friksi

TD = Beban lajur "D"

TT = Beban Truk "T"

TP = Beban pedestrian

SE = Beban akibat penurunan

ET = Gaya akibat temperatur gradien

Eun = Gaya akibat temperatur seragam

EF = Gaya Apung

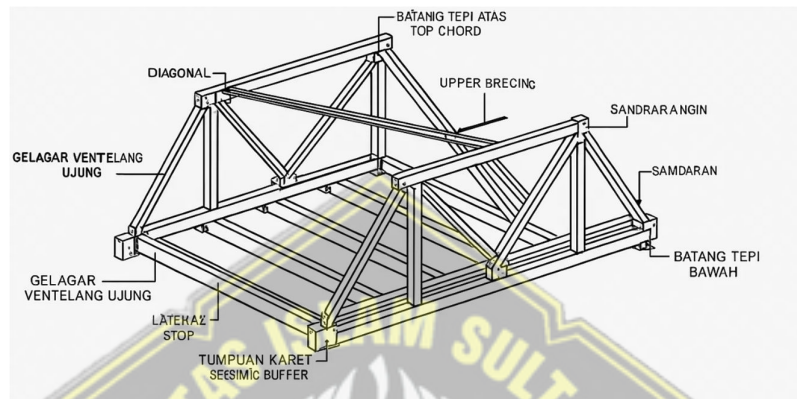
Ewa = Beban angin pada struktur

Ewl = Beban angin pada kendaraan



2.10. Komponen Penyusun Struktur Jembatan Rangka Baja

Struktur atas jembatan rangka baja merupakan struktur utama pada suatu konstruksi jembatan rangka yang bertugas menerima beban langsung yang bekerja pada lantai jembatan beban beban yang bekerja meliputi beban sendiri struktur, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki. (Yulius Herry, dkk (2018))



Gambar 2.8 Komponen struktur jembatan rangka baja
(Sumber : <https://www.bumiayucitraraya.co.id/>)

2.10.1 Batang Tepi Atas (Top Chord)

Top chord adalah elemen struktur yang terletak di bagian atas jembatan rangka. Komponen ini berfungsi untuk menahan gaya tekan yang terjadi akibat beban vertikal yang diterima jembatan. Top chord berperan penting dalam menjaga kestabilan keseluruhan rangka atas dari jembatan baja.

2.10.2 Batang Tepi Bawah (Bottom Chord)

Batang Tepi Bawah (Bottom Chord) pada jembatan adalah bagian struktur yang terletak di sisi bawah rangka jembatan. Fungsinya adalah untuk menahan gaya tarik yang timbul akibat beban jembatan dan lalu lintas yang melewatinya. Bersama dengan Batang Tepi Atas (Top Chord), bottom chord membantu menciptakan struktur yang seimbang dan mampu menahan gaya tekan dan tarik.

2.10.3 Batang diagonal

Batang diagonal adalah batang-batang baja yang dipasang miring untuk menghubungkan top chord dengan bottom chord. Fungsinya dari batang diagonal adalah menahan gaya geser yang terjadi pada jembatan, sekaligus meningkatkan

kekakuan struktur sehingga jembatan tetap stabil meskipun menerima beban tidak merata.

2.10.4 Ikatan Angin Atas (Upper Bracing)

Ikatan angin atas atau yang biasa disebut upper bracing adalah pengikat yang menghubungkan bagian atas jembatan untuk memberikan kestabilan lateral terhadap gaya angin atau beban samping lainnya. ikatan ini didesain untuk mencegah pergeseran struktur akibat tekanan horizontal.

2.10.5 Gelagar Ventelang (Cross Stringer)

Gelagar ventelang atau Stringer adalah balok memanjang yang dipasang sejajar arah panjang jembatan. Fungsi utama gelagar ini adalah mendistribusikan beban dari lantai jembatan ke struktur utama seperti gelagar lintang atau truss.

2.10.6 Gelagar Ventelang Ujung (End Cross Girder)

Gelagar ventelang ujung atau end cross girder merupakan balok lintang di ujung struktur jembatan. Komponen ini berfungsi mendistribusikan beban dari stringer ke elemen pendukung vertikal. Biasanya, end cross girder menjadi tempat bertumpunya perletakan jembatan.

2.10.7 Tumpuan Karet (Seismic Buffer)

Seismic buffer atau elastomer adalah komponen bantalan karet fleksibel yang ditempatkan di antara struktur jembatan dan penyangga utama. Tugasnya adalah meredam getaran akibat gempa bumi, memperkecil dampak beban dinamis, serta memperpanjang usia struktur jembatan.

Setiap komponen dalam struktur jembatan baja memiliki peran penting satu sama lain, karena masing-masing elemen dirancang untuk menjalankan fungsi tertentu dalam mendukung keseluruhan sistem struktur. Mulai dari top chord yang berfungsi utama untuk menahan gaya tekan yang terjadi, hingga seismic buffer yang dirancang untuk menyerap gaya gempa demi melindungi struktur dari kerusakan akibat aktivitas seismik. Seluruh bagian pada rangka jembatan, baik yang terlihat besar maupun kecil, telah didesain matang agar dapat menciptakan jembatan yang kokoh, stabil, dan aman.

2.11. Pengertian Baja

Menurut Spiegel dan Limbrunner (1991), baja konstruksi merupakan alloy steel (baja panduan), yang umumnya mengandung lebih dari 98% baja dan biasanya kurang dari 1% karbon. Baja struktur banyak digunakan dalam pembuatan bangunan seperti gedung, pabrik, jembatan dan lain-lain. Baja adalah suatu bahan homogen yang terdiri dari campuran ferrum (Fe) dan karbon (C).

2.11.1 Jenis-jenis Baja

Menurut SNI 2002, baja struktur dapat dibedakan berdasarkan kekuatannya menjadi beberapa jenis, yaitu BJ 34, BJ 37, BJ 41, BJ 50, dan BJ 55. Berdasarkan tegangan leleh (f_y) dengan tegangan ultimit (f_u) sebagai jenis baja struktur yang sesuai dengan SNI 2002. Tiap jenis baja tersebut dipilih berdasarkan kebutuhan desain struktur, jenis beban yang akan ditahan. Semakin tinggi nilai f_y dan f_u , maka semakin besar pula kemampuan baja dalam menahan beban tarik dan beban tekan, yang sangat kuat untuk menjamin kekuatan, keamanan, dan efisiensi dalam perencanaan jembatan baja.

2.11.2 Sifat Mekanis Baja

Struktur baja harus dapat memikul beban rancangan secara aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan memiliki deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Kemampuan struktur baja untuk memikul beban tanpa adanya kelebihan tegangan diperoleh dengan menggunakan faktor keamanan dalam desain elemen struktur. Dengan menentukan jenis dan bentuk elemen struktur baja yang digunakan. Untuk melakukan analisis dan maupun desain elemen struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai patokan maupun untuk menentukan apakah suatu struktur rangka baja dapat diterima untuk penggunaan yang sesuai dengan yang diinginkan untuk maksud disain tertentu. Struktur jembatan rangka baja terdiri dari beberapa jenis maupun bentuk baja yang saling terhubung menjadi suatu rangkaian rangka baja. Sifat 12 Jenis baja mekanis baja struktural yang digunakan harus memenuhi persyaratan minimum yang tercantum pada SNI 03-2005-1729-2002.

2.12. Tahapan Perencanaan Struktur

Perencanaan struktur baja untuk jembatan adalah proses yang kompleks dan melibatkan beberapa tahap, mulai dari pengumpulan data hingga pembuatan gambar detail. Berikut adalah beberapa tahapan penting dalam perencanaan jembatan baja. Perencanaan struktur baja untuk jembatan melibatkan serangkaian langkah analisis dan desain untuk memastikan kekuatan, stabilitas, dan keandalan jembatan. Perencanaan ini mencakup perhitungan beban, pemilihan material, dan perancangan elemen-elemen jembatan seperti gelagar, rangka batang, dan sambungan.

Dalam menganalisis struktur jembatan digunakan bantuan program atau software SAP2000 sebagai aplikasi untuk memodelkan dan mengendalikan struktur terhadap gaya dalam yang terjadi akibat struktur menerima beban-beban yang bekerja pada struktur jembatan.

2.13. Pemodelan struktur menggunakan Software SAP2000

SAP 2000 adalah perangkat lunak rekayasa struktur yang berbasis metode elemen hingga FEM (Finite Element Method) yang sering digunakan khususnya pada bidang analisis struktur jembatan, gedung, dan infrastruktur lainnya.

2.13.1 Analisis Gaya Dalam dan Lendutan

Menurut Kusumawardani & Hidayat (2018) dalam jurnal “Analisis Struktur Jembatan Beton Bertulang Menggunakan SAP2000”, perangkat lunak ini digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya geser, gaya aksial) dan lendutan maksimum yang terjadi pada struktur jembatan akibat beban mati dan beban hidup. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi apakah desain memenuhi syarat kekuatan struktur berdasarkan SNI 1725:2016.

2.13.2 Simulasi Beban Bergerak pada Jembatan

Menurut Wibowo et al. (2020), SAP2000 digunakan untuk menganalisis beban kendaraan bergerak pada jembatan rangka baja. Perangkat lunak ini mampu mensimulasikan kondisi beban dinamis yang berubah-ubah seiring waktu saat kendaraan melintasi jembatan.

Hasil simulasi ini sangat membantu dalam proses perancangan jembatan, terutama untuk memastikan struktur mampu menahan beban lalu lintas yang berat. Dengan demikian, SAP2000 menjadi alat yang efektif dalam mendukung desain jembatan yang aman dan andal.

2.13.3 Review Struktur Atas Rangka Jembatan

SAP2000 juga digunakan untuk menganalisis jembatan eksisting dalam rangka review desain. Menurut Nurhadi & Pratama (2021), SAP2000 dimanfaatkan untuk menganalisis struktur jembatan lama dengan tujuan mengidentifikasi bagian-bagian yang mengalami tegangan atau lendutan melebihi batas yang diizinkan. Evaluasi ini penting untuk mengetahui tingkat keamanan dan kinerja dari elemen-elemen struktur yang telah berumur.

Informasi yang diperoleh dari hasil evaluasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam merancang jembatan baru. Dengan mempertimbangkan kelemahan pada struktur lama, desain baru dapat dibuat lebih efisien, kuat, dan sesuai dengan standar teknis yang lebih modern.

2.14. Penelitian Terdahulu Sejenis

Sebelumnya telah dilakukan sejumlah penyelidikan yang berfokus pada penggunaan teknologi dan inovasi dalam meninjau serta mengevaluasi desain jembatan. Penelitian-penelitian tersebut memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan metode analisis dan perancangan struktur jembatan.

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, ditemukan beberapa studi terdahulu yang relevan dengan penelitian ini, yang memiliki pendekatan metodologis, ruang lingkup, maupun fokus penelitian yang berkaitan. Studi-studi tersebut dijadikan sebagai landasan teori dan pembandingan untuk memperkuat analisis serta memahami konteks penelitian secara lebih mendalam. Meskipun terdapat kesamaan dalam beberapa aspek, penelitian ini memiliki perbedaan yang signifikan, baik dari segi metode, objek kajian, maupun tujuan penelitian, sehingga memberikan kontribusi yang bersifat orisinal dan spesifik. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menguatkan temuan yang sudah ada.

Adapun beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya antara lain sebagai berikut:

NO	TAHUN	PENULIS	JUDUL	METODE	HASIL
1	2018	Joko Triyanto Zulfikar Djauhari Monita Olivia	Analisis Pembebanan Konstruksi Jembatan Rangka Baja Yang Dilakukan Secara Bertahap Dengan Tinjauan Gaya Momen Pada Tiap Batang	Pemodelan Konstruksi Bertahap (Staged Construction), Analisis Linier dan Non-Linier, Tinjauan Gaya Momen pada Tiap Batang, Pengumpulan dan Perbandingan Data	Pembandingan dilakukan antara metode analisis konvensional (pembebanan pada keseluruhan struktur sekaligus) dengan metode analisis bertahap. Hasil menunjukkan perbedaan nilai momen lentur pada masing-masing batang rangka, yang ditinjau secara detail sesuai grid atau baris pada model jembatan. Data ini penting untuk mengetahui distribusi gaya di tiap batang selama proses konstruksi bertahap, sehingga dapat menentukan ukuran penampang dan kebutuhan penguatan yang tepat untuk setiap tahap pembangunan

2	2020	Dion Falerio Lili	Alternatif perencanaan struktur atas jembatan rangka baja tipe <i>Camel Back</i> truss dengan menggunakan metode lrfd di Weutu kota Atambua, kab. Belu. provinsi NTT.	Metode LRFD adalah metode perencanaan struktur yang bertujuan memastikan kekuatan dan keamanan struktur dengan mempertimbangkan faktor beban kerja dan faktor kekuatan material. Metode ini menghitung kekuatan nominal elemen struktur dikalikan dengan faktor reduksi, dan membandingkannya dengan kombinasi beban rencana yang diberi faktor beban tertentu, sehingga dapat menilai keamanan elemen struktur terhadap kondisi terberat yang mungkin terjadi	tersusunnya alternatif perencanaan struktur atas jembatan yang memperhitungkan faktor keamanan dan efisiensi material, dengan menggunakan perangkat lunak analisis struktur (umumnya SAP2000 pula) untuk memodelkan dan mensimulasikan perilaku struktur pada beban yang diperkirakan., hasil perencanaan ini dapat dijadikan acuan dalam pembangunan dan rekayasa struktur jembatan rangka baja di lokasi tersebut, meningkatkan tingkat keamanan serta umur layanan jembatan sesuai standar yang berlaku.
---	------	-------------------	--	---	--

3	2020	Dhipo Seno, Warsito, Bambang Suprpto	Studi perencanaan jembatan rangka baja jrebeng ii dengan metode callender hamilton di kabupaten Sidoarjo	Metode Callender Hamilton adalah perencanaan dan analisis struktur jembatan rangka baja yang menggunakan rangka batang berupa profil susun baja siku dan gelagar dari baja WF (Wide Flange) dan Universal Beam.	Spesifik untuk jembatan Jrebeng II di Kabupaten Sidoarjo, penelitian tersebut menyajikan penentuan dimensi plat kendaraan, gelagar induk, gelagar melintang dan gelagar memanjang serta pondasi, sesuai standar dan pembebanan aktual kendaraan di lokasi
4	2021	Pedro Agus Radot Silaban Faisal Erwin Sutandar	Perencanaan jembatan baja type truss di jembatan melawi II, kecamatan Nanga Pinoh, kabupaten Melawi	pendekatan teknis perencanaan jembatan rangka baja tipe truss berdasar SNI dengan analisis detail pada tiap elemen struktural dan sambungan, menghasilkan desain jembatan yang sesuai untuk lokasi dan fungsinya di Melawi	Tebal pelat lantai kendaraan yang didesain adalah 20 cm. Dimensi profil baja yang dipilih berdasarkan hasil analisis pembebanan untuk gelagar memanjang, melintang, dan struktur utama sesuai dengan standar dan kebutuhan kekuatan. Panjang setiap bentang jembatan sekitar 80 meter, dengan total lebar jembatan 9 meter yang terdiri dari dua lajur lalu lintas dan trotoar.

5	2023	Achmad Fauzi Purnomo Putro ,Safrin Zuraidah Budi Hastono	Studi Perencanaan Struktur Jembatan Baja (Trough Howe Truss) Pada Jembatan Pagerluyung Mojokerto	Metode perencanaan mengkombinasikan desain gelagar dan rangka Trough Howe Truss menggunakan perangkat lunak analisis struktur (SAP2000), standar SNI dan AISC LRFD, menghasilkan desain jembatan baja yang kuat dan efisien untuk Jembatan Pagerluyung Mojokerto	Analisis gaya internal memperlihatkan distribusi gaya yang sesuai dengan teori struktur rangka baja tipe Howe truss, dengan batang vertikal menahan gaya tarik dan batang diagonal menahan gaya tekan aksial. Perencanaan ini menghasilkan struktur jembatan yang kuat, efisien, dan sesuai dengan kondisi lapangan dan standar pembebanan nasional. Ketinggian struktur jembatan sesuai standar minimal (sekitar 5 meter dari lantai kendaraan hingga pengaku rangka atas) untuk bentang jembatan 40–60 meter agar memenuhi safety dan kestabilan
---	------	---	--	--	---

6	2024	Faris Fadillah Ery Budiman Mardewi Jamal	Komparasi perencanaan jembatan rangka baja tipe <i>Warren</i> dengan standar jembatan rangka no. 07/bm/2005 (studi kasus :pada proyek pembangunan jembatan Penjalin Tabang)	Metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) digunakan sebagai pendekatan perencanaan yang memperhitungkan faktor beban dan faktor tahanan berdasarkan konsep probabilitas dan karakteristik statistik beban serta kekuatan material.	Jembatan yang dirancang memiliki panjang bentang sekitar 60 meter dan lebar 9 meter. Profil baja yang digunakan, misalnya gelagar memanjang dengan profil HB 400.400.20.35, gelagar melintang IWF 900.300.18.34, rangka utama HB 400.400.45.70, serta profil ikatan angin HB 250.250.14.14, telah memenuhi persyaratan kekuatan dan keamanan sesuai standar. Struktur jembatan tipe <i>Warren</i> menunjukkan efisiensi material yang baik dengan penggunaan elemen batang yang relatif pendek dan konfigurasi segitiga yang stabil. Hasil perbandingan dengan standar jembatan rangka No. 07/BM/2005 menunjukkan bahwa desain dengan metode LRFD
---	------	--	---	--	---

					memberikan rancangan yang kuat dan ekonomis yang memenuhi standar nasional. Perencanaan memperhatikan faktor beban aktual serta faktor keandalan struktur sehingga jembatan aman menahan beban lalu lintas dan kondisi lingkungan di lokasi proyek Penjalin Tabang.
7	2025	Zulfa Nur Aini	<i>Re-design</i> struktur atas jembatan rangka baja tipe <i>Warren</i> dan <i>Camel Back</i> (studi kasus : jembatan Kali Babon, Terboyo, Kota Semarang, provinsi Jawa Tengah)	Penulisan tugas akhir ini adalah melakukan perbandingan perilaku struktur terhadap rangka jembatan Kalibabon, Terboyo, Semarang, ketika menggunakan rangka jembatan tipe <i>Warren</i> dan <i>Camel Back truss</i>. Pendekatan perencanaan menggunakan metode LRFD (<i>Load and Resistance Factor Design</i>) dengan menggunakan faktor beban dan faktor ketahanan sebagai pertimbangan teknis, dengan dasar konsep karakteristik berdasarkan beban yang bekerja dan kekuatan atau mutu material yang digunakan.	Hasil <i>re-design</i>, dapat disimpulkan bahwa rangka jembatan tipe <i>Warren</i> dan tipe <i>Camel Back</i> pada Jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang mampu menahan beban yang bekerja dengan aman, meskipun menggunakan penampang atau profil baja yang sama. Perancangan dilakukan dengan menggunakan mutu baja <i>Grade 60 (ASTM-A572)</i> dan profil baja sebagai berikut: gelagar

				melintang menggunakan I-WF 900 x 300, gelagar memanjang, batang diagonal, dan <i>top chord</i> masing-masing menggunakan H-Beam 400 x 400, serta <i>top bracing</i> menggunakan H-Beam 300 x 300. Hasil analisis lendutan menunjukkan bahwa jembatan tipe <i>Warren</i> dengan bentang 37,50 meter memiliki nilai lendutan maksimum sebesar 3,506 cm, sedangkan tipe <i>Camel Back</i> pada bentang yang sama menghasilkan lendutan maksimum sebesar 2,302 cm. Kedua nilai lendutan tersebut masih berada di bawah batas lendutan maksimum yang diizinkan untuk jembatan, yaitu 6,25 cm, sehingga keduanya dikategorikan aman dari segi defleksi struktur.
--	--	--	---	---

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Uraian Umum

Metodologi adalah ilmu tentang metode atau cara yang digunakan dalam suatu penelitian atau kegiatan. Secara lebih luas, metodologi mencakup pendekatan, prinsip, dan kerangka teori yang mendasari pemilihan dan penerapan metode-metode tersebut.

Dalam konteks penelitian, metodologi membantu peneliti untuk memilih metode yang tepat, merencanakan langkah-langkah penelitian, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menarik kesimpulan.

Pada penulisan tugas akhir ini, ditemukan beberapa metodologi atau tahapan mengenai review desain atau perencanaan ulang terhadap jembatan Kalibabon yang berlokasi di jalur Pantai utara yang menghubungkan Kota Semarang dengan Kabupaten Demak Provinsi Jawa Tengah dengan bantuan program atau software SAP2000.

3.2. Parameter Jembatan Eksisting

Pada review desain pada Jembatan Kalibabon, diperlukan data terkait Lokasi yang akan didesain dan dilakukan perencanaan. Berikut merupakan data terkait yang akan dirancang pada penyusunan Tugas Akhir kali ini yaitu:

Tipe Bangunan	: Jembatan
Nama Bangunan	: Jembatan Kalibabon
Lokasi	: Jalan Pantai Utara (Pantura) Semarang-Demak
Klasifikasi Jembatan	: Klas A/I
Lebar Jembatan	: 9 meter
Panjang Jembatan	: 37,5 meter
Tinggi Rangka Jembatan	: 7,50 meter
Jumlah lajur	: 1 Lajur
Jumlah segmen	: 1 Segmen
Sistem struktur	: Rangka Baja tipe <i>Warren</i>

3.3. Spesifikasi Material Struktur

Pada pemodelan struktur jembatan, material penyusun bangunan jembatan yang digunakan berupa baja dengan spesifikasi model penampang dan mutu kualitas material sebagai berikut:

1. Penampang Top Chord : Baja konvensional profil H Beam
2. Penampang Bottom Chord : Baja konvensional profil I Wide Flange
3. Penampang batang diagonal : Baja konvensional profil H Beam
4. Penampang ikatan angin : Baja konvensional profil C Channel
5. Penampang gelagar : Baja konvensional profil I Wide Flange
6. Jenis tumpuan : Sendi dan Rol
7. Material pelat lantai : Beton bertulang
8. Mutu material baja profil (f_u) : 400 MPa
9. Mutu material beton (f_c) : 35 MPa

3.4. Perbandingan Desain pada Rangka Jembatan

Perencanaan struktur konstruksi jembatan mengacu pada gambar rencana dan di desain ulang dari gambar kerja jembatan eksisting. Perubahan data memiliki tujuan untuk memberikan variabel yang berbeda dan perbandingan perlakuan struktur antara rangka jembatan tipe *Warren* dan rangka jembatan tipe *Camel Back* akibat menerima gaya-gaya yang bekerja pada struktur rangka jembatan. Adapun data yang dirubah atau diperbaharui sebagai berikut:

1. Bentangan Jembatan tipe *Warren truss* dan *Camel Back truss* adalah 37,5 meter
2. Pemodelan rangka jembatan tipe *Camel Back* sebagai pembanding terhadap rangka jembatan eksisting tipe *Warren*

3.5. Pedoman Perencanaan

Dalam suatu perencanaan, terdapat beberapa pedoman yang digunakan sebagai dasar dalam proses perancangan, pedoman-pedoman tersebut berfungsi sebagai acuan teknis yang telah disusun berdasarkan standar yang berlaku. Penggunaan pedoman ini bertujuan agar data rencana yang diolah memiliki kejelasan dan arah yang tepat. Dengan demikian, setiap tahapan perencanaan dapat dilakukan secara

sistematis dan sesuai ketentuan. Hal ini juga memastikan bahwa hasil perencanaan memenuhi syarat keamanan, efisiensi, dan kekuatan struktur.

Adapun pedoman yang digunakan antara lain:

1. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan (SNI 2833-2016)

Standar ini mengatur persyaratan desain jembatan agar tahan terhadap gempa, termasuk analisis beban gempa, karakteristik tanah, dan perilaku struktur jembatan saat terjadi gempa.

2. Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725-2016)

Standar ini menjelaskan berbagai jenis beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan, seperti beban mati, beban hidup (kendaraan, pejalan kaki), beban angin, dan beban lainnya yang mungkin terjadi.

3. Tata cara perhitungan struktur komposit (SNI 1729-2019)

Pedoman ini berisikan persyaratan umum serta ketentuan teknis perencanaan dan pelaksanaan pada struktur baja. Selain itu, dijelaskan juga beberapa poin terkait struktur komposit baja beton.

4. Tata cara pembebanan (SNI 1727-2019)

Peraturan ini digunakan untuk menentukan beban yang digunakan untuk merencanakan suatu konstruksi bangunan. Pedoman ini memuat beberapa ketentuan pembebanan yang harus diperhitungkan dalam merencanakan suatu konstruksi bangunan.

5. Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729-2020)

Peraturan ini berisikan spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, yang digunakan sebagai acuan dalam konstruksi dan rekayasa sipil, khususnya untuk bangunan baja struktural.

3.6. Load Cases Analyze

Proses rekayasa struktur untuk mengevaluasi bagaimana sebuah struktur bangunan akan berperilaku di bawah berbagai kombinasi beban yang kemungkinan terjadi selama masa pakainya.

Tujuan utama *Load Cases Analyze* adalah untuk mengidentifikasi kombinasi beban yang paling kritis atau "terburuk" yang dapat menyebabkan kegagalan atau defleksi berlebihan pada struktur.

3.6.1 Beban Permanen

Beban permanen adalah beban utama dalam perhitungan tegangan perancangan jembatan. Beban primer terdiri dari:

1. Berat Sendiri (Dead Load)

Berat sendiri adalah berat dari komponen konstruksi dan elemen struktur lain yang dipikulnya. Termasuk berat elemen nonstruktural dan bagian dari jembatan yang merupakan bagian elemen struktur yang diasumsikan tetap.

2. Beban mati tambahan dan utilitas (Super Imposed Dead Load)

Beban mati tambahan dan utilitas (Super Imposed Dead Load) adalah berat dari seluruh bahan yang membentuk beban di jembatan yang terdiri dari elemen nonstruktural dan besarnya berubah selama umur jembatan.

3.6.2 Beban Transien

Beban lalu lintas digunakan untuk perancangan jembatan meliputi beban lajur (D) maupun beban truk (T). Pada umumnya, beban (D) dapat menjadi beban yang dominan dalam perancangan jembatan yang memiliki bentang menengah hingga panjang, sebaliknya beban “T” akan digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan. Berikut merupakan uraian dari beban transien:

1. Beban Lajur (TD)

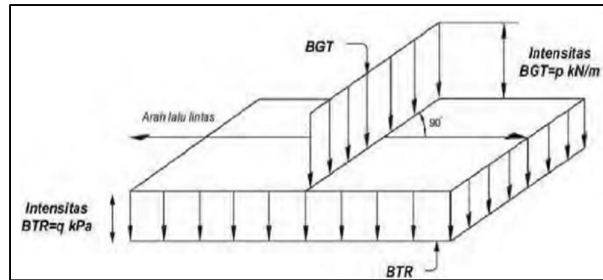
Beban ini akan bekerja di semua lebar pada jalur kendaraan dan mempengaruhi pada jembatan yang setara. Jumlah dari beban lajur (TD) yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban lajur (TD) terdiri dari dua beban yaitu beban terbagi rata (BTR) yang ditambah dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata (BTR) memiliki besaran nilai (q) kPa, dimana besarnya nilai (q) bergantung pada panjang satu bentang L yang akan dibebani seperti berikut ini:

Kondisi $L \leq 30$ m, maka nilai $q = 9$ kPa.....(3.1)

Kondisi $L \geq 30$ m, maka nilai $q = 9 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right)$ kPa(3.2)

Beban garis (BGT) mempunyai nilai “P” kN/m yang harus ditempatkan secara tegak lurus dengan arah lalu lintas di jembatan. Dan besarnya nilai “P” = 49,0 kN/m. Beban (D) harus didistribusikan pada arah melintang sehingga

menghasilkan momen maksimum. Pendistribusian komponen beban (BTR) dan beban (BGT) dari beban (D) dapat dilihat seperti pada gambar berikut:

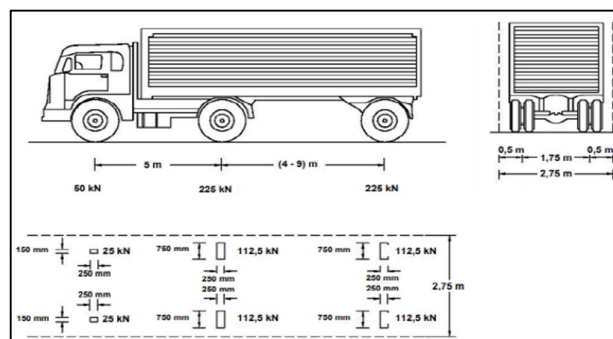


Gambar 3.1 Beban Lajur “D”
(sumber : SNI-1725-2016)

2. Beban truk (TT)

Beban ini merupakan berat satu kendaraan truk dengan 3 sumbu roda yang terletak di posisi berbeda dalam lajur lalu lintas yang telah direncanakan. Setiap gandar mencakup dua area kontak beban yang disebut sebagai simulasi efek dari roda kendaraan berat. Namun hanya satu truk (TT) yang diterapkan per lajur lalu lintas yang direncanakan. Beban truk (TT) tidak dapat digunakan pada perhitungan bersamaan dengan beban (TD). Pembebanan truk (TT) terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai berat gandar dan susunannya. Berat dari setiap gandar dibagi menjadi dua beban merata yang sama besar yang merupakan bidang kontak antar roda dan permukaan lantai. Selain itu jarak antara kedua gandar tersebut dapat bervariasi antara 4 meter sampai dengan 9 meter untuk mencapai pengaruh yang lebih besar pada arah memanjang di jembatan.

Ilustrasi beban truk (TT) dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Beban Truk “TT”
(sumber : SNI-1725-2016)

3. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis (FBD) adalah hasil dari interaksi antar kendaraan yang akan bergerak di atas jembatan. Besarnya nilai beban dari pembebanan lajur (TD) dan beban roda yang didapat dari pembebanan truk (TT) harus memadai untuk memungkinkan interaksi kendaraan yang bergerak di jembatan. Besarnya nilai tambah ini dinyatakan dalam sebagai bagian kecil dari beban statis. Faktor beban dinamis ini diterapkan pada kondisi keadaan batas daya layan dan keadaan beban utimit. Beban dari lajur (D) tidak dikalikan dengan FBD.

4. Gaya Rem

Distribusi gaya rem terjadi pada semua lajur rencana yang akan dilalui kendaraan. Kemudian gaya rem harus mengambil lebih besar dari nilai-nilai berikut:

- a. 25% dari roda truk desain
- b. 5% dari berat truk rencana lalu ditambah dengan beban lajur terbagi rata.

Gaya dari beban rem ini harus diasumsikan untuk terjadi secara tegak lurus pada jarak 1800 mm dari atas permukaan jalan lalu lintas pada setiap arah memanjang dan dipilih nilai yang paling lebih besar. Perhitungan gaya rem tergantung pada faktor dari kepadatan lajur yang ditentukan, jika jembatan menggunakan jalur satu arah maka seluruh lajur yang direncanakan harus dibebani secara bersamaan pada saat menganalisis besarnya gaya rem.

5. Beban pejalan kaki

Beban pejalan kaki yaitu semua komponen elemen trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm wajib dirancang untuk menahan beban pejalan kaki dengan besar nilai beban 5 kPa dan juga diharapkan bekerja bersamaan dengan beban kendaraan di setiap lajur. Jika kemungkinan trotoar akan berubah fungsi di kemudian hari menjadi jalur kendaraan, maka pada beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari bagian tepi dalam parapet untuk perancangan komponen jembatan lainnya.

Beban dinamis yang diakibatkan oleh gerakan pejalan kaki. Gerakan ini bisa menyebabkan getaran pada jembatan, terutama pada jembatan pejalan kaki dengan bentang panjang atau jembatan gantung.

3.6.3 Beban Angin

1. Tekanan angin horizontal

Beban dari tekanan angin horizontal ini diasumsikan oleh angin rencana yang didapat dari kecepatan dasar (V_B). Menganalisis beban angin harus diasumsikan beban terdistribusi merata di atas permukaan yang terkena oleh angin. Luasan area yang dianalisis adalah luas dari semua area komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus dari arah angin. Bagian jembatan yang memiliki elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah maupun permukaan air, kecepatan angin rencana, (V_{DZ}), harus dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan keterangan parameter yang diambil dari peraturan SNI-1725:2016 yang dapat dilihat pada gambar 3.1

Tabel 3.1 Tabel nilai V_0 dan nilai Z_0 untuk berbagai variasi kondisi

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (km/jam)	70	1000	2500

(Sumber : SNI-1725-2016)

2. Beban Angin Pada Struktur (EWS)

Arah dari angin rencana harus dianggap horizontal, kecuali bila ditentukan tanpa adanya data yang lebih akurat, nilai tekanan angin rencana dalam satuan MPa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (3.5)$$

P_B : Tekanan angin dasar

Tabel 3.2 Tabel tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (Mpa)	Angin hisap (Mpa)
Rangka, kolom, Dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(sumber : SNI-1725-2016)

3.6.4 Beban Temperatur

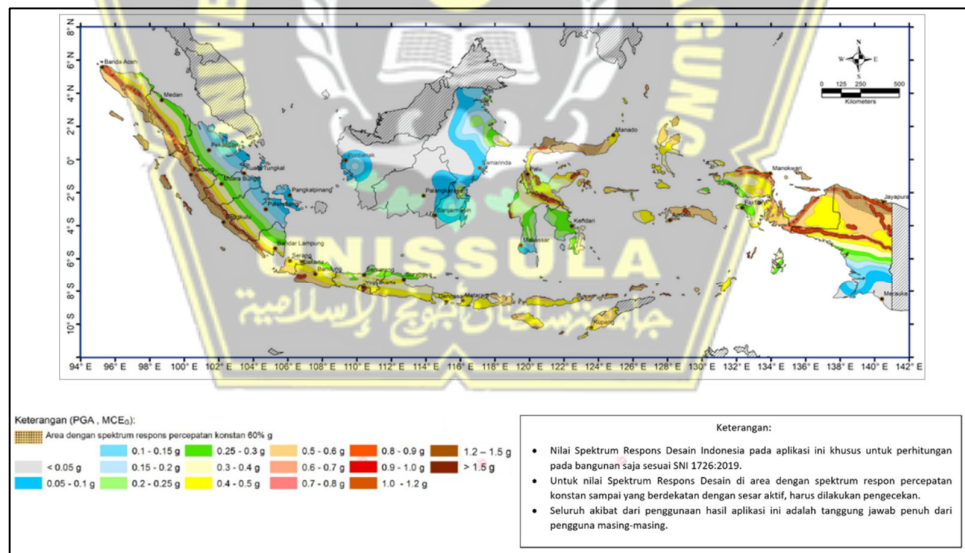
menurut SNI 1725:2016 adalah salah satu jenis beban yang harus diperhitungkan dalam perancangan struktur bangunan, terutama akibat perubahan suhu yang dapat menyebabkan pemuaian atau penyusutan elemen struktur.

Beban temperatur adalah beban akibat perubahan suhu lingkungan yang menyebabkan perubahan panjang pada elemen struktur (pemuaian atau penyusutan termal). Jika struktur tidak bebas memuai atau menyusut, perubahan ini akan menimbulkan tegangan termal, yang harus diperhitungkan dalam desain.

3.6.5 Beban Seismik (E_q)

Beban gempa diambil dari gaya horizontal yang didapat berdasarkan perkalian antar koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat total struktur, kemudian dimodifikasi menggunakan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_q = C_{sm}/R_d \times W_t \dots\dots\dots (3.6)$$



Gambar 3.3 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
(Sumber : SNI-2833-2016)

3.7. Diagram Aliran

Diagram aliran atau flow chart adalah suatu representasi grafis yang berfungsi untuk mempermudah penyusunan serta mengamati tahapan kerja secara terstruktur. Dalam konteks review struktur rangka jembatan, diagram alir digunakan untuk menggambarkan urutan kegiatan yang harus dilakukan, mulai dari pengumpulan data awal, analisis struktur, hingga tahap perencanaan ulang dan evaluasi hasil. Penyusunan flow chart ini sangat membantu untuk memastikan bahwa seluruh tahapan pekerjaan dilakukan secara sistematis dan sesuai dengan prosedur teknis yang telah ditetapkan. Berikut ini disajikan diagram aliran yang menggambarkan proses review struktur rangka jembatan secara menyeluruh.

Berikut flow chart review struktur jembatan dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.4 Flow Chart Review Struktur Rangka Jembatan

Diagram alir di atas menggambarkan alur kerja (workflow) dalam proses analisis dan pemodelan struktur jembatan, khususnya membandingkan dua tipe rangka jembatan. Berikut penjelasan tiap langkah alur kerja:

1. Mulai

Titik awal dari proses.

2. Pengumpulan data

Mengumpulkan data penting seperti gambar rencana dan data teknis lainnya yang diperlukan untuk pemodelan struktur jembatan.

3. Modeling menggunakan aplikasi SAP2000

Setelah data terkumpul, dilakukan pemodelan struktur jembatan menggunakan software SAP2000, yang adalah perangkat lunak analisis struktur teknik sipil.

4. Analisis struktur terhadap gaya dalam

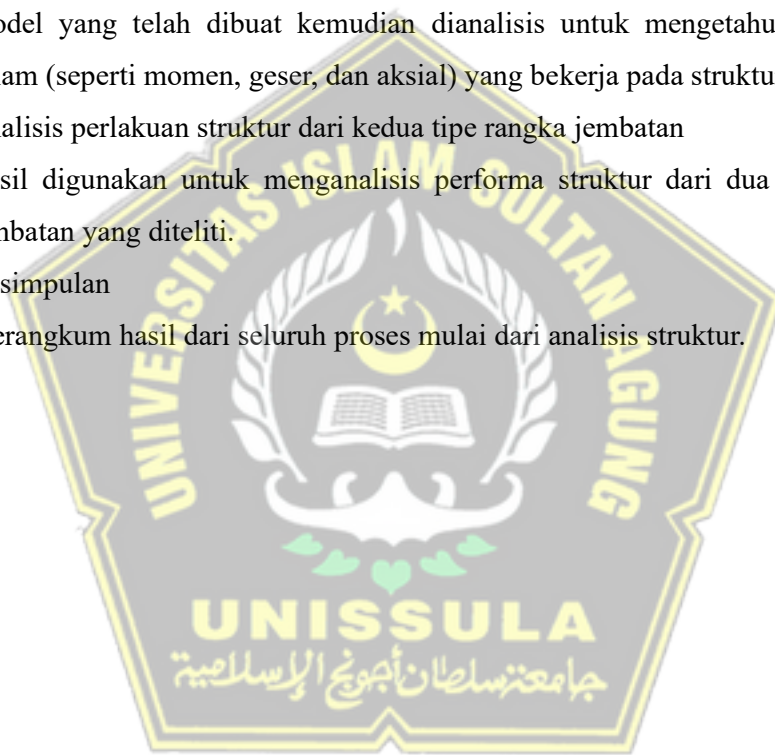
Model yang telah dibuat kemudian dianalisis untuk mengetahui gaya-gaya dalam (seperti momen, geser, dan aksial) yang bekerja pada struktur jembatan.

5. Analisis perlakuan struktur dari kedua tipe rangka jembatan

Hasil digunakan untuk menganalisis performa struktur dari dua tipe rangka jembatan yang diteliti.

6. Kesimpulan

Merangkum hasil dari seluruh proses mulai dari analisis struktur.

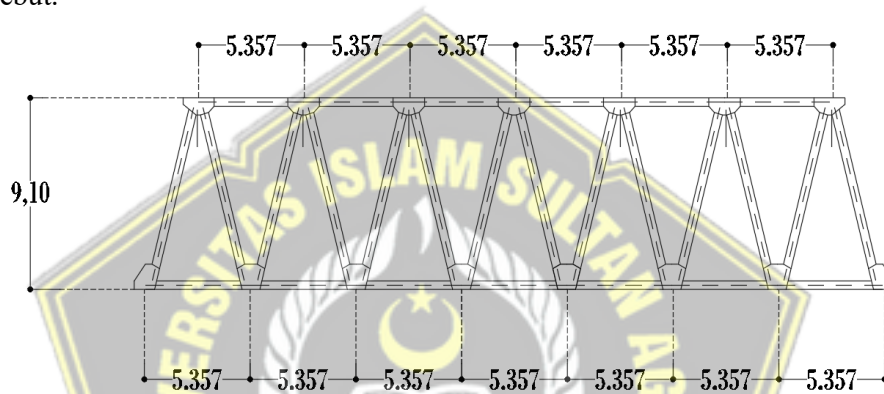


BAB IV

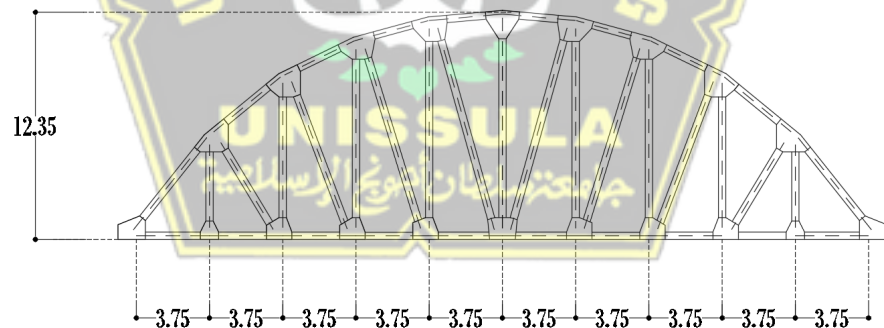
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Preliminary Design

Preliminary design merupakan salah satu tahapan awal dalam proses perencanaan suatu struktur bangunan Gedung maupun non-gedung, pada tahapan ini seorang perencana melakukan penentuan awal terhadap elemen struktur yang akan diaplikasikan, dengan acuan yang berdasarkan manfaat atau fungsi dari bangunan tersebut.



Gambar 4.1 Desain jembatan rangka baja tipe *Warren*



Gambar 4.2 Desain jembatan rangka baja tipe *Camel Back*

4.2. Perancangan Tebal Pelat Lantai

Menurut SNI 1725:2016. Tebal pelat lantai jembatan yang sering digunakan berkisar antara 20 cm hingga 25 cm (0,20 – 0,25 meter), berdasarkan hasil perhitungan struktur dan beban layanan jembatan. Pelat tersebut harus cukup tebal untuk menahan beban kendaraan, beban aspal dan lapisan pelindung, serta beban

lain seperti angin atau gempa, sambil menjaga lendutan dan tegangan dalam batas aman agar jembatan tetap kuat dan nyaman digunakan.

4.2.1 Pelat Lantai Rangka Jembatan

Pada re-design struktur atas jembatan Kalibabon Semarang, jarak antar girder memanjang pada rangka jembatan tipe *Warren* dan *Camel Back* adalah sama yaitu 1,80 meter, dan perancangan tebal pelat lantai (d3) dilakukan berdasarkan SNI 1725:2016 dan untuk standar ketebal aspal hotmix (d4) ditentukan berdasarkan pedoman Direktorat Jenderal Bina Marga yang mengatur ketebalan lapisan perkerasan berdasarkan klasifikasi jalan dan beban lalu lintas:

Jarak antar girder memanjang jembatan (bl) direncanakan dengan jarak adalah 1,80 m.

$$d3 \geq 100 + 40bl, \text{ atau } d3 \geq 200 \text{ mm} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$d3 \geq 100 + 40 (1,80)$$

$$d3 \geq 172$$

$$d3 = 200 \text{ mm}$$

berdasarkan syarat diatas maka tebal pelat lantai yang dipakai adalah 200 mm atau 20 cm, sedangkan untuk tebal aspal atau lapisan hotmix dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Standar Ketebalan Aspal Hotmix

No.	Jenis Jalan	Wearing Course
1	Jalan Lingkungan	3 cm – 5 cm
2	Jalan Kolektor	5 cm – 7 cm
3	Jalan Arteri	7 cm – 10 cm
4	Jalan Tol	10 cm – 12cm

(Sumber: Pedoman Direktorat Jenderal Bina Marga)

berdasarkan syarat diatas maka tebal aspal atau lapisan hotmix yang dipakai adalah 100 mm atau 10 cm,

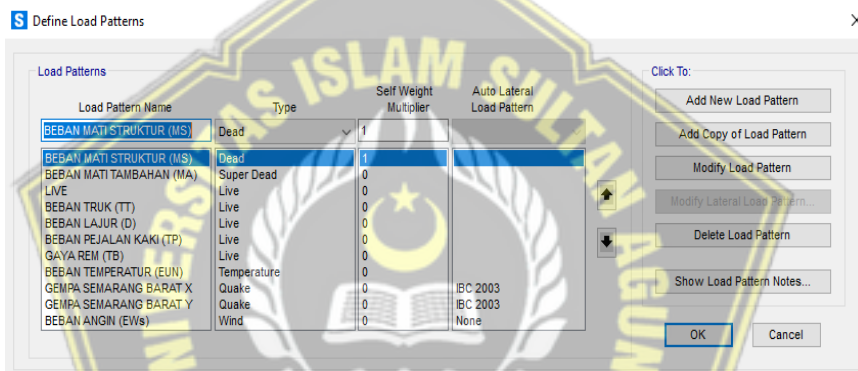
4.3. Pembebanan Struktur Jembatan

Dalam tahapan re-design struktur atas rangka jembatan Kalibabon Semarang, direncanakan berdasarkan kombinasi beban terfaktor yang sudah diatur dalam SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan dan SNI 2833:2016 Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.

4.3.1 Beban mati (MS)

Untuk beban mati struktur rangka jembatan tidak diperhitungkan secara spesifik atau mendetail dikarenakan pada program SAP2000 V22 beban sendiri atau beban mati struktur sudah diperhitungkan secara otomatis dengan pengaturan self weight multiplier pada load pattern dead load diinput dengan koefisien 1. Sedangkan beban mati tambahan atau super imposed dead load akan diperhitungkan dan diinput sebagai beban luar pada struktur.

pengaturan self weight multiplier pada load pattern Beban mati struktur (MS) rangka baja dan pelat lantai jembatan menggunakan aplikasi SAP2000 V22 dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Pengaturan Self Weight Multiplier Pada Load Pattern Beban Mati Struktur (MS)

4.3.2 Beban mati tambahan dan utilitas (MA)

Beban mati tambahan pada struktur jembatan harus diperhitungkan secara detail sebagai beban non struktur pada rangka jembatan dan diinput saat pemodelan struktur pada aplikasi SAP2000 V22.

Beban mati tambahan (Super Imposed Dead Load) pada lantai jembatan:

1. Beban steel deck

$$\begin{aligned}\text{Berat steel deck tebal 7,50 mm} &= \gamma \text{ baja} \times \text{tebal steel deck} \\ &= 78,50 \text{ kN/m}^3 \times 0,00750 \text{ m} \\ &= 0,589 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

2. Beban Aspal

$$\begin{aligned}\text{Berat aspal tebal 6 cm} &= \gamma \text{ aspal} \times \text{tebal aspal} \\ &= 22 \text{ kN/m}^3 \times 0,10 \text{ m}\end{aligned}$$

$$= 2,20 \text{ kN/m}^2$$

3. Beban Air Hujan

Tebal genangan 5 cm

$$= \gamma \text{ air hujan} \times \text{tebal genangan}$$

$$= 10 \text{ kN/m}^3 \times 0,05 \text{ m}$$

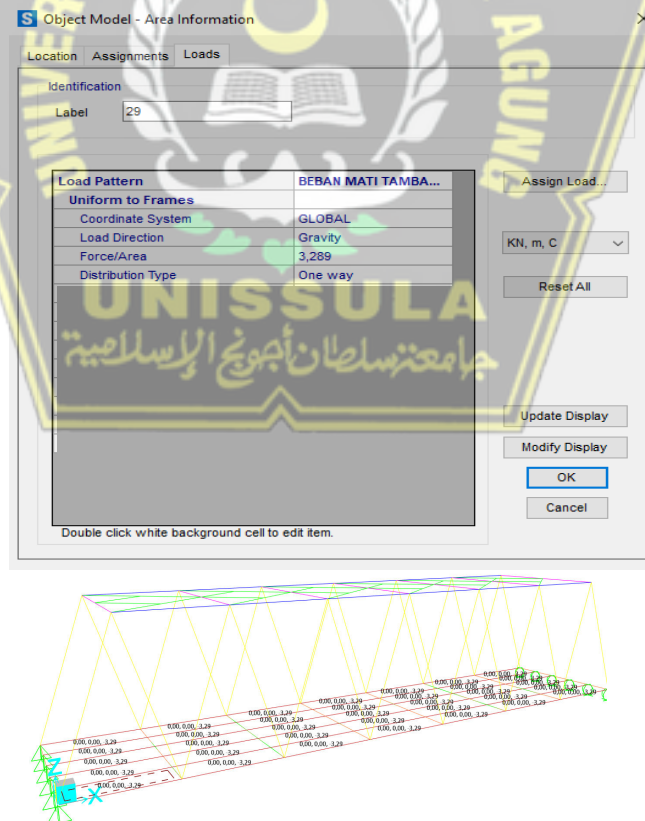
$$= 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan total atau rekapan perhitungan Beban mati tambahan yang akan diinput pada pelat lantai jembatan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Total rekapitulasi beban mati tambahan

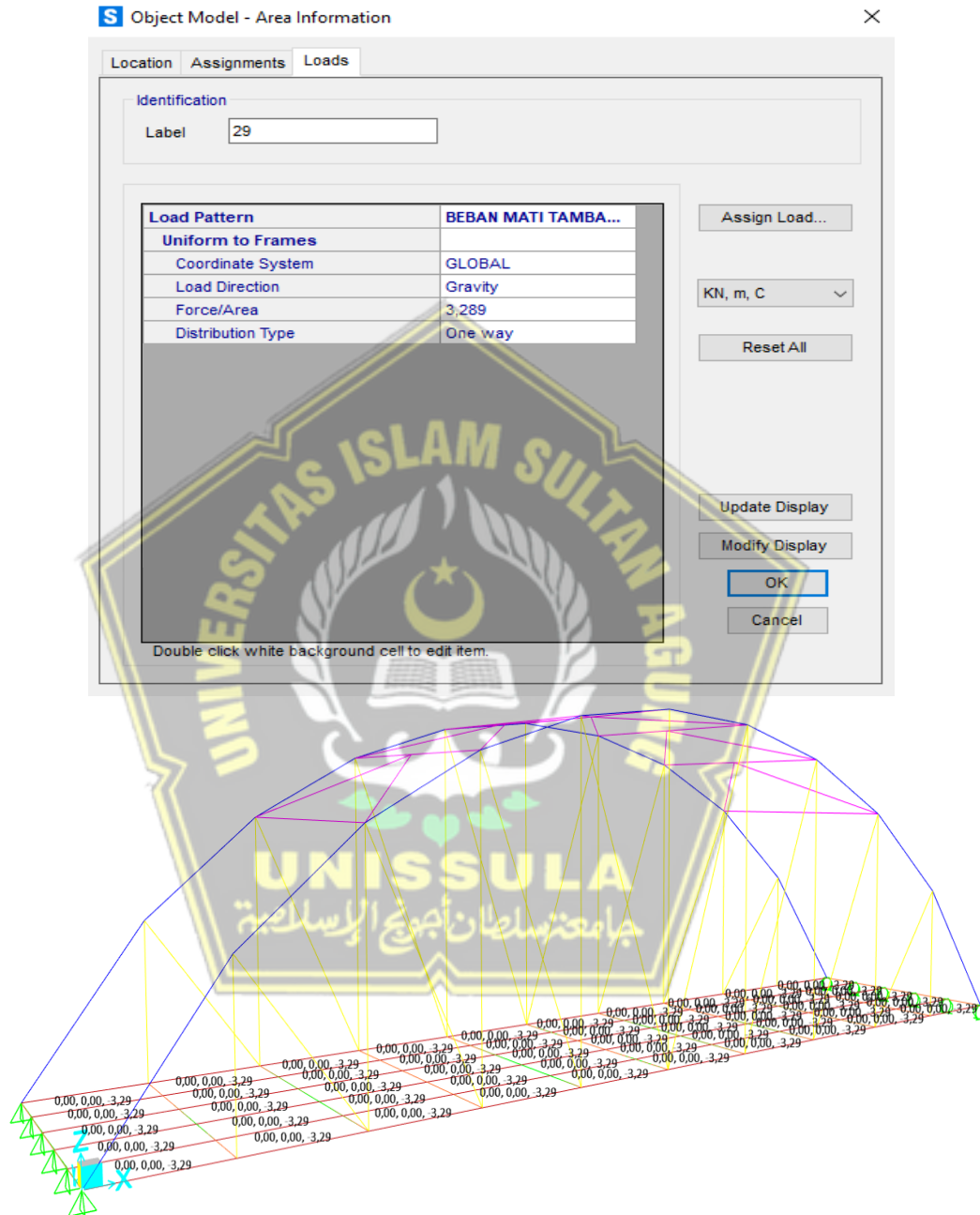
Jenis Beban Mati	Tebal (m)	Berat jenis (kN/m ³)	W (kN/m ²)
Steel deck	0,00750	78,50	0,589
Aspal	0,10	22	2,20
Genangan air hujan	0,050	10	0,50
Total Beban mati tambahan			3,289

Untuk pengaplikasian beban mati tambahan pada pelat lantai jembatan tipe *Warren truss* menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pengaplikasian Beban Mati (MA) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Warren Truss* menggunakan aplikasi SAP2000 V22

Sedangkan untuk pengaplikasian beban mati tambahan pada pelat lantai jembatan tipe *Camel Back* truss menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Pengaplikasian Beban Mati (MA) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Camel Back* Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

4.3.3 Beban Lajur (TD)

Penerapan beban kendaraan pada struktur rangka jembatan berbentuk beban lajur (TD) yang tersusun atas 2 komponen, yaitu Beban Terbagi Merata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT).

1. Beban Terbagi Merata (BTR)

Koefisien Beban Terbagi Merata dilambangkan dengan q (kN/m^2), yang bervariasi tergantung sepanjang jembatan (L) yang menerima beban lalu lintas, di hitung berdasarkan persamaan dibawah ini:

$$\text{Jika } L \leq 30\text{m maka; } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (4.3)$$

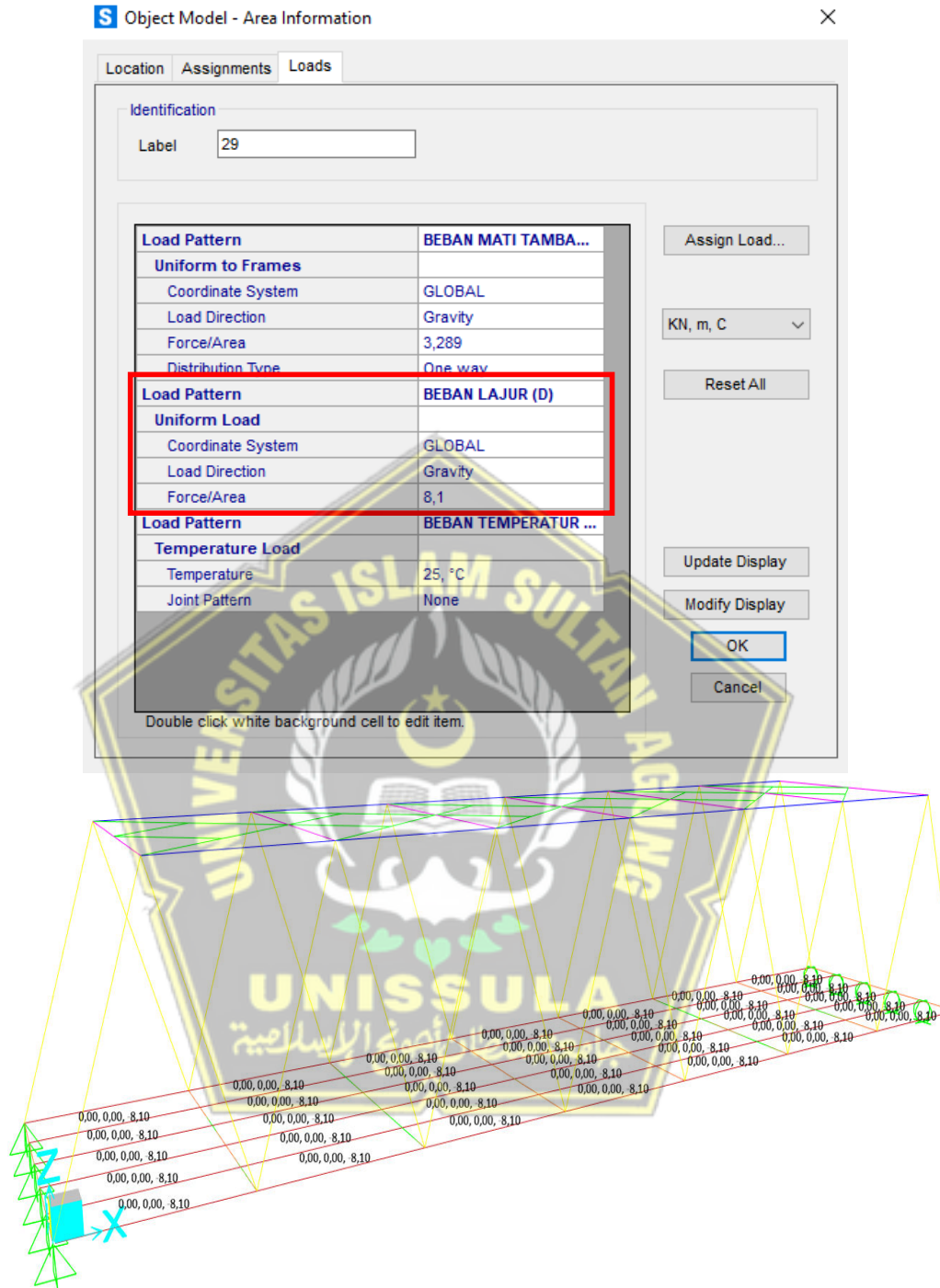
$$\text{Jika } L \geq 30\text{m maka; } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (4.4)$$

Karena Panjang rangka jembatan L adalah 37,50 meter maka nilai q memenuhi persamaan 4.2 dikarenakan Panjang jembatan melebihi 30 m.

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Beban Terbagi Merata (q)} &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \\ &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{37,50}\right) \\ &= 8,10 \text{ kPa} \\ &= 8,10 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

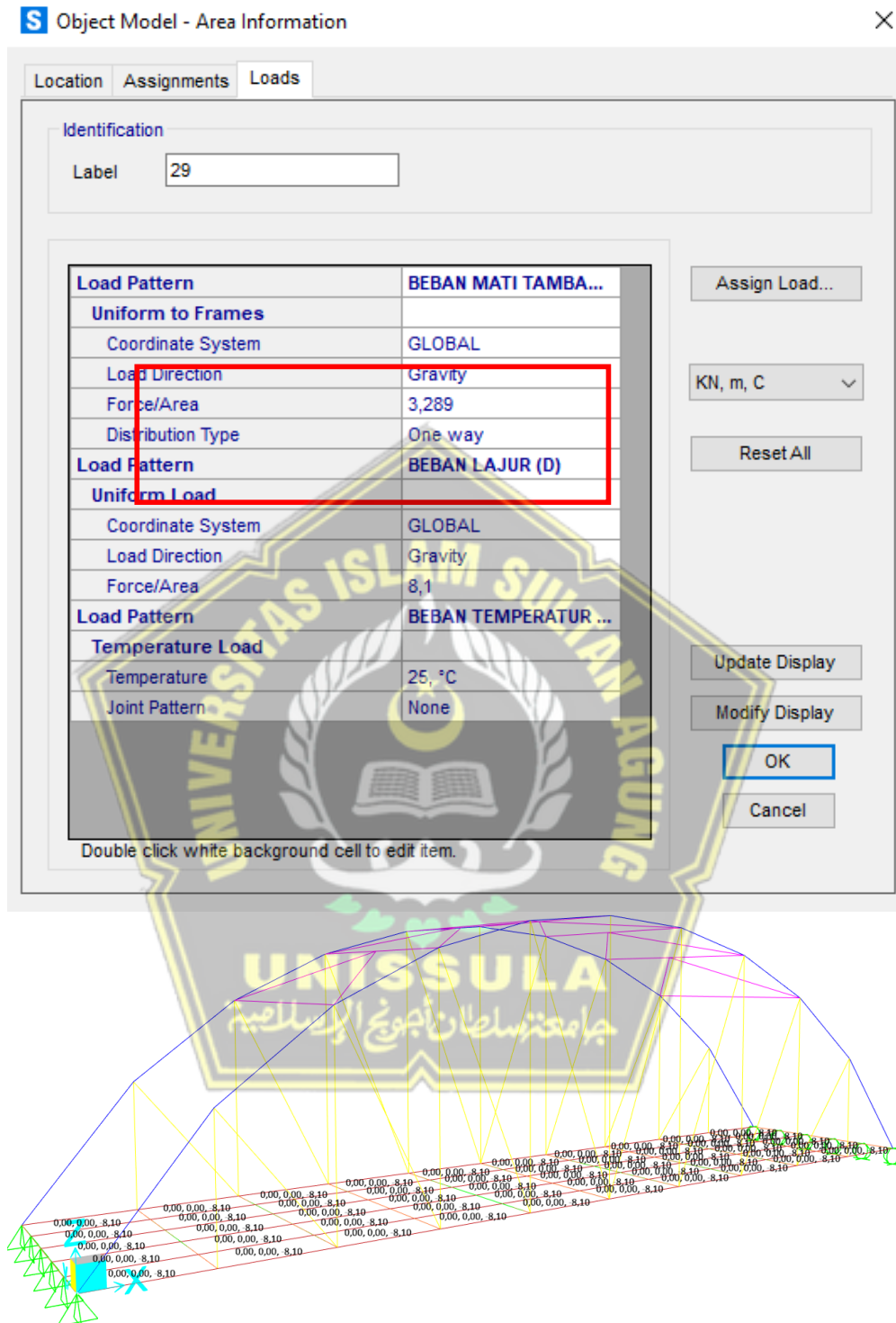
Tahapan pengaplikasian beban lajur terbagi merata (BTR) pada aplikasi SAP2000 dilakukan dengan memasukkan beban tersebut sebagai beban merata pada elemen pelat lantai. Beban ini didistribusikan secara langsung ke pelat lantai yang telah dimodelkan di dalam perangkat lunak, sehingga memberikan representasi yang akurat terhadap beban nyata yang bekerja pada struktur. Dengan cara ini, SAP2000 mampu menghitung respons struktur terhadap beban tersebut secara lebih efisien dan tepat. Pendekatan penginputan beban lajur terbagi merata sebagai beban yang didistribusikan langsung membantu memastikan bahwa distribusi beban pada pelat lantai merefleksikan kondisi sebenarnya sesuai dengan skenario desain yang diinginkan.

Untuk pengaplikasian beban lajur terbagi merata (BTR) pada pada pelat lantai jembatan tipe *Warren* menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Pengaplikasian Beban Lajur Terbagi Merata (BTR) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Warren* truss Menggunakan Aplikasi SAP2000

Sedangkan untuk pengaplikasian beban lajur terbagi merata (BTR) pada pelat lantai jembatan tipe *Camel Back* menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Pengaplikasian Beban Lajur Terbagi Merata (BTR) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Camel Back* Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000

2. Beban Garis Terpusat (BGT).

Beban Garis Terpusat (BGT) terdapat arah melintang sejajar sumbu jalan raya, menurut SNI 1725-2016 telah ditentukan nilai $p = 49 \text{ kN/m}$. Nilai p harus dikalikan dengan lebar jembatan yang ditinjau dan Faktor Beban Dinamis (FBD) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FBD} &= 0,4 & \text{Jika, } L \leq 50 \text{ m} \\ \text{FBD} &= 0,4 - 0,0025 \times (L - 50) & \text{Jika, } 50\text{m} < L < 90 \text{ m} \\ \text{FBD} &= 0,3 & \text{Jika, } L \geq 90\text{m} \end{aligned}$$

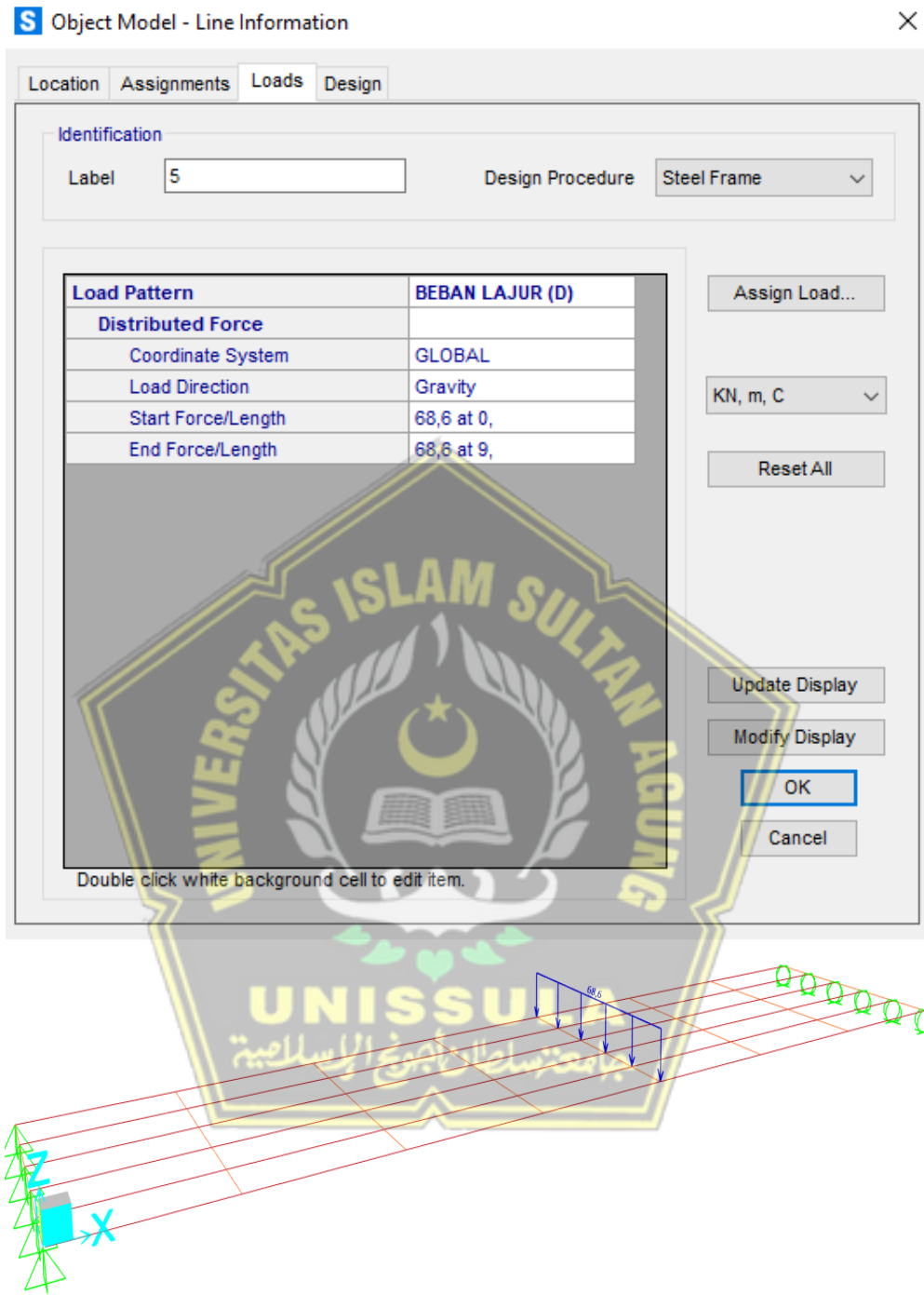
Bedasarkan ketentuan diatas, Faktor Beban Dinamis yang dipakai adalah 0,40 karena memenuhi persyaratan pertama. Perhitungan nilai Beban Garis Terpusat (BGT) dapat di hitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Nilai Beban Garis Terpusat (BGT)} &= p \times (1 + \text{FBD}) \\ &= 49 \times (1 + 0,4) \\ &= 68,60 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tahapan pengaplikasian beban lajur garis terpusat (BGT) pada aplikasi SAP2000 dimulai dengan menginput beban tersebut sebagai beban merata dua dimensi yang didistribusikan langsung pada elemen struktur. Pendekatan ini memungkinkan beban untuk diterapkan secara tepat sesuai dengan posisi dan arah beban yang bekerja pada rangka jembatan.

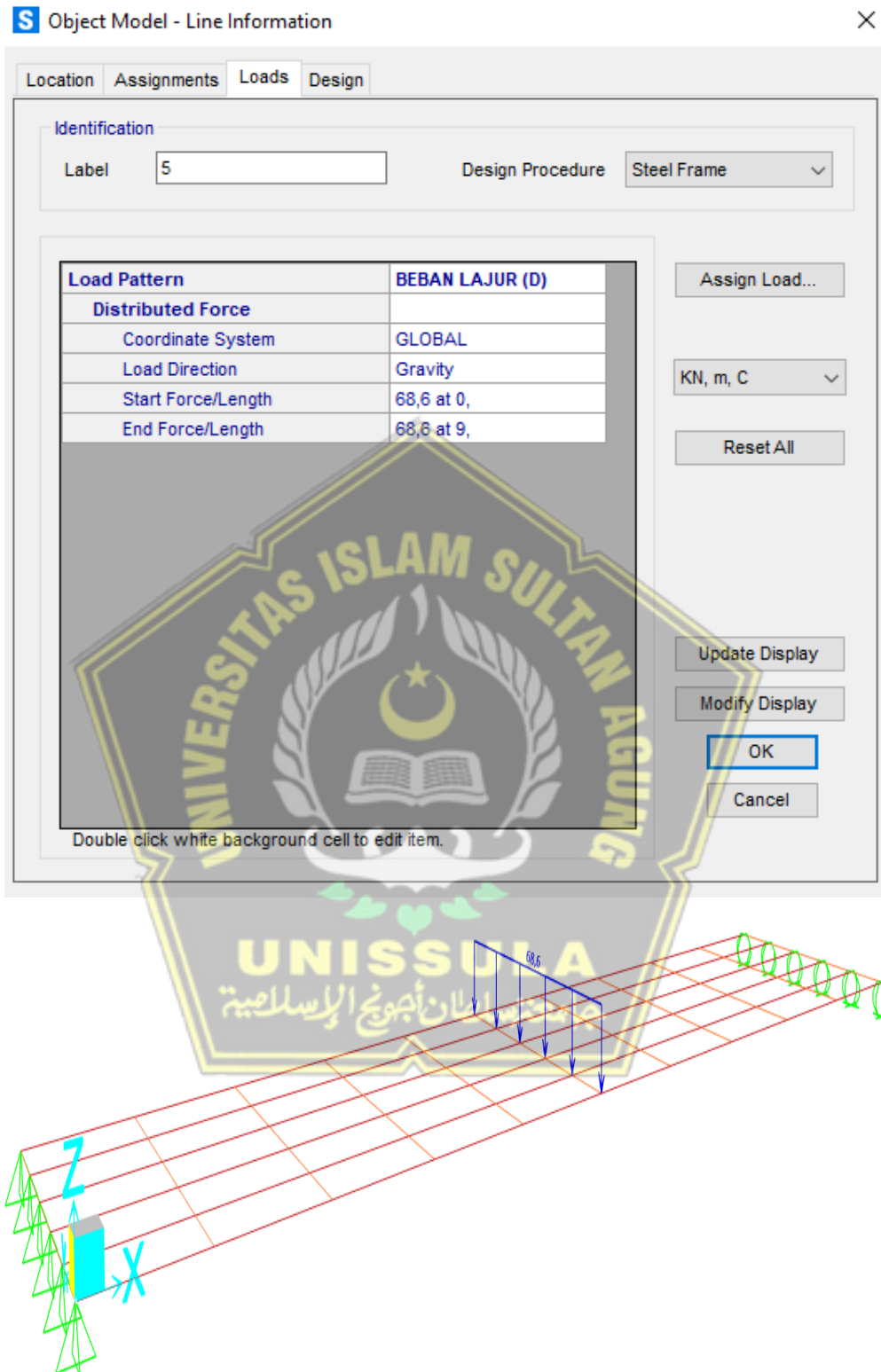
Distribusi beban BGT sejajar dengan elemen struktur yang relevan, sehingga menghasilkan gaya dalam ataupun momen yang terbesar pada titik-titik kritis struktur. Dengan demikian, beban ini dapat memodelkan efek nyata dari gaya yang terjadi pada rangka jembatan ketika menerima beban lalu lintas atau beban lainnya yang bersifat garis. Proses penginputan beban lajur garis terpusat ini membantu memastikan analisis struktur menjadi lebih akurat dan representatif terhadap kondisi kerja sebenarnya. SAP2000 mampu menghitung respons dan reaksi struktur secara efisien berdasarkan distribusi beban tersebut, sehingga mendukung evaluasi dan perancangan jembatan yang lebih optimal.

Untuk pengaplikasian beban lajur garis terpusat (BGT) pada pelat lantai jembatan tipe *Warren* truss menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Pengaplikasian Beban Lajur Garis Terpusat (BGT) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Warren* Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

Untuk pengaplikasian beban lajur garis terpusat (BGT) pada pada pelat lantai jembatan tipe *Camel Back* truss menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Pengaplikasian Beban Lajur Garis Terpusat (BGT) Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Camel Back* Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

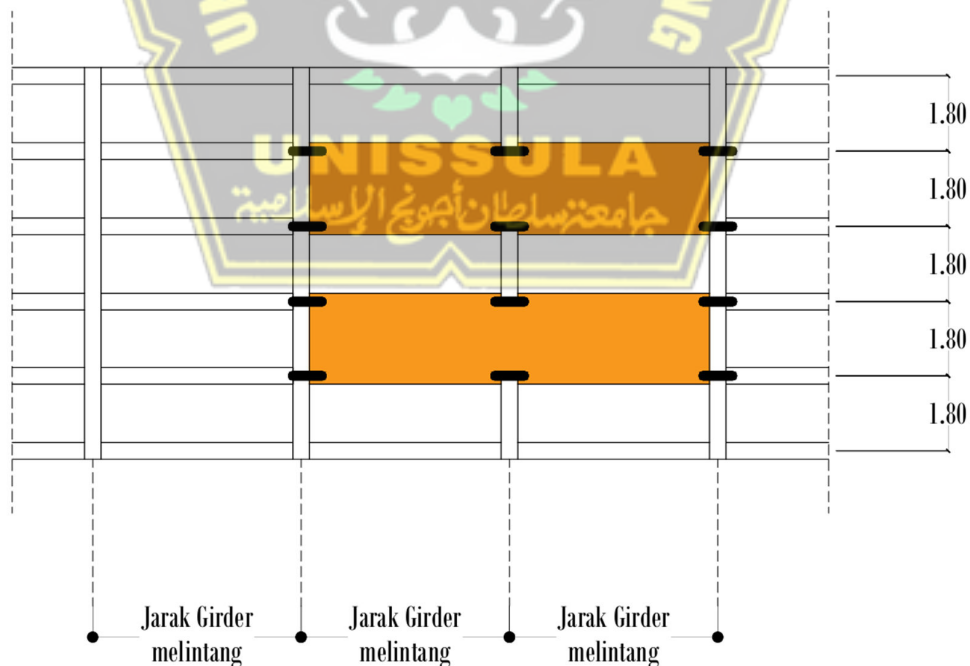
Rekapitulasi Beban Lajur dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Total rekapitulasi beban lajur (TD)

Jenis Beban Mati	Bentangan (m)	Arah	W	Satuan
BTR	37,50	Memanjang	9,00	kN/m ²
BGT	9,00	Melintang	68,60	kN/m

4.3.4 Beban truk (TT)

Beban dari truk disalurkan melalui roda truk dan dibagi menjadi tiga titik beban utama pada roda, yaitu Roda depan (50 kN) dan Roda tengah (225 kN) yang memiliki jarak antar roda sejauh 5,357 meter. Selanjutnya, Roda belakang (225 kN) ditempatkan pada jarak yang dapat disesuaikan dari Roda tengah, yaitu antara 4 hingga 9 meter. Dalam proses redesain ini, perancangan beban menggunakan jarak tetap 5,357 meter dan 3,50 meter antara Roda 2 dan Roda 3. Pemilihan jarak ini disesuaikan dengan jarak antar girder melintang jembatan yang juga sebesar 5 meter untuk rangka jembatan tipe *Warren*, dan jarak 3,50 meter untuk rangka jembatan tipe *Camel Back*. sehingga memungkinkan dilakukannya simulasi pembebanan pada perangkat lunak SAP 2000. Ilustrasi distribusi beban gandar truk ditampilkan pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Distribusi beban roda truk

Beban yang bekerja pada truk perlu dikalikan dengan Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk memperhitungkan efek dinamis yang terjadi akibat interaksi antara kendaraan yang bergerak dan struktur jembatan. Faktor ini penting digunakan agar beban desain yang diterapkan lebih realistis dan mencerminkan kondisi sebenarnya saat truk melintas. Sesuai ketentuan dalam standar pembebanan untuk jembatan, nilai FBD untuk beban truk biasanya ditetapkan sebesar 0,3 atau 30%. Nilai ini merepresentasikan penambahan beban akibat dinamika kendaraan yang melaju di atas jembatan dan harus diterapkan pada beban truk dalam perhitungan struktur.

Setelah nilai FBD diketahui, beban truk yang awalnya statis kemudian dikalikan dengan faktor ini untuk mendapatkan beban total dinamis yang akan digunakan dalam analisis struktur. Dengan demikian, struktur akan direncanakan mampu menahan beban yang diperkirakan lebih berat sesuai kondisi nyata di lapangan.

Beban truk dikalikan dengan faktor tersebut untuk memperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Roda Depan

$$= 50 \text{ kN} \times (1 + \text{Faktor Beban Dinamis})$$

$$= 50 \text{ kN} \times (1 + 0,30)$$

$$= 65 \text{ kN}$$
2. Roda Tengah

$$= 225 \text{ kN} \times (1 + \text{Faktor Beban Dinamis})$$

$$= 225 \text{ kN} \times (1 + 0,30)$$

$$= 292,5 \text{ kN}$$
3. Roda Belakang

$$= 225 \text{ kN} \times (1 + \text{Faktor Beban Dinamis})$$

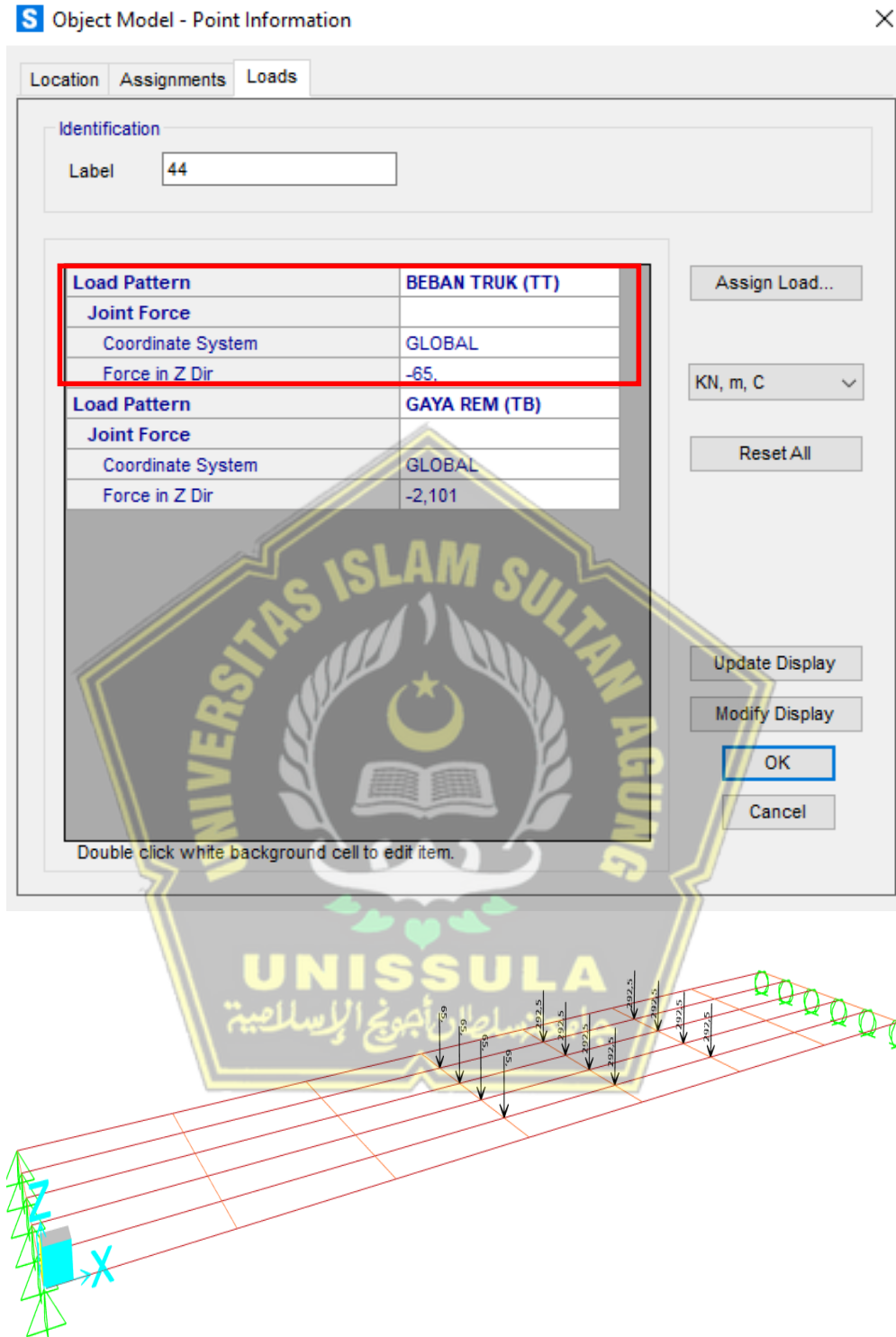
$$= 225 \text{ kN} \times (1 + 0,30)$$

$$= 292,5 \text{ kN}$$
4. Beban Truk Total

$$= 65 + 292,5 + 292,5$$

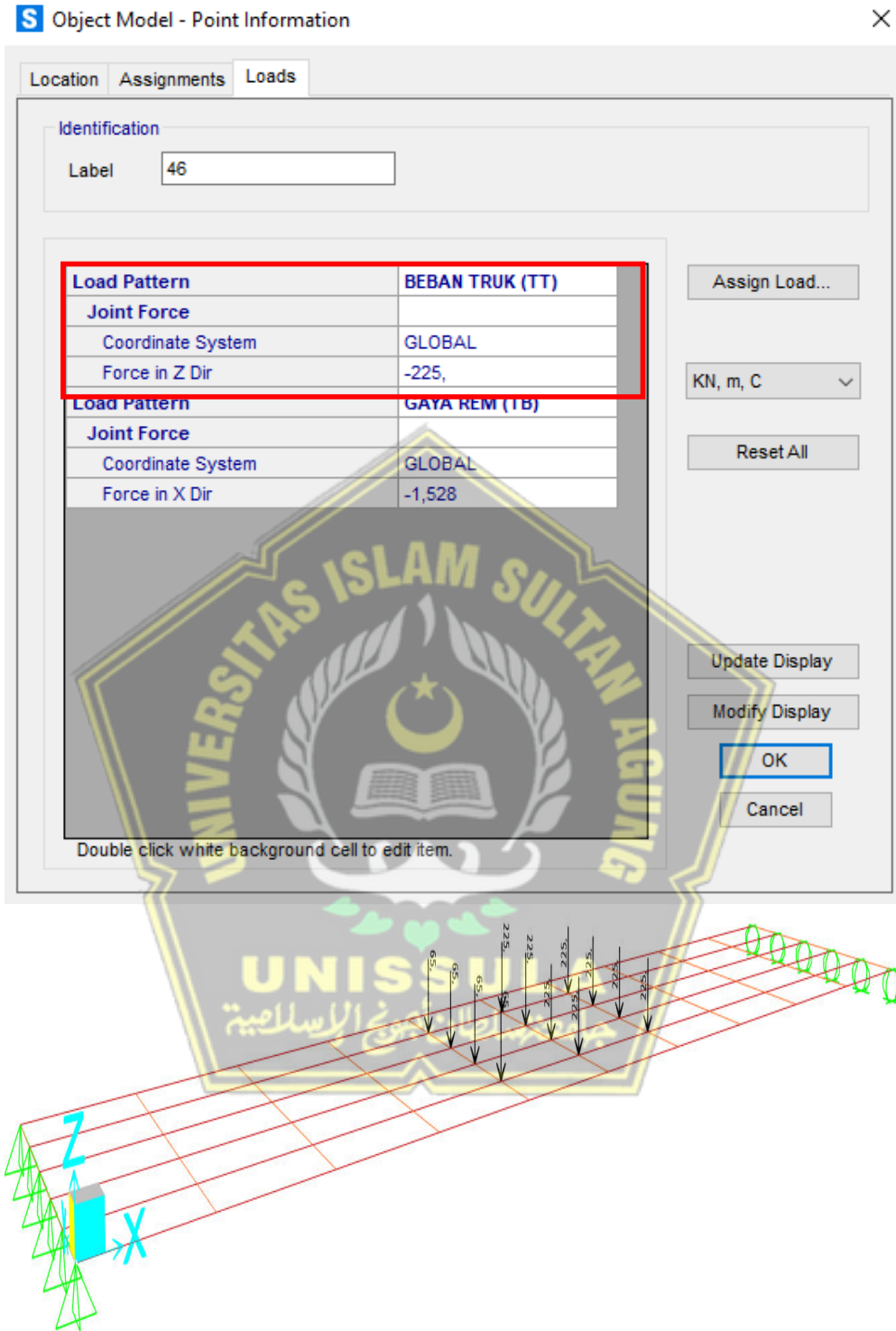
$$= 650 \text{ kN}$$

Penginputan beban terpusat roda truk pada jembatan tipe *Warren* truss dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Pengaplikasian Beban Truk Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Warren* Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

Penginputan beban terpusat roda truk pada jembatan tipe *Camel Back* truss dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.12 Pengaplikasian Beban Truk Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe Camel Back Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000

4.3.5 Gaya Rem (TB)

Pembebanan lain dari Truk yang perlu diperhitungkan adalah Beban Akibat Gaya Rem. Gaya Rem harus ditentukan yang terbesar dari hasil perhitungan berikut:

1. 25% dari Berat Gandar Truk Desain atau,

$$\begin{aligned}\text{Gaya Rem} &= 25\% \times \text{Berat Gandar Truk} \\ &= 25\% \times 292,5 \text{ kN} \\ &= 73,125 \text{ kN}\end{aligned}$$

2. 5% dari Berat Truk Rencana ditambah Beban Terbagi Rata (BTR)

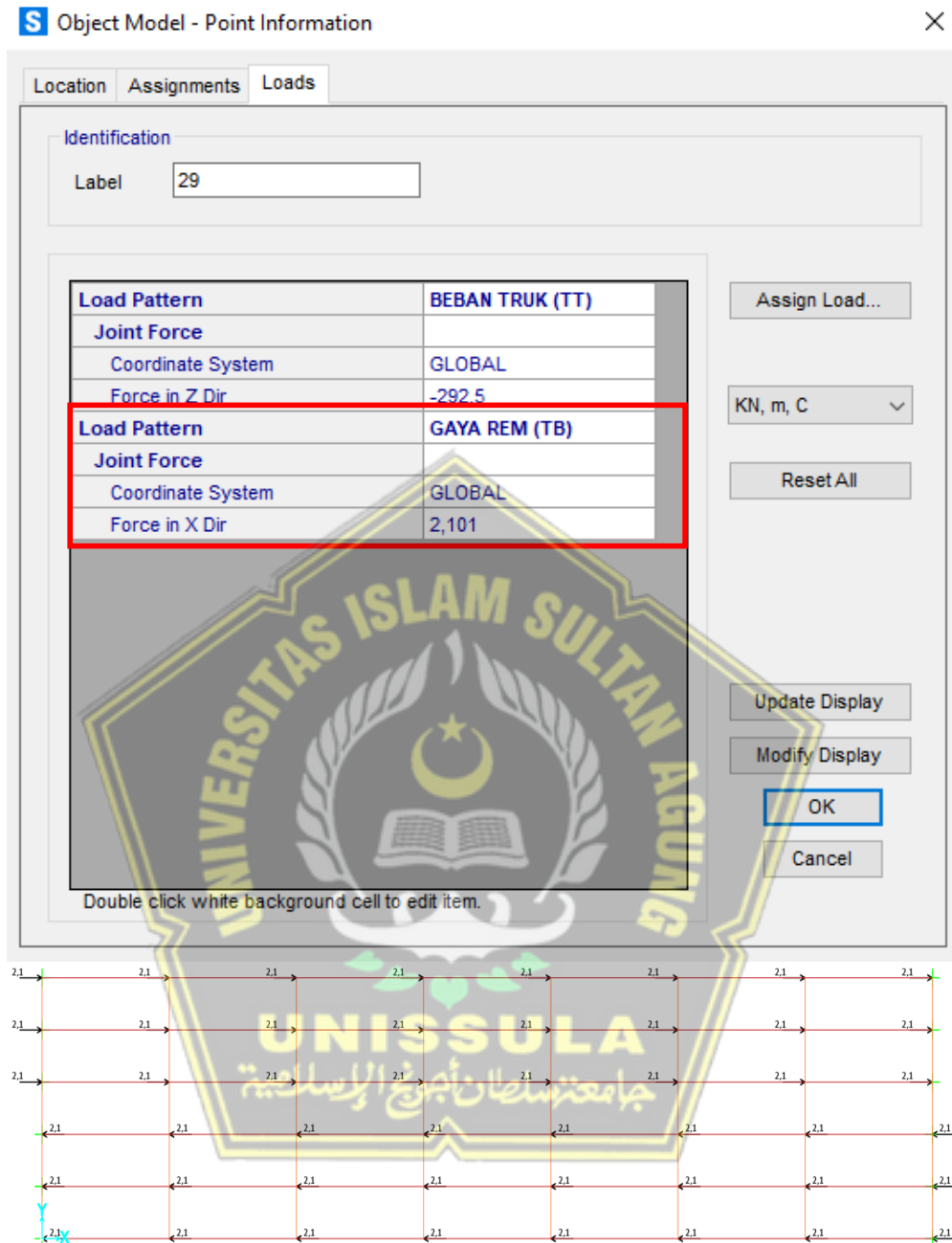
$$\begin{aligned}\text{Gaya Rem} &= 5\% \times [TT + (0,5 \times \text{Lebar Jembatan} \times \\ &\quad \text{Panjang Jembatan} \times \text{BTR})] \\ &= 5\% \times [650 \text{ kN} + (0,5 \times 9 \text{ m} \times 37,50 \text{ m} \times \\ &\quad 8,10 \text{ kN/m}^2)] \\ &= 100,843 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, beban rem tertinggi terjadi pada persamaan kedua, sehingga beban rem yang digunakan untuk analisis pembebanan adalah sebesar 100,843 kN. Nilai ini menjadi acuan utama dalam tahap analisis berikutnya untuk memastikan keamanan dan keandalan struktur jembatan. Selanjutnya, beban rem tersebut harus dibagi sesuai dengan jumlah joint pertemuan antara gelagar memanjang dan gelagar melintang pada jembatan dari kedua jenis jembatan tersebut. Pembagian ini dilakukan agar distribusi beban lebih merata dan representatif, dengan perhitungan rinci yang akan dijelaskan pada perhitungan berikut:

1. Gaya rem rangka jembatan tipe *Warren*

$$\begin{aligned}\text{Jumlah joint} &= 48 \text{ Joint} \\ \text{TB Max} &= \frac{100,843}{48} \\ &= 2,101 \text{ kN}\end{aligned}$$

Penginputan gaya rem pada setiap joint pertemuan antara gelagar melintang dan memanjang pada jembatan tipe *Warren* truss dapat dilihat pada gambar 4.13

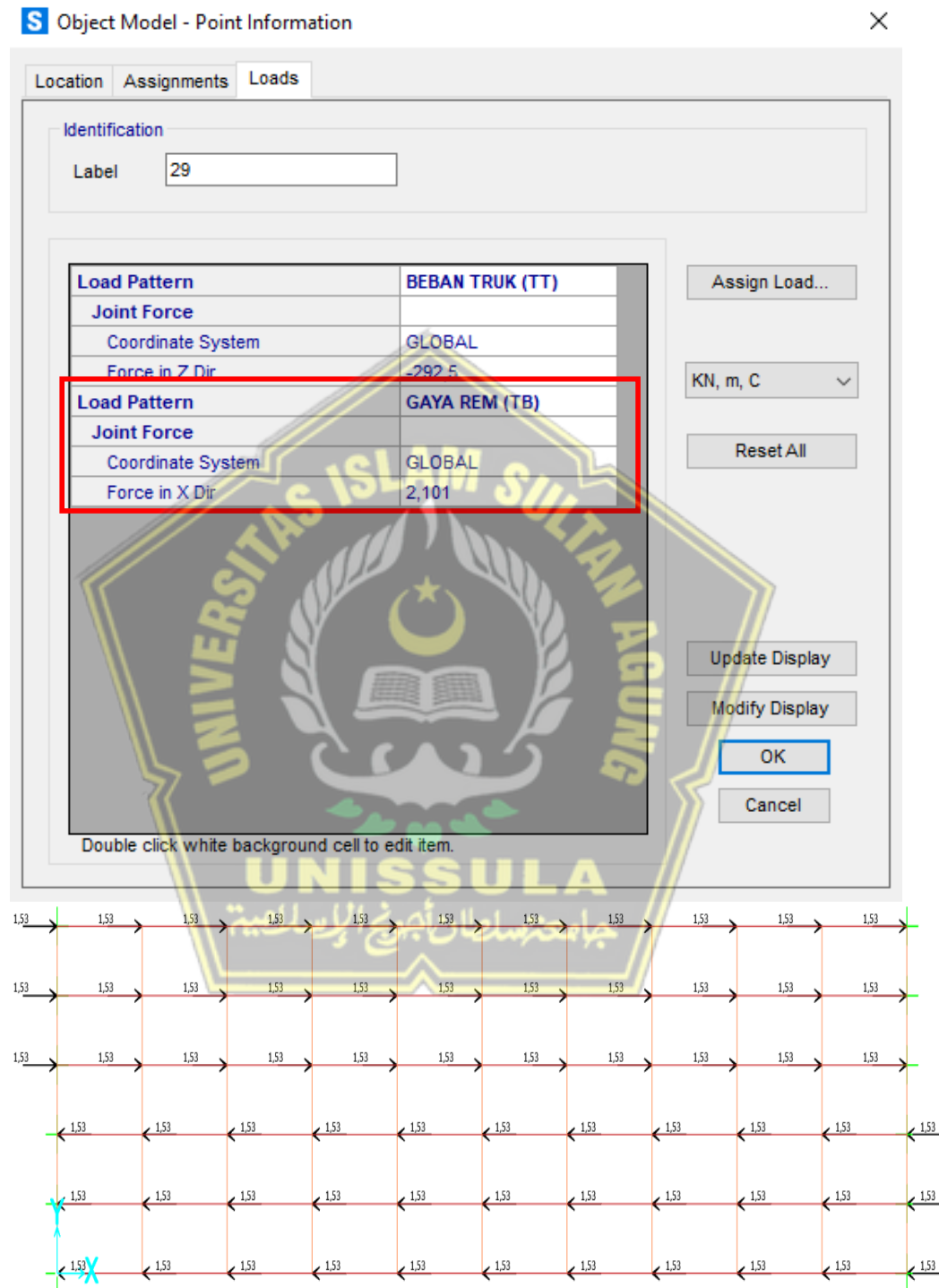


Gambar 4.13 Pengaplikasian Gaya rem Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Warren* truss Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

2. Gaya rem rangka jembatan tipe *Camel Back*

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah joint} &= 66 \text{ Joint} \\
 \text{TB Max} &= \frac{100,843}{66} \\
 &= 1,528 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Penginputan gaya rem pada setiap joint pertemuan antara gelagar melintang dan memanjang pada jembatan tipe *Camel Back* truss dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Pengaplikasian Gaya rem Pada struktur rangka Jembatan Tipe *Camel Back* Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

4.3.6 Beban Temperatur (E_{un})

Beban suhu (E_{un}) diperoleh dari perbedaan antara suhu maksimum dan suhu minimum yang dialami oleh struktur jembatan selama periode waktu tertentu. Beban ini sangat penting diperhitungkan karena perubahan suhu dapat menyebabkan ekspansi atau kontraksi material yang berpengaruh pada perilaku dan integritas struktural jembatan.

Tabel 4.4 mengacu SNI 1725-2016 menunjukkan nilai-nilai beban temperatur yang harus diterapkan pada lantai jembatan sebagai acuan dalam perencanaan dan perhitungan struktur. Standar ini mengatur bagaimana efek beban temperatur dihitung secara sistematis untuk memastikan keamanan dan keandalan jembatan dalam menghadapi perubahan suhu lingkungan yang sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Tabel 4.4 Standar Temperatur Lantai Jembatan

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-Rata Maximum
Lantai Beton di atas Gelagar atau Box Beton	15°C	40°C
Lantai Beton di atas Gelagar atau Rangka Baja	15°C	40°C
Lantai Pelat Baja di atas Gelagar atau Rangka Baja	15°C	40°C
Catatan (1) Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum bisa dikurangi 5°C untuk Lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut		

Sumber (SNI 1725:2016)

Dari tabel tersebut dapat dilihat Tipe Bangunan Atas yaitu Lantai Pelat Beton di atas Gelagar atau Rangka Baja. Perhitungan Beban Temperatur dapat dilihat pada uraian berikut:

$$T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 40^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$$

$$= 25^{\circ}\text{C}$$

S Object Model - Area Information ✕

Location Assignments **Loads**

Identification

Label

Load Pattern	BEBAN MATI TAMBA...
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	3,289
Distribution Type	One way
Load Pattern	BEBAN LAJUR (D)
Uniform Load	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	8,1
Load Pattern	BEBAN TEMPERATUR ...
Temperature Load	
Temperature	25, °C
Joint Pattern	None

Assign Load...

KN, m, C ▾

Reset All

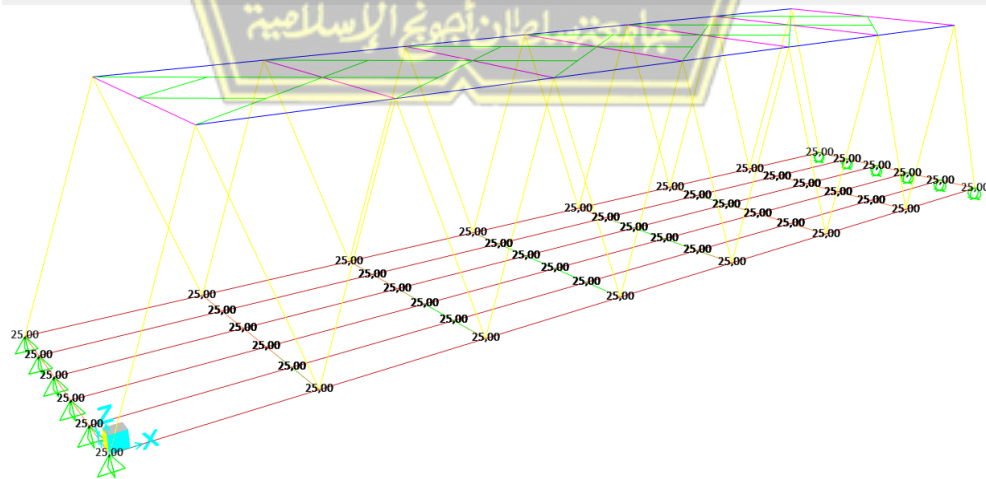
Update Display

Modify Display

OK

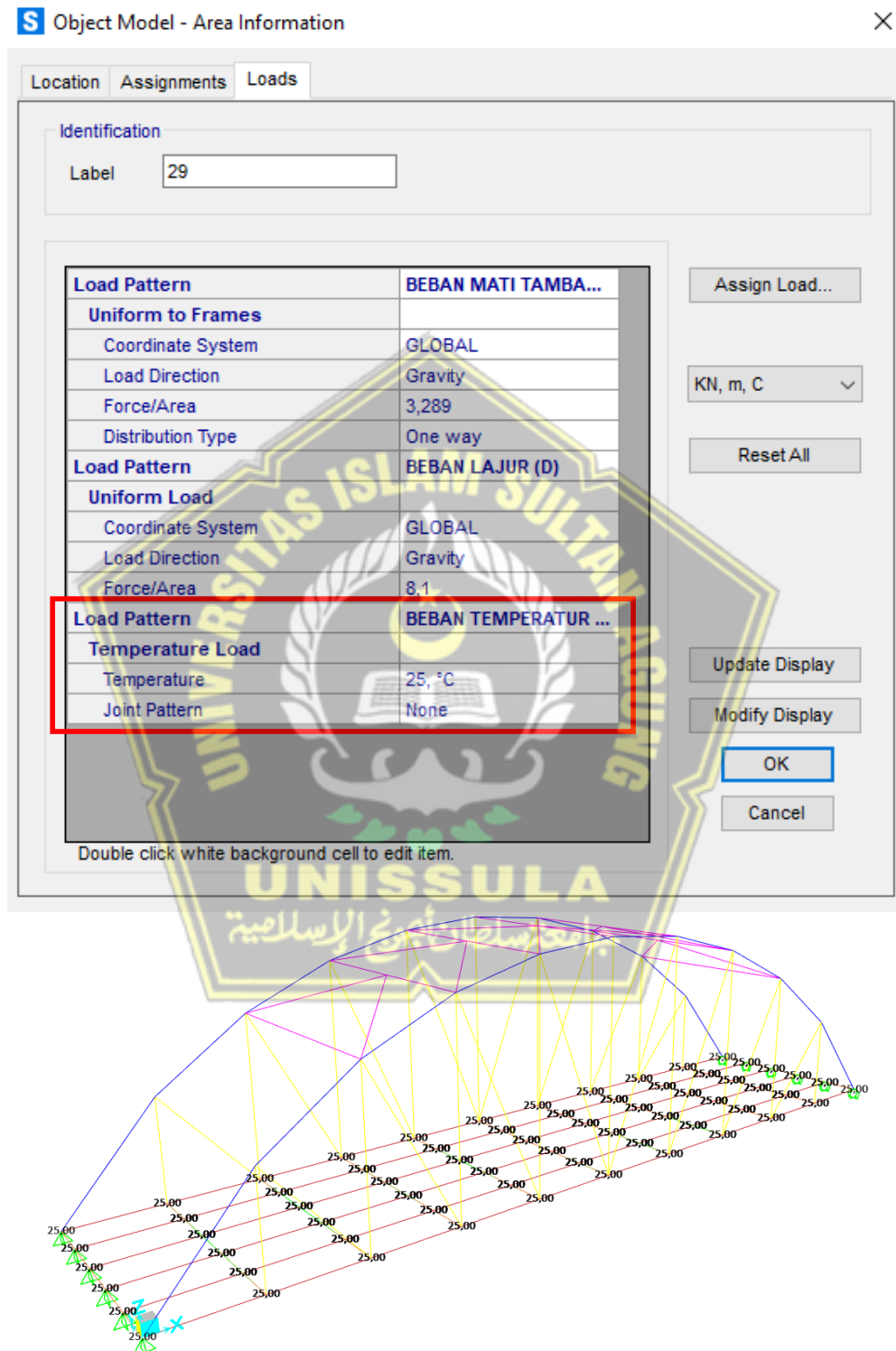
Cancel

Double click white background cell to edit item.



58

Penginputan beban temperatur pada pelat lantai jembatan tipe *Camel Back* truss dapat dilihat pada gambar 4.16



Gambar 4.16 Pengaplikasian Beban temperatur Pada Pelat Lantai Jembatan Tipe *Camel Back* Truss Menggunakan Aplikasi SAP2000 V22

4.3.7 Beban Angin (EW_s)

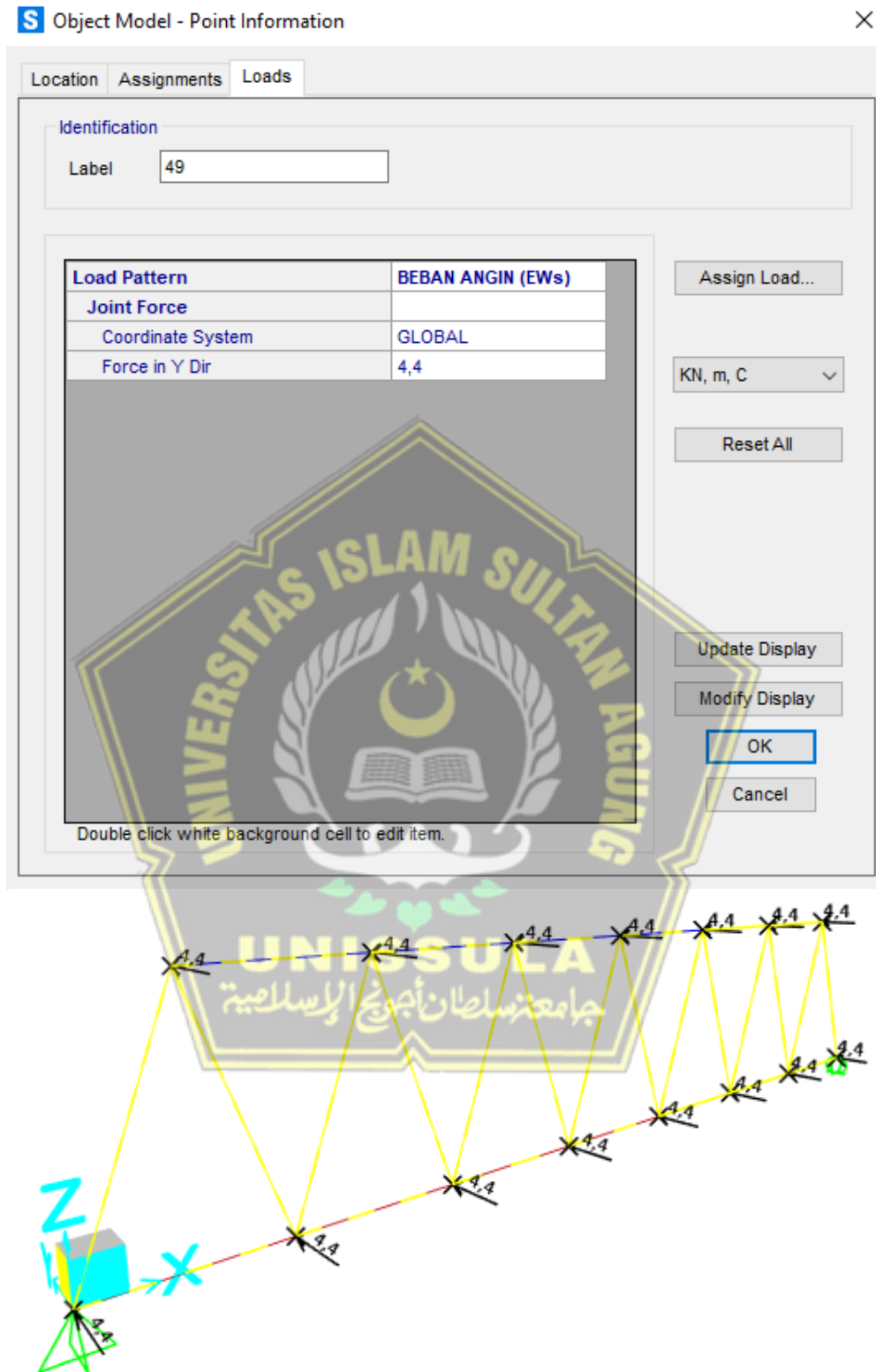
Penginputan beban angin dilakukan pada setiap joint pada struktur rangka. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa beban angin yang bekerja pada struktur dapat dianalisis dengan tepat dan akurat, sehingga kekuatan dan kestabilan struktur dapat terjamin sesuai dengan standar yang berlaku.

Berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 9.6.1.1, besarnya beban angin memiliki batas minimum tertentu. Untuk sisi yang terkena tekanan angin, nilai beban tidak boleh kurang dari 4,4 kN/m², sementara untuk sisi yang mengalami hisap angin, nilai minimum yang diperbolehkan adalah 2,2 kN/m². Ketentuan ini dimaksudkan agar struktur tetap aman walaupun perhitungan teknis menunjukkan nilai beban yang lebih rendah.

Jika hasil perhitungan menunjukkan nilai beban angin yang lebih kecil dari batas minimum tersebut, maka nilai beban yang digunakan dalam perencanaan harus tetap sesuai dengan nilai minimum yang ditetapkan. Dengan demikian, untuk tekanan angin dipakai nilai 4,4 kN/m² dan untuk hisap angin digunakan nilai 2,2 kN/m².

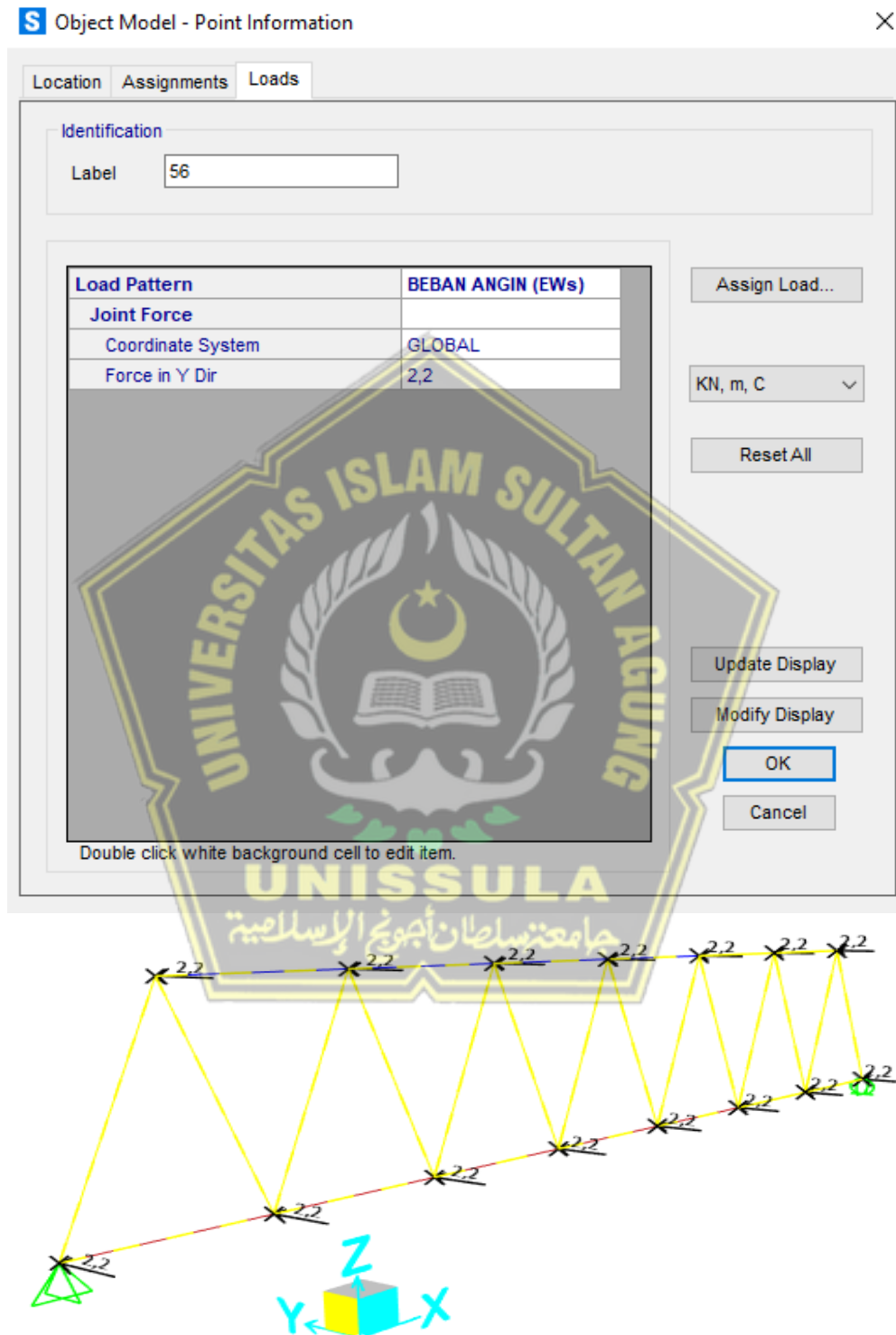
Dalam kasus ini, perhitungan memberikan nilai tekanan angin yang kurang dari 4,4 kN/m² serta nilai hisap angin yang kurang dari 2,2 kN/m². Oleh karena itu, sesuai dengan ketentuan pada SNI, maka yang digunakan adalah nilai beban minimum, yaitu 4,4 kN/m² untuk tekanan angin dan 2,2 kN/m² untuk hisap angin demi menjamin keamanan struktur rangka tersebut.

Penginputan beban angin pada joint rangka jembatan *Warren* truss yang terkena bidang tekan dapat dilihat pada gambar 4.17



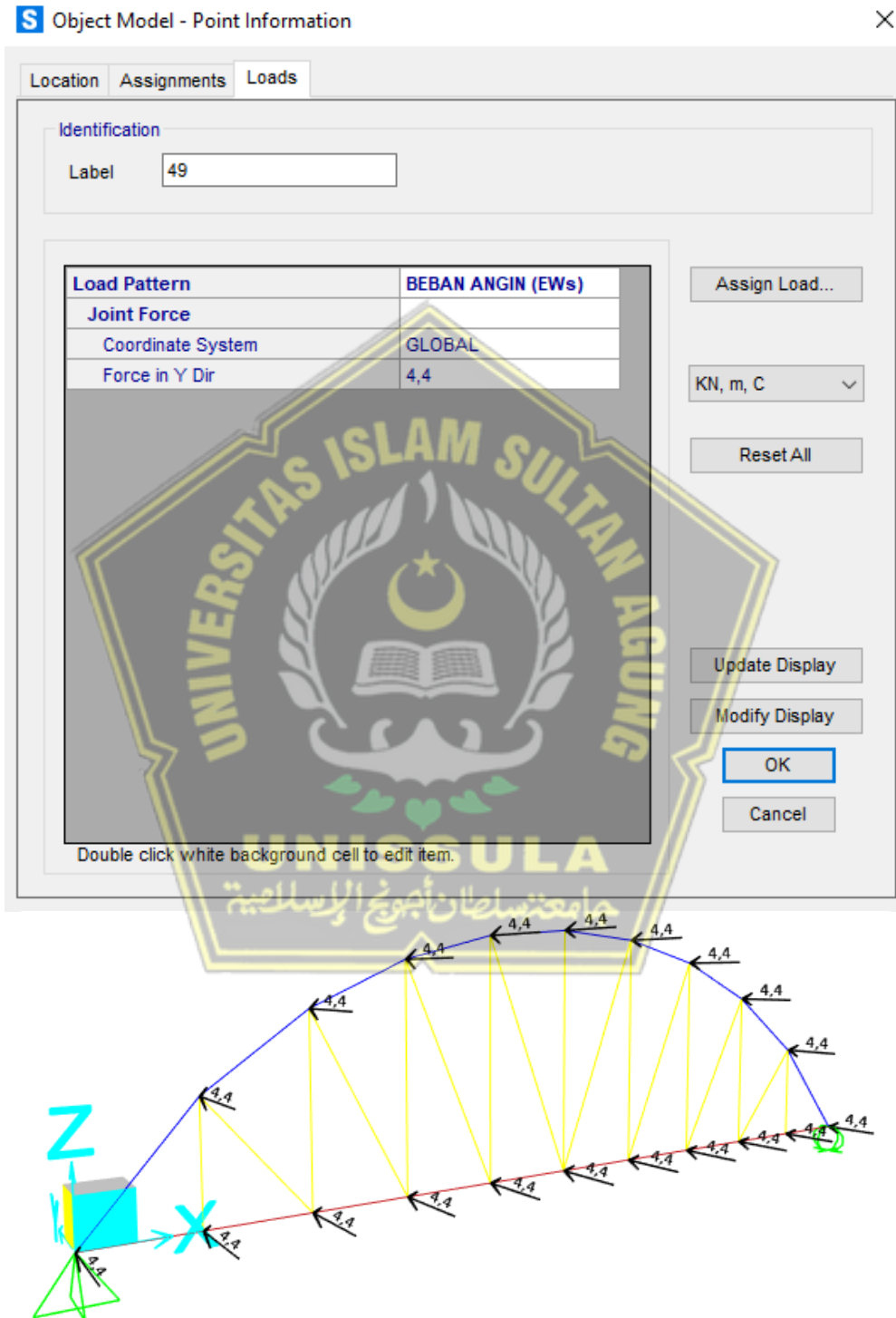
Gambar 4.17 Penginputan Beban Angin Pada Joint Rangka Jembatan Warren Truss Yang Terkena Bidang Tekan

Penginputan beban angin pada joint rangka jembatan *Warren* truss yang terkena bidang hisap dapat dilihat pada gambar 4.18



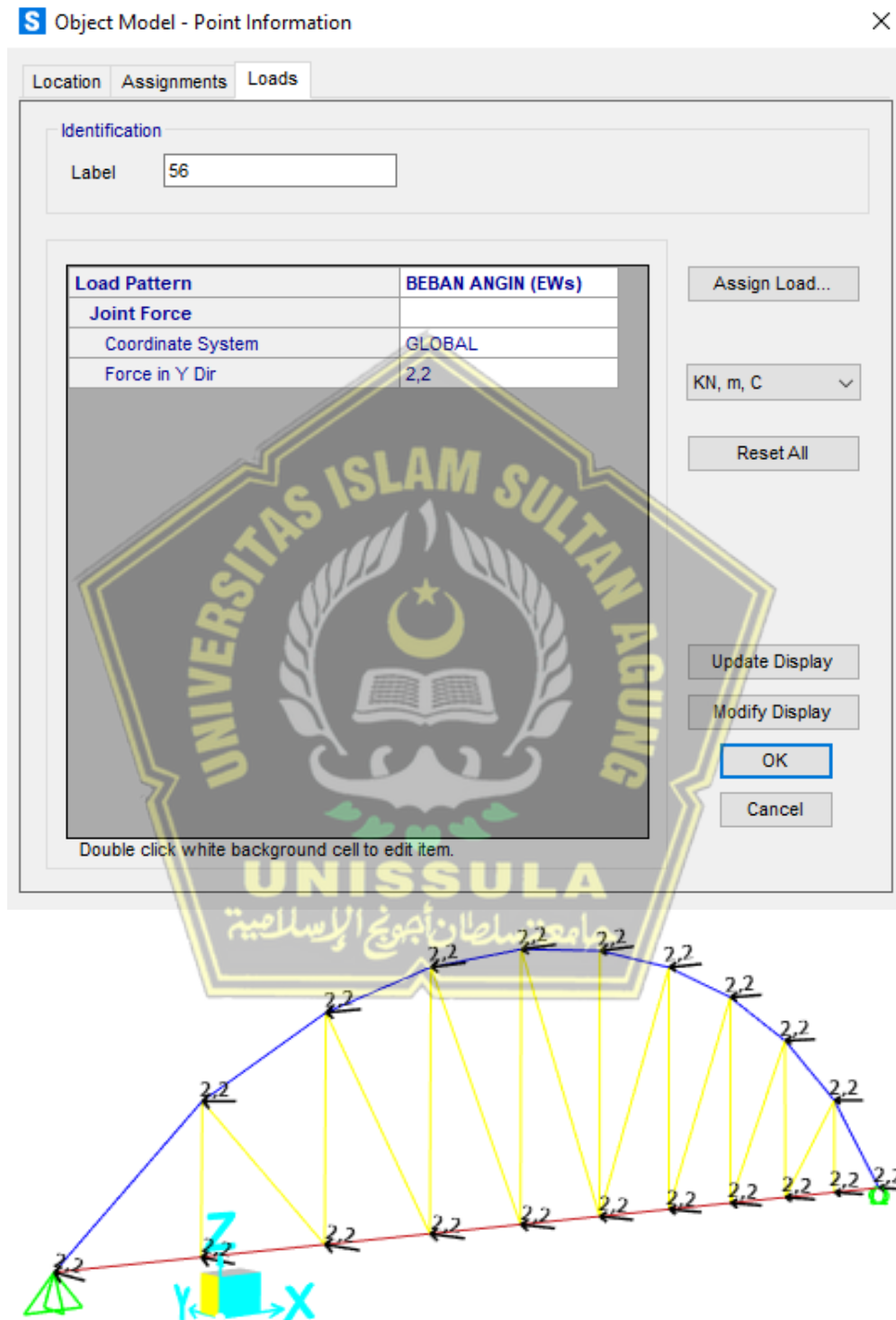
Gambar 4.18 Penginputan Beban Angin Pada Joint Rangka Jembatan *Warren* Truss Yang Terkena Bidang Hisap

Penginputan beban angin pada joint rangka jembatan *Camel Back* truss yang terkena bidang tekan dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.19 Penginputan Beban Angin Pada Joint Rangka Jembatan *Camel Back* Truss Yang Terkena Bidang Tekan

Penginputan beban angin pada joint rangka jembatan *Camel Back* truss yang terkena bidang hisap dapat dilihat pada gambar 4.20



Gambar 4.20 Penginputan Beban Angin Pada Joint Rangka Jembatan *Camel Back* Truss Yang Terkena Bidang Hisap

4.3.8 Beban Seismik (EQ)

Beban gempa (EQ) merupakan gaya horizontal yang diperoleh dengan mengalikan Koefisien Respon Elastik (C_{sm}) dengan Berat Struktur Ekuivalen (W_t), kemudian hasil perkalian tersebut disesuaikan menggunakan Faktor Modifikasi Respon (R). Proses perancangan beban gempa mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 2833-2016.

Lokasi Jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang dapat dilihat pada gambar 4.21



Gambar 4.21 Lokasi Jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang
(Sumber: <https://www.google.com/maps/@-6.9495563,110.4855428,173m>)

Prosedur awal yang harus dilakukan adalah menentukan Kelas Situs untuk membuat Respon Spektra Rencana. Tujuan dari analisis probabilitas gerak tanah pada lokasi spesifik adalah untuk memperoleh Respon Spektra Percepatan yang mempertimbangkan probabilitas terlampaui sebesar 7% dalam kurun waktu 75 tahun terhadap Nilai Spektra.

Untuk menentukan Klasifikasi Situs di lokasi Jembatan ini dapat ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Kelas Situs Tanah

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	N	S_u (kPa)
A Batuan keras	$\bar{V} \geq 1500$	N/A	N/A
B Batuan	$750 < \bar{V}, \leq 1500$	N/A	N/A
C Tanah Sangat Padat	$350 < \bar{V}, \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D Tanah Sedang	$175 < \bar{V}, \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E Tanah Lunak	$\bar{V} \leq 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u \leq 50$

(Sumber: Ditulis Kembali dari SNI:2833-2016)

Dalam menentukan kelas situs tanah, salah satu parameter yang paling utama adalah nilai N-SPT rata-rata ($\bar{N}$), yang di dapat dari data bor-log atau *Standard Penetration Test* (SPT).

Data SPT dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.6 Data *Standard Penetration Test* (SPT) Bore Hole 02

No	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Deskripsi Tanah	N-SPT	N
1.	-0 m hingga -5 m	5	Gray Soft Clay	2	2,5
2.	-5 m hingga -10 m	5	Gray Soft Clay	2	2,5
3.	-10 m hingga -15 m	5	Gray Soft Clay	3	1,67
4.	-15 m hingga -20 m	5	Gray Soft Clay	2	2,5
5.	-20 m hingga -25 m	5	Gray Soft Clay	3	1,67
6.	-25 m hingga -30 m	5	Gray Soft Clay	3	1,67
7.	-30 m hingga -35 m	5	Gray Firm Clay	8	0,63
8.	-35 m hingga -40 m	5	Gray Firm Clay	10	0,50
9.	-40 m hingga -45 m	5	Gray Stiff Clay	11	0,45
10.	-45 m hingga -50 m	5	Gray Stiff Clay	12	0,42

(Sumber: Ditulis Kembali dari data proyek *Trial embankment section I*, Semarang)

Perhitungan nilai N-SPT rata-rata ($\bar{N}$) di jabarkan pada persamaan berikut:

Tebal lapisan total = 50 meter

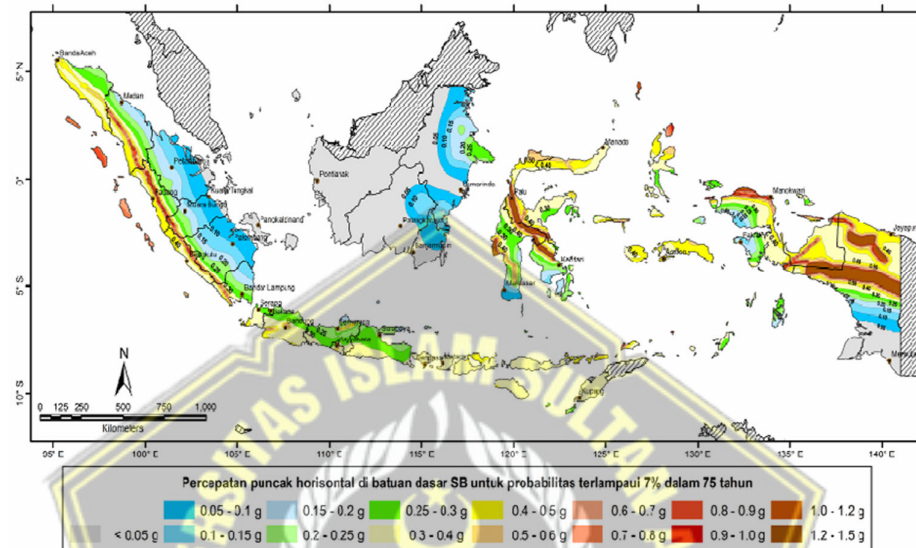
$$\begin{aligned} \text{Nilai N} &= \frac{\text{Tebal Lapisan}}{\text{N-SPT}} \\ &= \frac{5 \text{ meter}}{2} \\ &= 2,5 \end{aligned}$$

Nilai N_{total} = 14,50

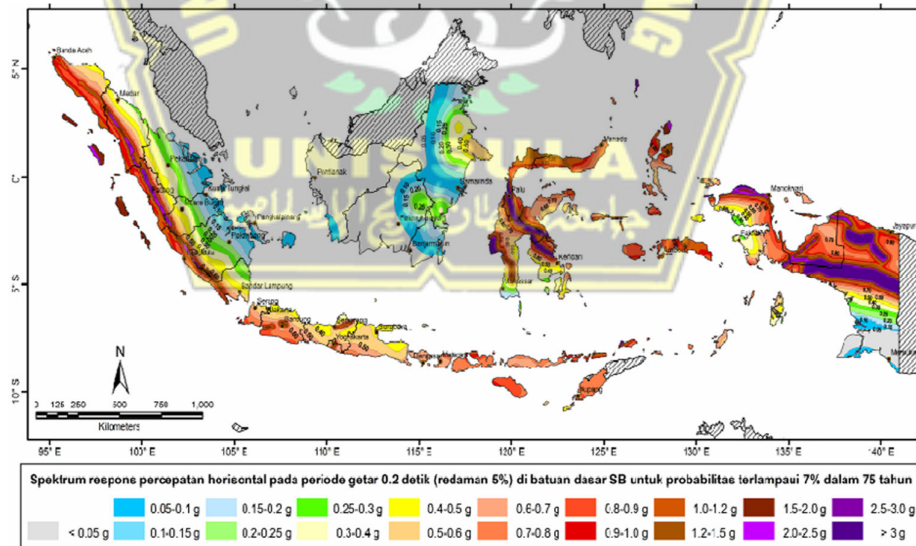
$$\begin{aligned} \text{N-SPT rata-rata } (\bar{N}) &= \frac{\text{Tebal Lapisan}}{\bar{N}} \\ &= \frac{50 \text{ meter}}{14,50} \\ &= 3,45 \end{aligned}$$

Berdasarkan N-SPT rata-rata ($\bar{N}$), dapat dilihat bahwa nilai $\bar{N}$ adalah 3,45, maka Kelas Situs untuk Perancangan gempa pada lokasi tersebut yaitu Tanah Lunak (SE). Setelah menentukan klasifikasi situs pada lokasi yang ditinjau, langkah berikutnya adalah menetapkan nilai Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA), Respon Spektra Percepatan pada periode 0,2 detik (SS), serta Respon Spektra Percepatan pada periode 1 detik (S1) di batuan dasar. Nilai-nilai ini menggambarkan tingkat bahaya gempa bumi dengan periode ulang 1000 tahun atau peluang terlampaui

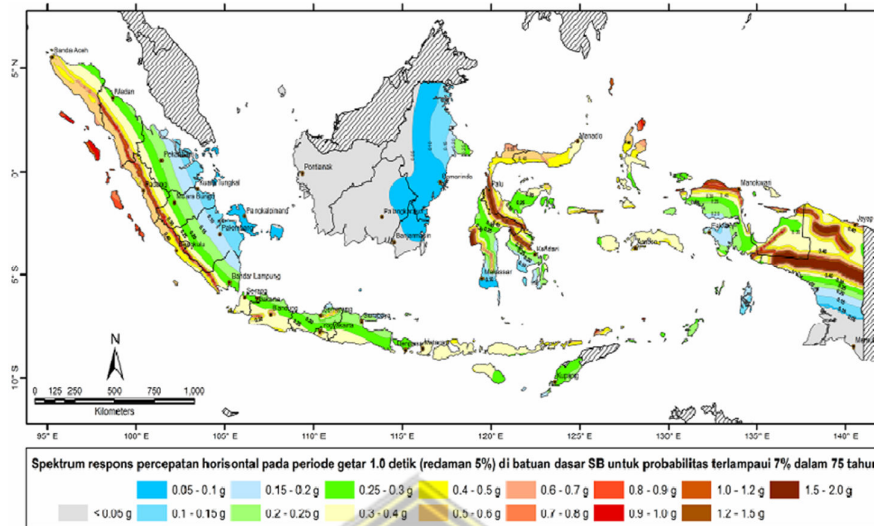
sebesar 7% dalam kurun waktu 75 tahun. Data tersebut diperoleh dari Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (Gambar 4.22), Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik (Gambar 4.23), dan Peta Respon Spektra Percepatan 1 detik (Gambar 4.24), yang disusun berdasarkan SNI 2833-2016 menggunakan Peta Gempa Indonesia Tahun 2017



Gambar 4.22 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
(Sumber: SNI:2833-2016)



Gambar 4.23 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik
(Sumber: SNI:2833-2016)



Gambar 4.24 Peta Respon Spektra Percepatan 1 detik
(Sumber: SNI:2833-2016)

Proses perhitungan beban gempa diawali dengan penentuan parameter percepatan gempa yang sesuai dengan lokasi jembatan. Berdasarkan peta yang ditunjukkan di atas, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Parameter Percepatan Gempa

Berdasarkan Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA) serta Respon Spektra Percepatan pada periode 0,2 detik (SS) dan 1 detik (S1) yang menggambarkan tingkat bahaya gempa dengan periode ulang 1000 tahun atau peluang terlampaui sebesar 7% dalam 75 tahun, diketahui bahwa lokasi jembatan berada wilayah bagian Timur Kota Semarang. Maka dari data tersebut, diperoleh koefisien sebagai berikut:

$$\text{PGA} = 0,2 \text{ g} - 0,25 \text{ g}, \quad \text{diambil } 0,2 \text{ g}$$

$$\text{SS} = 0,4 \text{ g} - 0,5 \text{ g}, \quad \text{diambil } 0,5 \text{ g}$$

$$\text{S1} = 0,15 \text{ g} - 0,2 \text{ g}, \quad \text{diambil } 0,2 \text{ g}$$

Dengan g adalah gal (Gravitational Acceleration) dimana $1 \text{ g} = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2. Faktor Situs

Faktor amplifikasi meliputi Faktor Amplifikasi untuk periode pendek (F_a), Faktor Amplifikasi untuk percepatan pada periode 1 detik (F_v), serta faktor amplifikasi getaran yang terkait dengan percepatan pada periode 0 detik (FPGA). Nilai-nilai amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Faktor amplifikasi untuk PGA periode 0,2 detik

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1 SS ≤ 0,25	PGA = 0,2 S _s = 0,5	PGA = 0,3 S _s = 0,75	PGA = 0,4 S _s = 1,0	PGA ≥ 0,5 SS ≥ 1,25
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: Ditulis Kembali dari SNI:2833-2016)

Nilai F_{PGA} dan F_a dapat ditentukan dari tabel di atas sebagai berikut.

$$F_{PGA} = 1,2$$

$$F_a = 1,2$$

Perhitungan Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 detik dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Faktor amplifikasi untuk PGA periode 1 detik

Kelas Situs	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 0,4	S ₁ ≥ 0,5
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: Ditulis Kembali dari SNI:2833-2016)

Berdasarkan gambar 4.8, Kelas Situs Tanah di Lokasi Jembatan ini adalah Tanah Lunak (SE) dan Respon Spektra Percepatan 1 detik (S₁) di wilayah bagian Timur Kota Semarang sebesar 0,2 sehingga Nilai F_v diambil sebesar 3,2.

3. Grafik Respons Spektrum

Grafik Respon Spektrum adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara Periode Getar Struktur dengan Koefisien Seismik Elastik. Untuk menentukan besaran grafik respon spektrum, dapat ditunjukkan pada perhitungan berikut:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA$$

$$= 1,2 \times 3,2$$

$$= 3,84 \text{ g}$$

$$S D_s = F_a \times S_s$$

$$= 1,2 \times 0,5$$

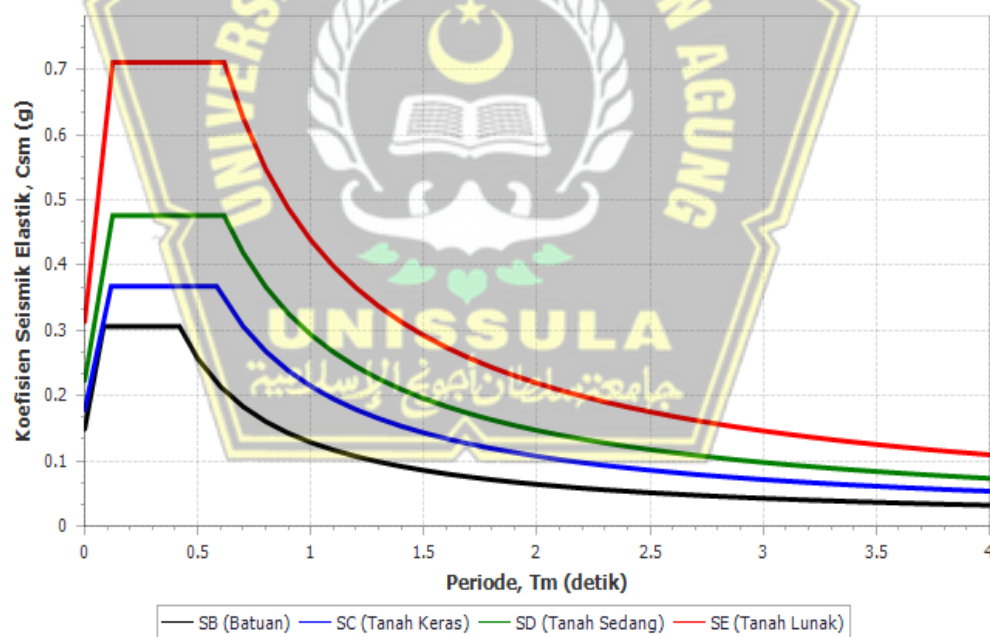
$$= 0,600 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}
 SD1 &= F_v \times S1 \\
 &= 1,6 \times 0,2 \\
 &= 0,320 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Besaran Nilai Waktu Getar Alami Struktur dapat ditunjukkan pada perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 T_s &= SD1 / SD_s \\
 &= 0,320 / 0,600 \\
 &= 0,533 \text{ detik} \\
 T_o &= 0,2 \times T_s \\
 &= 0,2 \times 0,533 \\
 &= 0,1067 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Apabila sudah mengetahui Nilai Waktu Getar Alami, maka dapat digambarkan Grafik Respon Spektrum untuk Jembatan seperti pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Grafik Respons Spektrum Jembatan Kalibabon (Sumber: ini.binamarga.pu.go.id)

4.3.9 Kombinasi Beban Terfaktor

Beban Kombinasi yang digunakan untuk Analisis Struktur dengan Software SAP 2000 mengacu pada SNI 1725-2016 adalah sebagai berikut:

1. Kuat 1 : $1,1 MS + 2 MA + 1,8 TT + 1,8 TD + 1,8 TB + 1,2 EU_n$
2. Kuat 2 : $1,1 MS + 2 MA + 1,4 TT + 1,4 TD + 1,4 TB + 1,2 EU_n$
3. Kuat 3 : $1,1 MS + 2 MA + 1,4 EW_s + 1,2 EU_n$
4. Kuat 4 : $1,1 MS + 2 MA + 1,2 EU_n$
5. Kuat 5 : $1,1 MS + 2 MA + 1 EW_L + 1,2 EU_n + 1 EQ$
6. Ekstrem 1 : $1,1 MS + 2 MA + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 1 EQ$
7. Ekstrem 2 : $1 MS + 1 MA + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 1 EQ$
8. Layan 1 : $1 MS + 1 MA + 1 TT + 1 TD + 1 TB + 0,3 EW_s + 1,2 EU_n$
9. Layan 2 : $1 MS + 1 MA + 1,3 TT + 1,3 TD + 1,3 TB + 1,2 EU_n$
10. Layan 3 : $1 MS + 1 MA + 0,8 TT + 0,8 TD + 0,8 TB + 1,2 EU_n$
11. Layan 4 : $1 MS + 1 MA + 0,7 EW_s + 1,2 EU_n$
12. Fatik : $0,75 TT + 0,75 TD + 0,75 TB$

Sedangkan Kombinasi Beban Gempa dihitung berdasarkan SNI 2833-2016 yaitu:

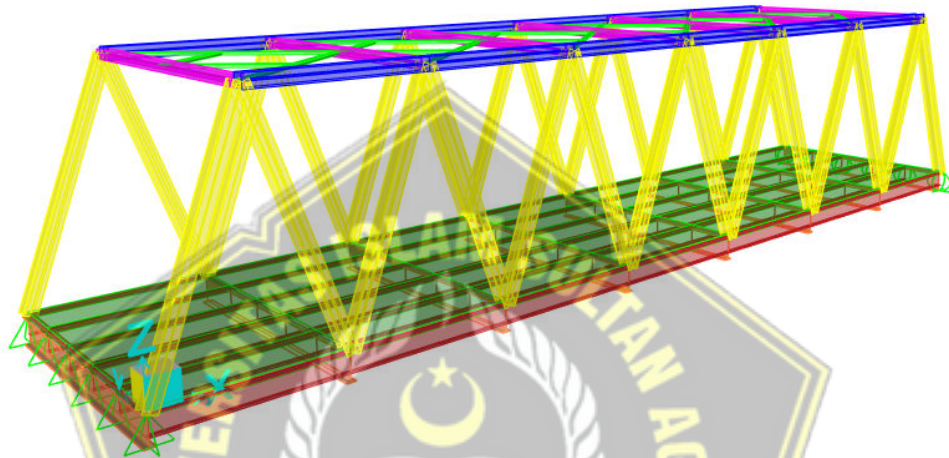
1. Gempa 1 : $1 MA + 1 MS + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 0,3 EQ_y + 1 EQ_x$
2. Gempa 2 : $1 MA + 1 MS + 0,5 TT + 0,5 TD + 0,5 TB + 1 EQ_y + 0,3 EQ$

4.4. Perancangan Struktur Rangka Jembatan *Warren* dan *Camel Back*

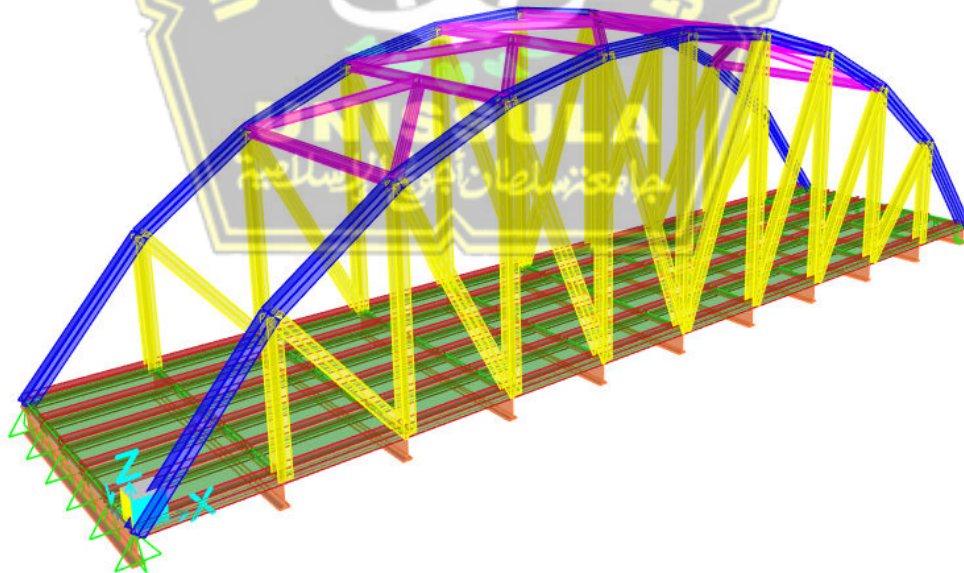
Perancangan rangka jembatan *Warren* dan *Camel Back* meliputi perencanaan bagian rangka baja yang kuat dan sesuai beban. Jembatan *Warren* menggunakan pola segitiga yang ringan dan kuat, cocok untuk bentang sedang hingga panjang. Jembatan *Camel Back* memiliki atap rangka lebih tinggi di tengah, cocok untuk bentang lebih panjang dan beban lebih besar. Perhitungan beban dan penggunaan software SAP2000 memastikan keamanan struktur, dengan pemilihan baja, sambungan, dan pelat lantai yang tepat agar jembatan stabil dan tahan lama.

4.4.1 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan

Pada Re-design struktur rangka jembatan Kalibabon, Kota Semarang, digunakan aplikasi SAP2000 V22 untuk membantu dalam menganalisis struktur jembatan, dan terdapat 2 jenis struktur rangka baja sebagai pembanding, yaitu struktur rangka baja tipe *Warren* dan *Camel Back*, ilustrasi pemodelan dari kedua struktur rangka tersebut dapat dilihat pada gambar 4.26 dan 4.27.



Gambar 4.26 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan tipe *Warren* pada aplikasi SAP2000 V22



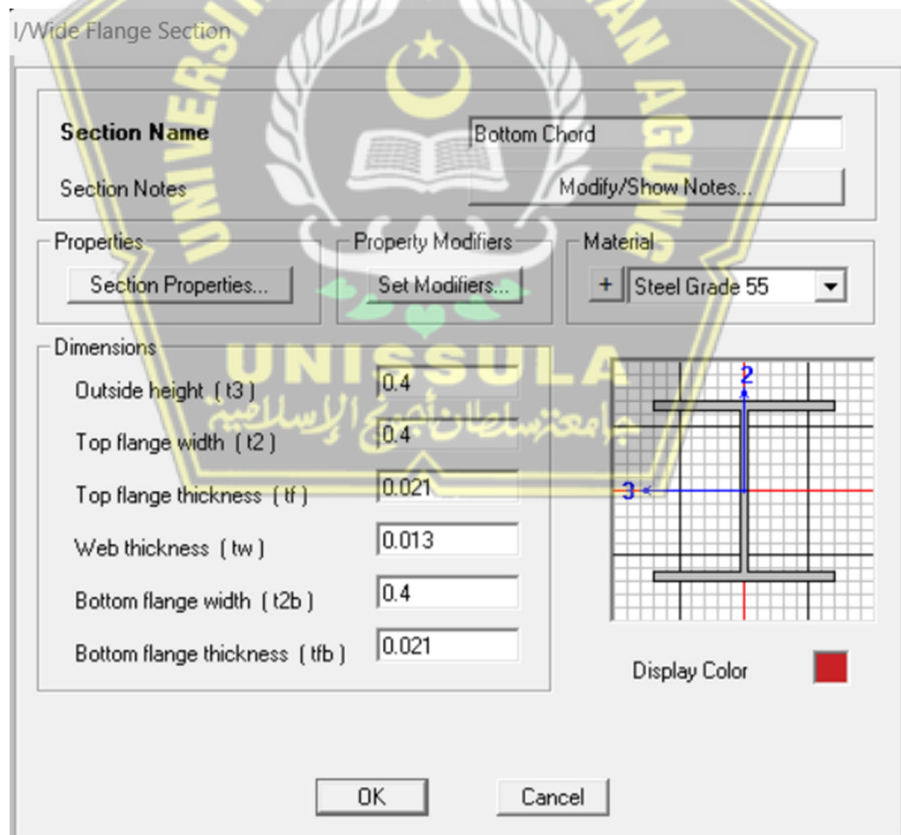
Gambar 4.27 Pemodelan Struktur Rangka Jembatan tipe *Camel Back* pada aplikasi SAP2000 V22

4.4.2 Perancangan Gelagar Memanjang

Perancangan gelagar memanjang pada jembatan meliputi penentuan ukuran dan bahan balok utama yang menahan beban sepanjang bentang jembatan. Gelagar harus dirancang agar kuat menahan momen lentur dan gaya geser akibat beban mati, hidup, dan lingkungan, serta memenuhi standar keamanan dan kenyamanan selama masa pakai. Pemodelan dan analisis biasanya dilakukan menggunakan software seperti SAP2000 untuk memastikan kekuatan dan kekakuan yang sesuai. Selain itu, efisiensi material dan stabilitas struktur juga diperhatikan agar jembatan berfungsi optimal dan tahan lama.

1. Profil Gelagar Memanjang

Profil Baja yang digunakan untuk Gelagar Memanjang pada jembatan *Warren* dan *Camelback* adalah H-Beam 400 x 400 dengan Mutu Baja Grade 60. Profil Baja H-Beam 400 x 400 (Gambar 4.28) dan Data Profil Baja H-Beam 400 x 400 (Gambar 4.29) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.28 Profil Baja Gelagar Memanjang

Property Data

Section Name: Gelagar Memanjang

Properties:

Cross-section (axial) area	21454.	Section modulus about 3 axis	3268079.
Torsional constant	2644095.5	Section modulus about 2 axis	1120327.7
Moment of Inertia about 3 axis	6.536E+08	Plastic modulus about 3 axis	3600133.
Moment of Inertia about 2 axis	2.241E+08	Plastic modulus about 2 axis	1695125.5
Shear area in 2 direction	5200.	Radius of Gyration about 3 axis	174.5449
Shear area in 3 direction	14000.	Radius of Gyration about 2 axis	102.1959

OK

Gambar 4.29 Data Profil Baja Gelagar Memanjang

Sistem ukuran standar Profil Baja H-Beam 400×400

- Lebar Sayap (b_f) = 0,4 m = 400 mm
- Tebal Sayap (t_f) = 0,021 m = 21 mm
- Tebal Badan (t_w) = 0,013 m = 13 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,4 m = 400 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (h_o) = 379 mm
- Luas Penampang (A_g) = 21454 mm²
- Inersia Sumbu X (I_x) = 653600000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (I_y) = 224100000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (r_x) = 174,5449 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (r_y) = 102,1959 mm
- Modulus Elastis Penampang (S_x) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (S_y) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_x) = 3600133 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Z_y) = 1695125,5 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (f_y) = 415 MPa

2. Kontrol Kelangsingan Profil Baja

menentukan batasan untuk kelangsingan profil dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 9,879 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 29,636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 38,637 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 96,592 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times b_f}{t_f} \\ &= \frac{0,5 \times 400}{21} \\ &= 9,523 < 9,879 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

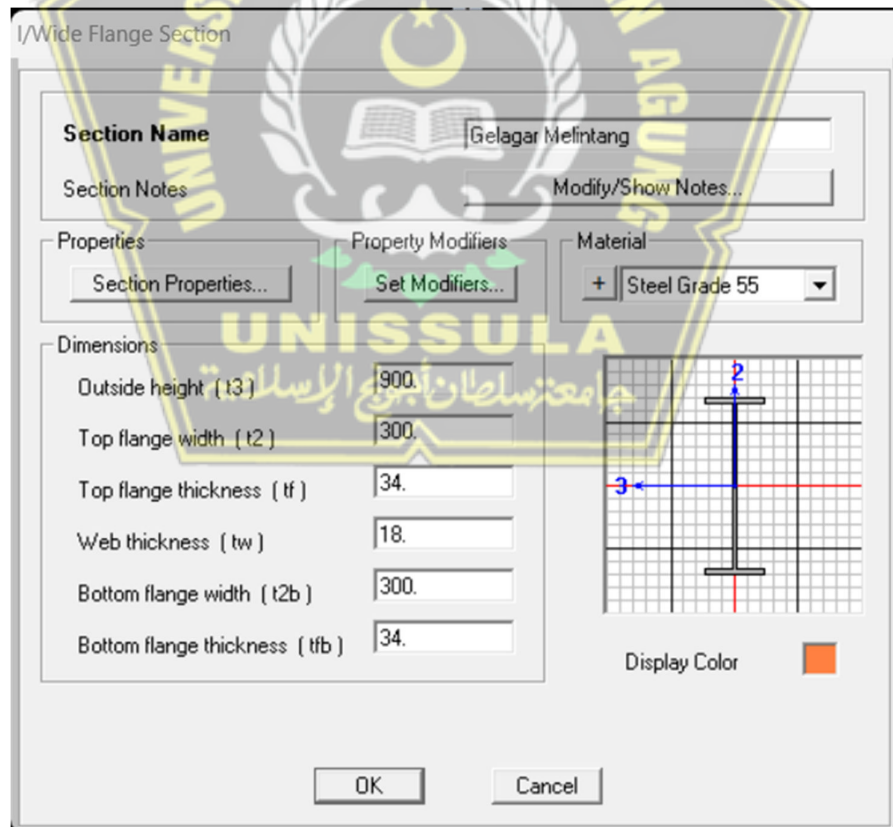
$$\begin{aligned} - \text{ Badan } (\lambda) &= \frac{d-2t_f}{t_w} \\ &= \frac{300-2 \times 21}{13} \\ &= 27,538 < 38,637 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

4.4.3 Perancangan Gelagar Melintang

Perancangan gelagar melintang pada jembatan meliputi penentuan ukuran dan bahan elemen balok yang berfungsi menghubungkan gelagar memanjang untuk menahan beban yang diteruskan dari lantai kendaraan dan gelagar memanjang itu sendiri. Gelagar melintang harus dirancang agar mampu menahan beban mati, beban hidup, serta gaya-gaya tambahan seperti gaya rem, angin, dan gempa sesuai standar teknis yang berlaku. Profil gelagar biasanya berupa profil I atau rangka batang (truss), dan perancangan dilakukan dengan memperhitungkan momen lentur, gaya geser, serta kekakuan struktur secara keseluruhan.

1. Profil Gelagar Melintang

Profil Baja yang digunakan untuk Gelagar Melintang pada jembatan *Warren* dan *Camelback* adalah I-WF 900 x 300 dengan Mutu Baja Grade 60. Profil Baja I-WF 900 x 300 (Gambar 4.30) dan Data Profil Baja I-WF 900 x 300 (Gambar 4.31) ditunjukkan pada gambar berikut.



I/Wide Flange Section

Section Name: Gelagar Melintang

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + Steel Grade 55

Dimensions:

- Outside height (t3) : 900.
- Top flange width (t2) : 300.
- Top flange thickness (tf) : 34.
- Web thickness (tw) : 18.
- Bottom flange width (t2b) : 300.
- Bottom flange thickness (tfb) : 34.

Display Color: [Orange]

OK Cancel

Gambar 4.30 Profil Baja Gelagar Melintang

Property Data

Section Name: Gelagar Melintang

Properties			
Cross-section (axial) area	35376.	Section modulus about 3 axis	10423636
Torsional constant	8894902.	Section modulus about 2 axis	1022695.7
Moment of Inertia about 3 axis	4.691E+09	Plastic modulus about 3 axis	11948208
Moment of Inertia about 2 axis	1.534E+08	Plastic modulus about 2 axis	1597392.
Shear area in 2 direction	16200.	Radius of Gyration about 3 axis	364.1342
Shear area in 3 direction	17000.	Radius of Gyration about 2 axis	65.8513

OK

Gambar 4.31 Data Profil Baja Gelagar Melintang

Sistem ukuran standar Profil Baja I-WF 900x300

- Lebar Sayap (bf) = 0,3 m = 300 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,034 m = 34 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,018 m = 18 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,9 m = 900 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (ho) = 879 mm
- Luas Penampang (Ag) = 36400 mm²
- Inersia Sumbu X (Ix) = 4,98 x 10⁻⁴ m⁴ = 4980000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (Iy) = 1,57 x 10⁻⁴ m⁴ = 157000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (rx) = 0,37 m = 370 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (ry) = 0,065 m = 65,60 mm
- Modulus Elastis Penampang (Sx) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (Sy) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zx) = 109000000 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zy) = 1040000 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (fy) = 415 MPa

2. Kontrol Kelangsingan Profil Baja

menentukan batasan untuk kelangsingan profil dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 - \text{ Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\
 &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\
 &= 9,879
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Sayap non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\
 &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\
 &= 29,636
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Badan Kompak } (\lambda_p) &= 1,76 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\
 &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\
 &= 38,637
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Badan non Kompak } (\lambda_r) &= 4,4 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\
 &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\
 &= 96,592
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 - \text{ Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times b_f}{t_f} \\
 &= \frac{0,5 \times 300}{21} \\
 &= 8,333 < 9,879 \text{ (Penampang Kompak)}
 \end{aligned}$$

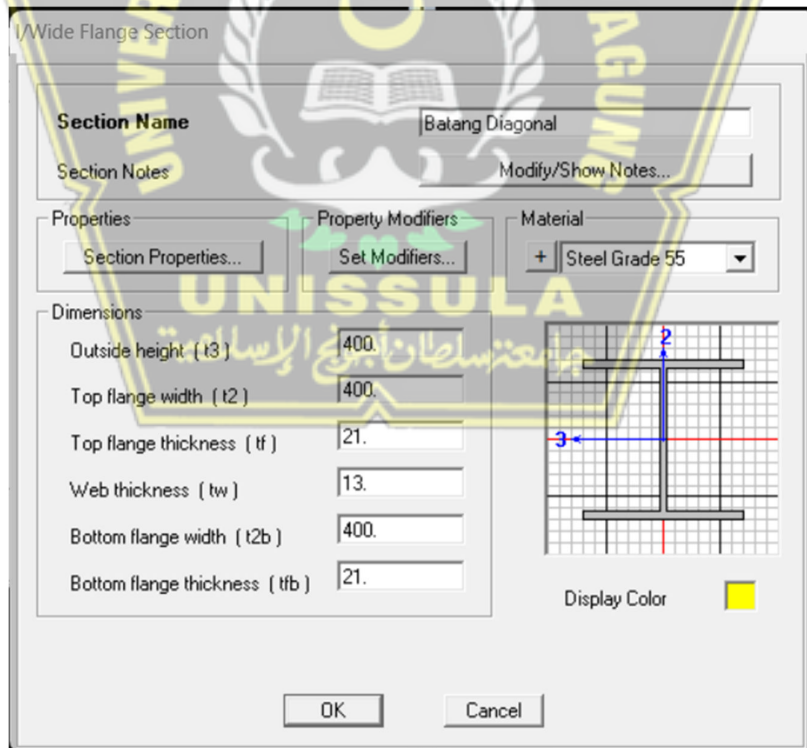
$$\begin{aligned}
 - \text{ Badan } (\lambda) &= \frac{d-2t_f}{t_w} \\
 &= \frac{900-2 \times 18}{13} \\
 &= 13,235 < 38,637 \text{ (Penampang Kompak)}
 \end{aligned}$$

4.4.4 Perancangan Batang Diagonal

Perancangan batang diagonal pada jembatan mencakup penentuan dimensi dan material elemen yang menghubungkan titik-titik rangka dalam pola diagonal untuk menahan gaya tekan dan tarik. Batang ini berperan penting dalam menjaga stabilitas dan kekakuan struktur dengan cara menyalurkan beban secara efisien ke penyangga. Pemilihan profil serta analisis gaya dilakukan sesuai standar teknis dan menggunakan perangkat lunak seperti SAP2000 untuk memastikan kekuatan dan keamanan struktural selama masa layanan jembatan. Selain itu, desain juga memperhatikan kekuatan sambungan dan faktor keselamatan agar struktur tetap awet.

1. Profil Batang Diagonal

Profil Baja yang digunakan untuk Batang Diagonal pada jembatan *Warren* dan *Camelback* adalah H-Beam 400 x 400 dengan Mutu Baja Grade 60. Profil Baja H-Beam 400 x 400 (Gambar 4.32) dan Data Profil Baja H-Beam 400 x 400 (Gambar 4.33) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.32 Profil Baja Batang Diagonal

Property Data

Section Name: Batang Diagonal

Properties:

Cross-section (axial) area	21454.	Section modulus about 3 axis	3268079.
Torsional constant	2644095.5	Section modulus about 2 axis	1120327.7
Moment of Inertia about 3 axis	6.536E+08	Plastic modulus about 3 axis	3600133.
Moment of Inertia about 2 axis	2.241E+08	Plastic modulus about 2 axis	1695125.5
Shear area in 2 direction	5200.	Radius of Gyration about 3 axis	174.5449
Shear area in 3 direction	14000.	Radius of Gyration about 2 axis	102.1959

OK

Gambar 4.33 Data Profil Baja Batang Diagonal

Sistem ukuran standar Profil Baja H-Beam 400×400

- Lebar Sayap (bf) = 0,4 m = 400 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,021 m = 21 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,013 m = 13 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,4 m = 400 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (ho) = 379 mm
- Luas Penampang (Ag) = 21454 mm²
- Inersia Sumbu X (Ix) = 653600000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (Iy) = 224100000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (rx) = 174,5449 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (ry) = 102,1959 mm
- Modulus Elastis Penampang (Sx) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (Sy) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zx) = 3600133 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zy) = 1695125,5 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (fy) = 415 MPa

2. Kontrol Kelangsingan Profil Baja

menentukan batasan untuk kelangsingan profil dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 9,879 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 29,636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 38,637 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 96,592 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times b_f}{t_f} \\ &= \frac{0,5 \times 400}{21} \\ &= 9,523 < 9,879 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

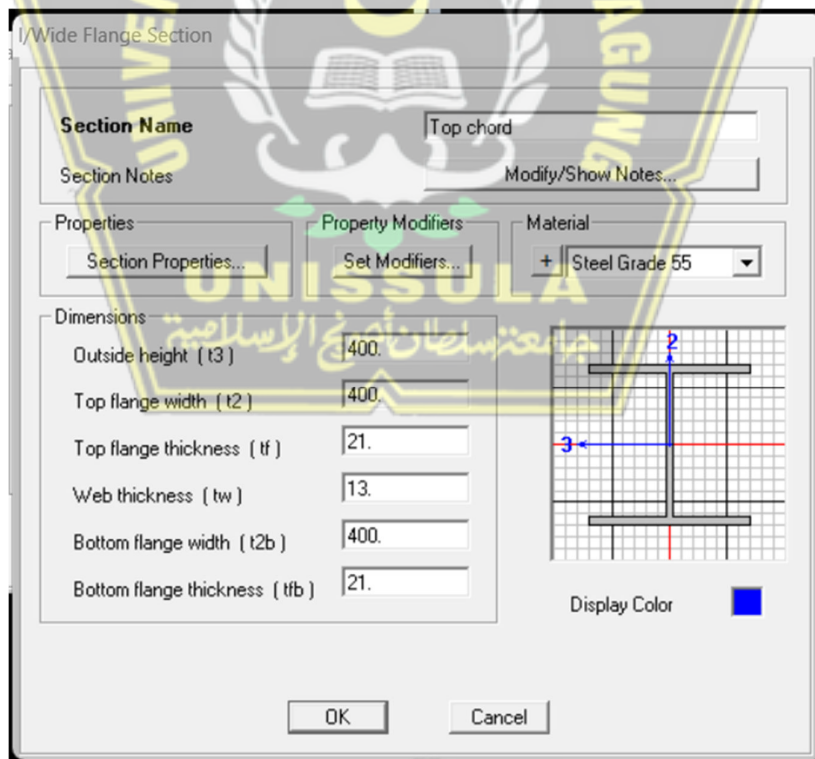
$$\begin{aligned} - \text{ Badan } (\lambda) &= \frac{d-2t_f}{t_w} \\ &= \frac{300-2 \times 21}{13} \\ &= 27,538 < 38,637 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

4.4.5 Perancangan Top Chord

Top chord berfungsi utama menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja serta menjaga kestabilan dan kekakuan rangka atas jembatan. Pemilihan dan analisis top chord dilakukan dengan menghitung gaya tekan, momen lentur, dan kekuatan material sesuai standar teknis seperti SNI, serta menggunakan perangkat lunak teknik seperti SAP2000 untuk memastikan kekuatan dan keselamatan struktur sepanjang masa pemakaian jembatan. Profil yang biasa digunakan adalah baja berbentuk I atau WF (Wide Flange) dengan ukuran yang disesuaikan agar mampu menahan beban secara optimal dan mempertahankan keutuhan struktur secara keseluruhan.

1. Profil Top Chord

Profil Baja yang digunakan untuk Top Chord pada jembatan *Warren* dan *Camelback* adalah H-Beam 400 x 400 dengan Mutu Baja Grade 60. Profil Baja H-Beam 400 x 400 (Gambar 4.34) dan Data Profil Baja H-Beam 400 x 400 (Gambar 4.35) ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.34 Profil Baja Top Chord

Property Data

Section Name: Top chord

Properties

Cross-section (axial) area	21454.	Section modulus about 3 axis	3268079.
Torsional constant	2644095.5	Section modulus about 2 axis	1120327.7
Moment of Inertia about 3 axis	6.536E+08	Plastic modulus about 3 axis	3600133.
Moment of Inertia about 2 axis	2.241E+08	Plastic modulus about 2 axis	1695125.5
Shear area in 2 direction	5200.	Radius of Gyration about 3 axis	174.5449
Shear area in 3 direction	14000.	Radius of Gyration about 2 axis	102.1959

OK

Gambar 4.35 Data Profil Baja Top Chord

Sistem ukuran standar Profil Baja H-Beam 400×400

- Lebar Sayap (bf) = 0,4 m = 400 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,021 m = 21 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,013 m = 13 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,4 m = 400 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (ho) = 379 mm
- Luas Penampang (Ag) = 21454 mm²
- Inersia Sumbu X (Ix) = 653600000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (Iy) = 224100000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (rx) = 174,5449 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (ry) = 102,1959 mm
- Modulus Elastis Penampang (Sx) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (Sy) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zx) = 3600133 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zy) = 1695125,5 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (fy) = 415 MPa

2. Kontrol Kelangsingan Profil Baja

menentukan batasan untuk kelangsingan profil dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 9,879 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Sayap non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 29,636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Badan Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 38,637 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Badan non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{415} \\ &= 96,592 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times b_f}{t_f} \\ &= \frac{0,5 \times 400}{21} \\ &= 9,523 < 9,879 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Badan } (\lambda) &= \frac{d-2t_f}{t_w} \\ &= \frac{300-2 \times 21}{13} \\ &= 27,538 < 38,637 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

4.4.6 Perancangan Top Bracing

Perancangan top bracing pada struktur jembatan baja mencakup pemilihan dimensi, jenis profil, dan bahan elemen penguat yang terpasang di bagian atas rangka. Fungsi utama top bracing adalah memperkuat rangka atas jembatan dengan menahan beban lateral dan mencegah deformasi akibat tekanan angin serta beban dinamis lainnya. Pemilihan top bracing dilakukan berdasarkan perhitungan gaya dalam seperti tekanan, tarikan, dan geseran menurut standar teknis yang berlaku.

1. Profil Top Bracing

Profil Baja yang digunakan untuk Top Bracing pada jembatan *Warren* dan *Camelback* adalah H-Beam 300 x 300 dengan Mutu Baja Grade 60. Profil Baja H-Beam 300 x 300 (Gambar 4.36) dan Data Profil Baja H-Beam 300 x 300 (Gambar 4.37) ditunjukkan pada gambar berikut.

I/Wide Flange Section

Section Name Top Bracing

Section Notes Modify/Show Notes...

Properties Section Properties...

Property Modifiers Set Modifiers...

Material + Steel Grade 55

Dimensions

Outside height (t3) 300.

Top flange width (t2) 300.

Top flange thickness (tf) 15.

Web thickness (tw) 10.

Bottom flange width (t2b) 300.

Bottom flange thickness (tfb) 15.

Display Color [Magenta]

OK Cancel

Gambar 4.36 Profil Baja Top Bracing

Property Data

Section Name: Top Bracing

Properties:

Cross-section (axial) area	11700.	Section modulus about 3 axis	1328850.
Torsional constant	741637.5	Section modulus about 2 axis	450150.
Moment of Inertia about 3 axis	1.993E+08	Plastic modulus about 3 axis	1464750.
Moment of Inertia about 2 axis	67522500	Plastic modulus about 2 axis	681750.
Shear area in 2 direction	3000.	Radius of Gyration about 3 axis	130.5241
Shear area in 3 direction	7500.	Radius of Gyration about 2 axis	75.9681

OK

Gambar 4.37 Data Profil Baja Top Bracing

Sistem ukuran standar Profil Baja H-Beam 300×300

- Lebar Sayap (bf) = 0,3 m = 300 mm
- Tebal Sayap (tf) = 0,015 m = 15 mm
- Tebal Badan (tw) = 0,010 m = 10 mm
- Tinggi Total Profil (d) = 0,3 m = 300 mm
- Jarak antara Titik Berat Sayap (ho) = 279 mm
- Luas Penampang (Ag) = 13480 mm²
- Inersia Sumbu X (Ix) = 20400000 mm⁴
- Inersia Sumbu Y (Iy) = 6750000 mm⁴
- Radius Girasi Sumbu X (rx) = 131 mm
- Radius Girasi Sumbu Y (ry) = 75,1 mm
- Modulus Elastis Penampang (Sx) = 3268079 mm³
- Modulus Elastis Penampang (Sy) = 1120327,7 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zx) = 1360000 mm³
- Modulus Plastis Penampang (Zy) = 450000 mm³
- Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa
- Tegangan Leleh Baja (fy) = 270 MPa

2. Kontrol Kelangsingan Profil Baja

menentukan batasan untuk kelangsingan profil dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap Kompak } (\lambda_p) &= 0,38 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{240} \\ &= 15,877 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap non Kompak } (\lambda_r) &= 1,35 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{240} \\ &= 38,971 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan Kompak } (\lambda_p) &= 1,76 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 1,76 \times \frac{200000}{240} \\ &= 50,806 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan non Kompak } (\lambda_r) &= 4,4 \times \frac{\sqrt{E}}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{240} \\ &= 127,017 \end{aligned}$$

Untuk menentukan Kelangsingan pada Sayap dan Badan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Sayap } (\lambda) &= \frac{0,5 \times b_f}{t_f} \\ &= \frac{0,5 \times 300}{21} \\ &= 15,000 < 15,877 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Badan } (\lambda) &= \frac{d-2t_f}{t_w} \\ &= \frac{300-2 \times 21}{13} \\ &= 19,846 < 38,637 \text{ (Penampang Kompak)} \end{aligned}$$

4.4.7 Kontrol Lendutan pada Rangka Jembatan

Kontrol lendutan yang dilakukan menggunakan program SAP2000. Kontrol lendutan diatur dalam SNI 1725 2016 pasal 6.2.2. adalah pada keadaan batas layan karena berkaitan dengan operasional jembatan.

1. Lendutan Ijin Rangka Jembatan tipe *Warren*

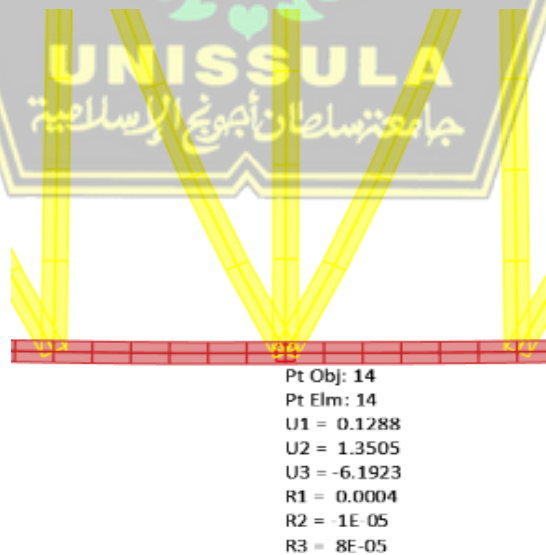
Berikut adalah lendutan yang terjadi pada rangka jembatan tipe *Warren* akibat kombinasi daya layan 1:



Gambar 4.38 Lendutan yang terjadi pada Rangka Jembatan tipe *Warren*

$$\delta = 8,6908 \text{ mm} = 0,87 \text{ cm}$$

Berikut adalah lendutan yang terjadi pada rangka jembatan tipe *Camel Back* akibat kombinasi daya layan 1:



Gambar 4.39 Lendutan yang terjadi pada Rangka Jembatan tipe *Camel Back*

$$\delta = 6,192 \text{ mm} = 0,619 \text{ cm}$$

Pada pedoman perencanaan jembatan lengkung surat edaran Menteri PUPR Nomor 02/SE/M/2018 lendutan ijin atau defleksi ijin diatur pada pasal 4.4 untuk jembatan tipe busur sebagai berikut:

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{600}$$

$L = 37,50$ m (Panjang bentang jembatan)

$$\delta_{ijin} = \frac{37,50}{600} = 0,0625 \text{ m}$$

Maka, untuk Rangka Jembatan Baja tipe *Warren*

$= 6,25 \text{ cm} > \delta = 0,87 \text{ cm}$ (Memenuhi)

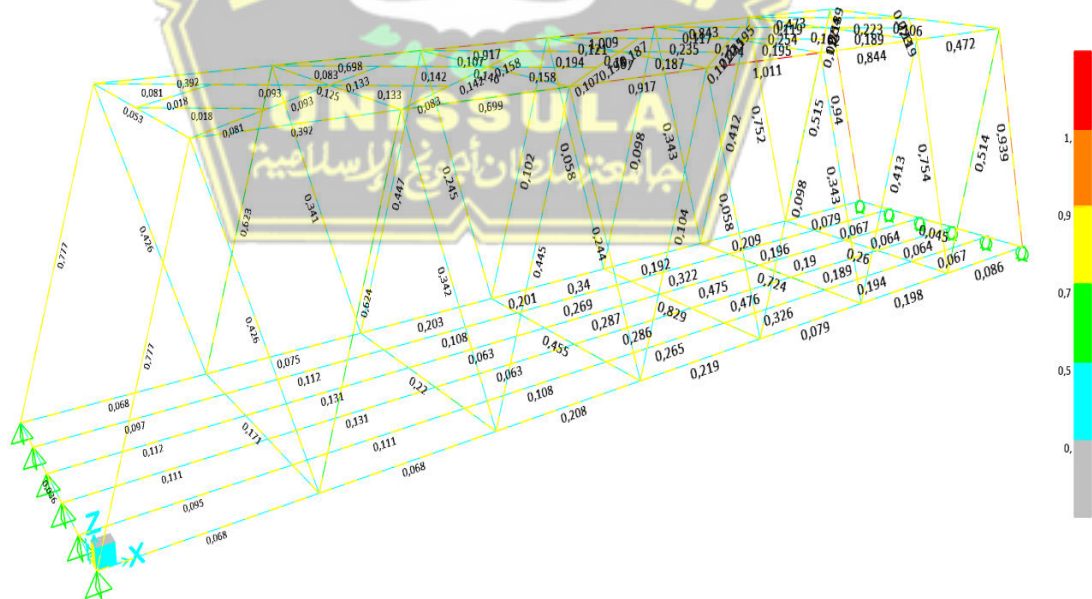
Dan, untuk Rangka Jembatan Baja tipe *Camel Back*

$= 6,25 \text{ cm} > \delta = 0,619 \text{ cm}$ (Memenuhi)

Dari hasil kontrol lendutan disimpulkan Rangka Jembatan Baja tipe *Warren* dan Rangka Jembatan Baja tipe *Camel Back* yang telah diredesain memenuhi syarat lendutan yang diatur pada pedoman perencanaan jembatan pelengkung.

4.4.8 Gaya Aksial Yang Terjadi Pada Rangka Jembatan tipe Warren

Berdasarkan hasil analisis Rangka Jembatan pada SAP 2000 untuk didapatkan desain Profil Baja jembatan tipe warren tersebut, akan ditunjukkan pada Gambar 4.40.



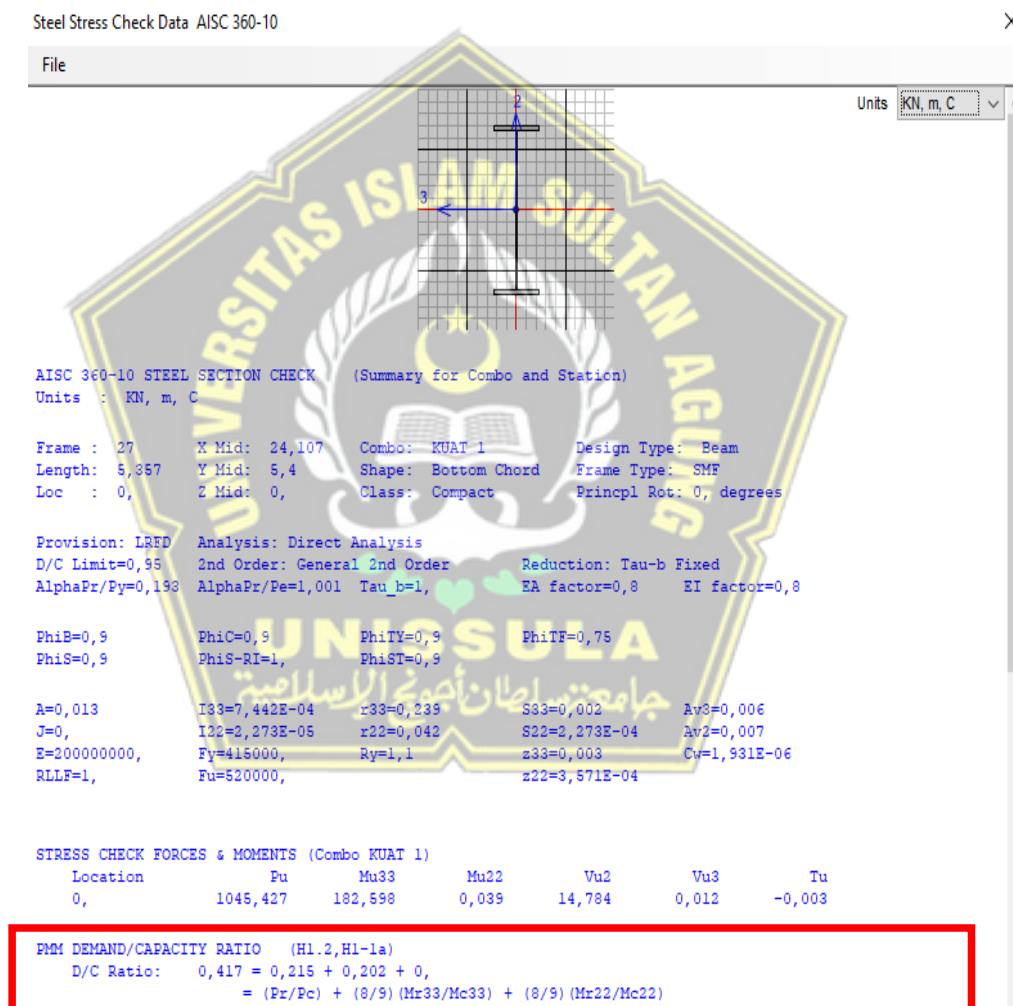
Gambar 4.40 Hasil Running P.M Ratio Rangka Jembatan Baja Tipe *Warren*

Dari hasil Output P.M Ratio rangka Jembatan, Rangka Jembatan tipe *Warren* dapat menahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur rangka jembatan.

1. Gelagar Melintang

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,417, berarti profil I-WF 900 x 300 x 34 x 18 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar 1045 kN hanya memanfaatkan 41,7% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.41

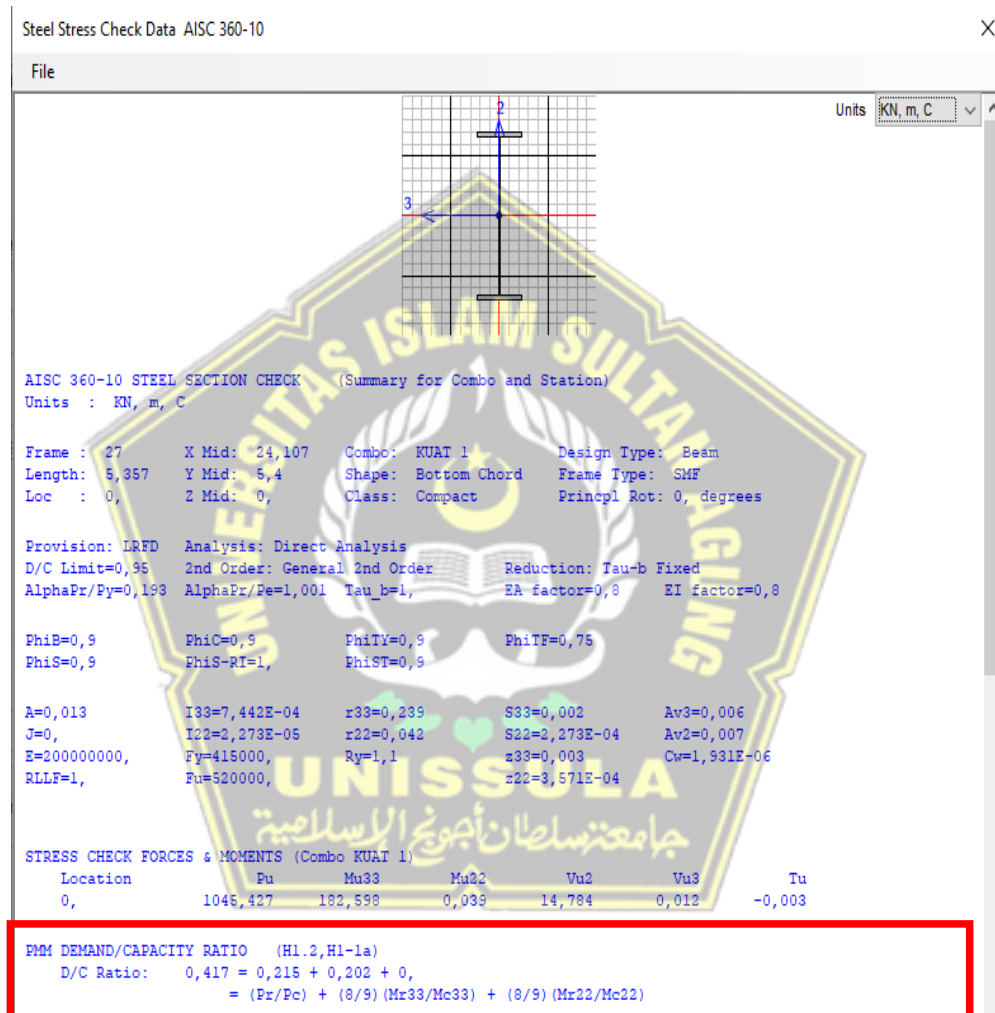


Gambar 4.41 Hasil Running P.M Ratio Gelagar Melintang Rangka Jembatan Tipe *Warren*

2. Gelagar Memanjang

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,417, berarti profil I-WF 600 x 200 x 17 x 11 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar 1045,27 kN hanya memanfaatkan 41,7% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.42

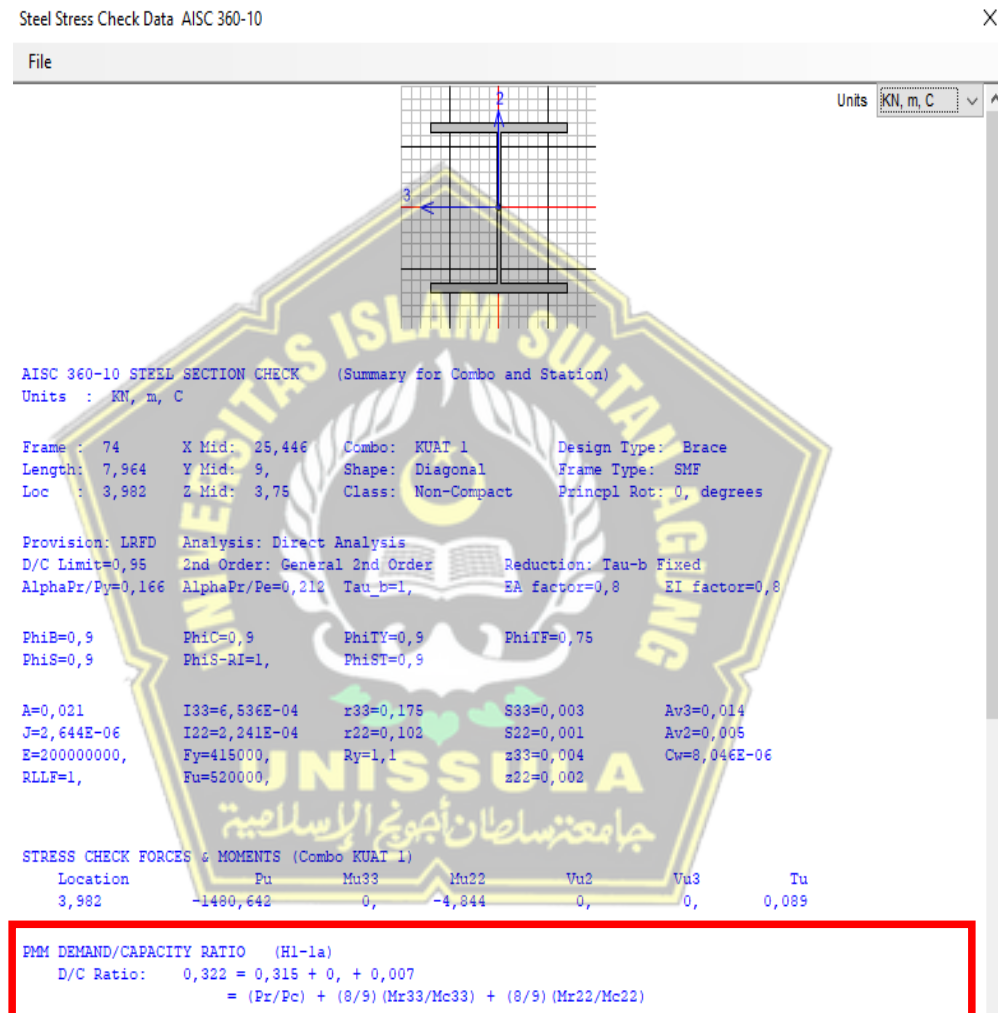


Gambar 4.42 Hasil Running P.M Ratio Gelagar Memanjang Rangka Jembatan Tipe Warren

3. Batang diagonal

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,322, berarti profil I-WF 400 x 400 x 21 x 13 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar -1480,642 kN hanya memanfaatkan 32,2% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.43

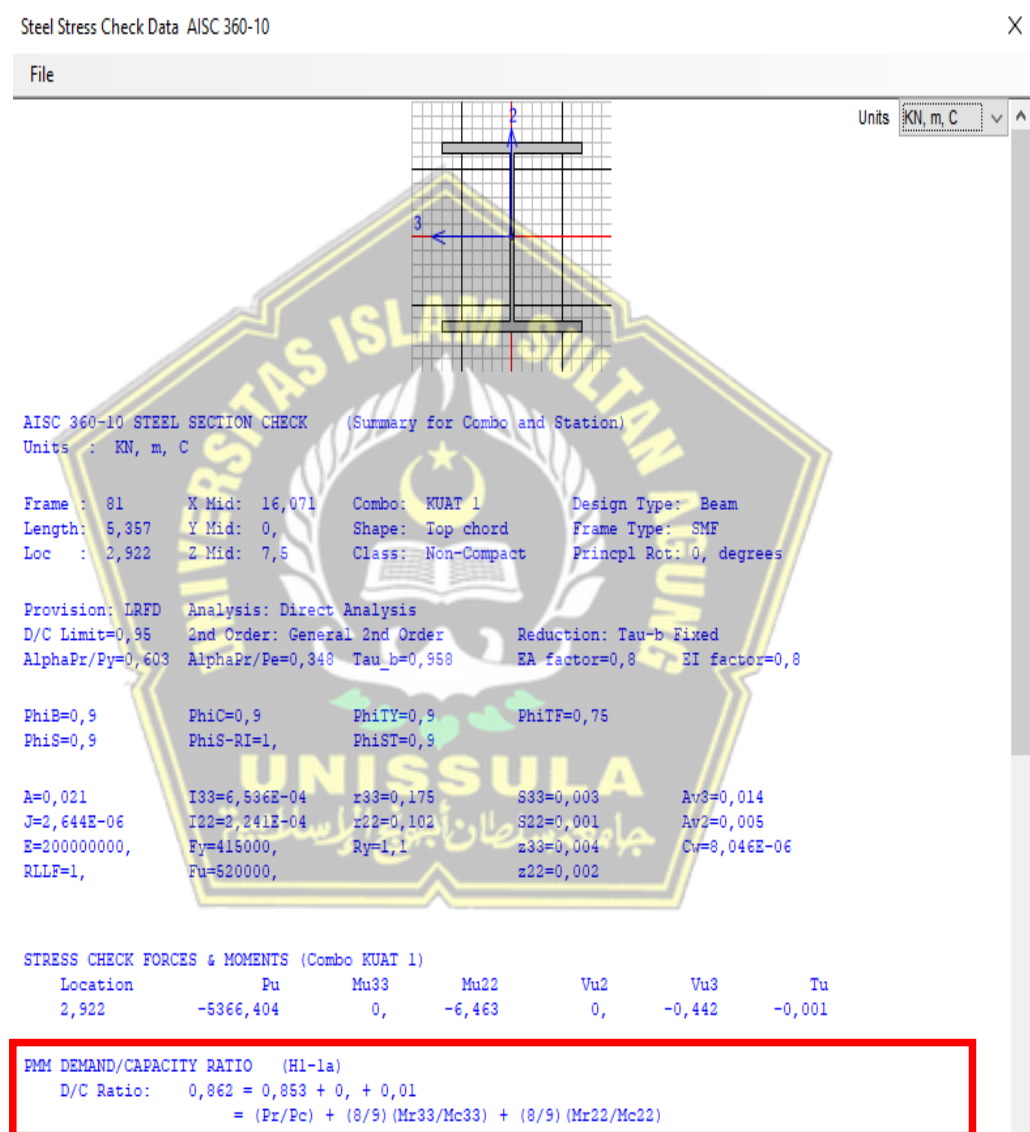


Gambar 4.43 Hasil Running P.M Ratio Batang Diagonal Rangka Jembatan Tipe Warren

4. Top Chord

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,862, berarti profil I-WF 300 x 300 x 15 x 10 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar -5366,404 kN hanya memanfaatkan 86,2% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.44

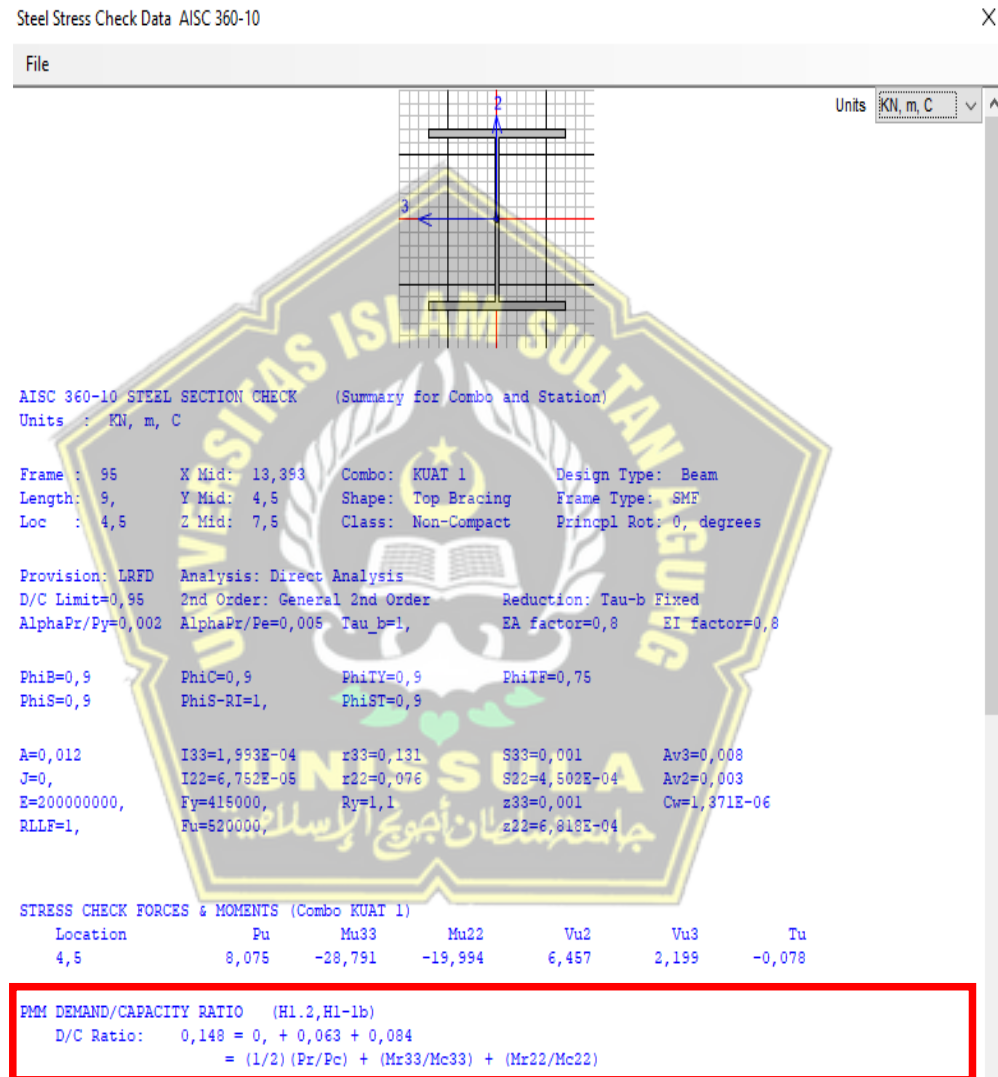


Gambar 4.44 Hasil Running P.M Ratio Top Chord Rangka Jembatan Tipe Warren

5. Top Bracing

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,149, berarti profil I-WF 300 x 300 x 15 x 10 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar -8,075 kN hanya memanfaatkan 14,9% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.45



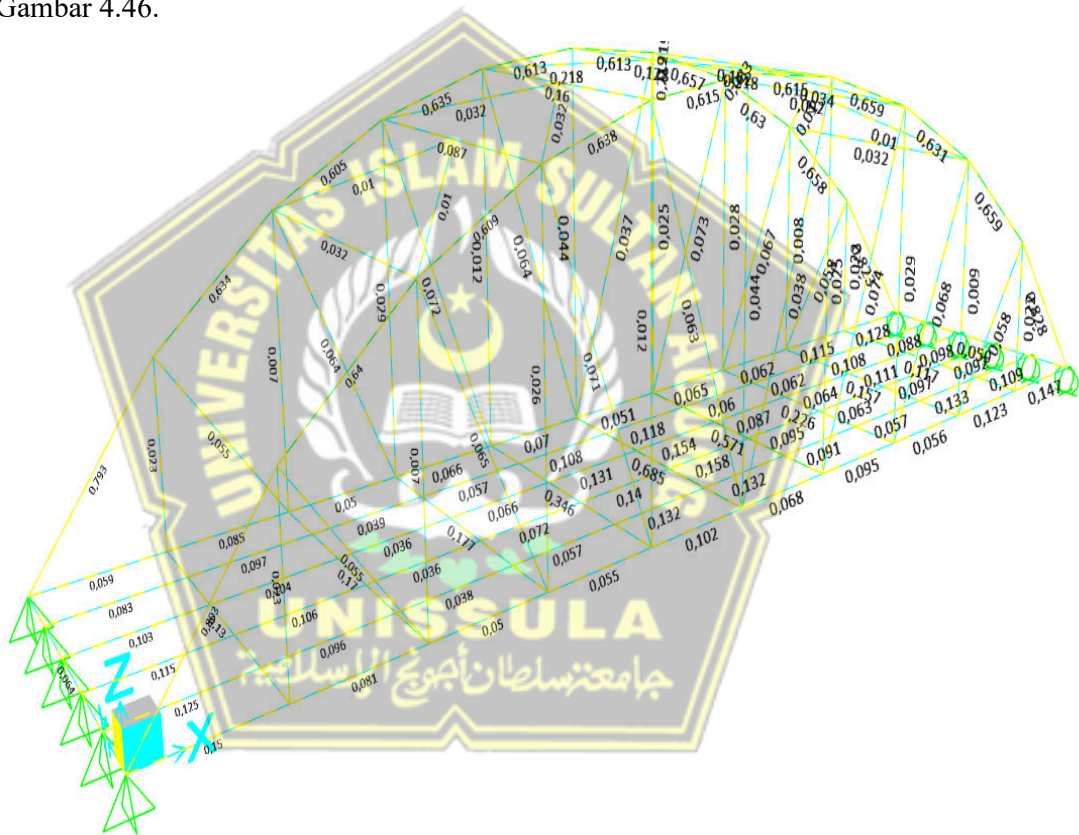
Gambar 4.45 Hasil Running P.M Ratio Top Bracing Rangka Jembatan Tipe Warren

Tabel 4.9 P.M Ratio Rangka Jembatan tipe *Warren*

No	Elemen Struktur	Profil Baja	P.M Ratio	Kode Batang	Kategori
1.	Gelagar Melintang	I-WF 900 x 300	0,417	Fr. 07	Aman
2.	Gelagar Memanjang	I-WF 600 x 200	0,417	Fr. 45	Aman
3.	Batang Diagonal	H-Beam 400 x 400	0,322	Fr. 120	Aman
4.	Top Chord	H-Beam 400 x 400	0,862	Fr. 88	Aman
5.	Top Bracing	H-Beam 300 x 300	0,149	Fr. 139	Aman

4.4.9 Gaya Aksial Yang Terjadi Pada Rangka Jembatan Tipe Camel Back

Berdasarkan hasil analisis Rangka Jembatan pada SAP 2000 untuk didapatkan desain Profil Baja jembatan tipe camel back tersebut, akan ditunjukkan pada Gambar 4.46.



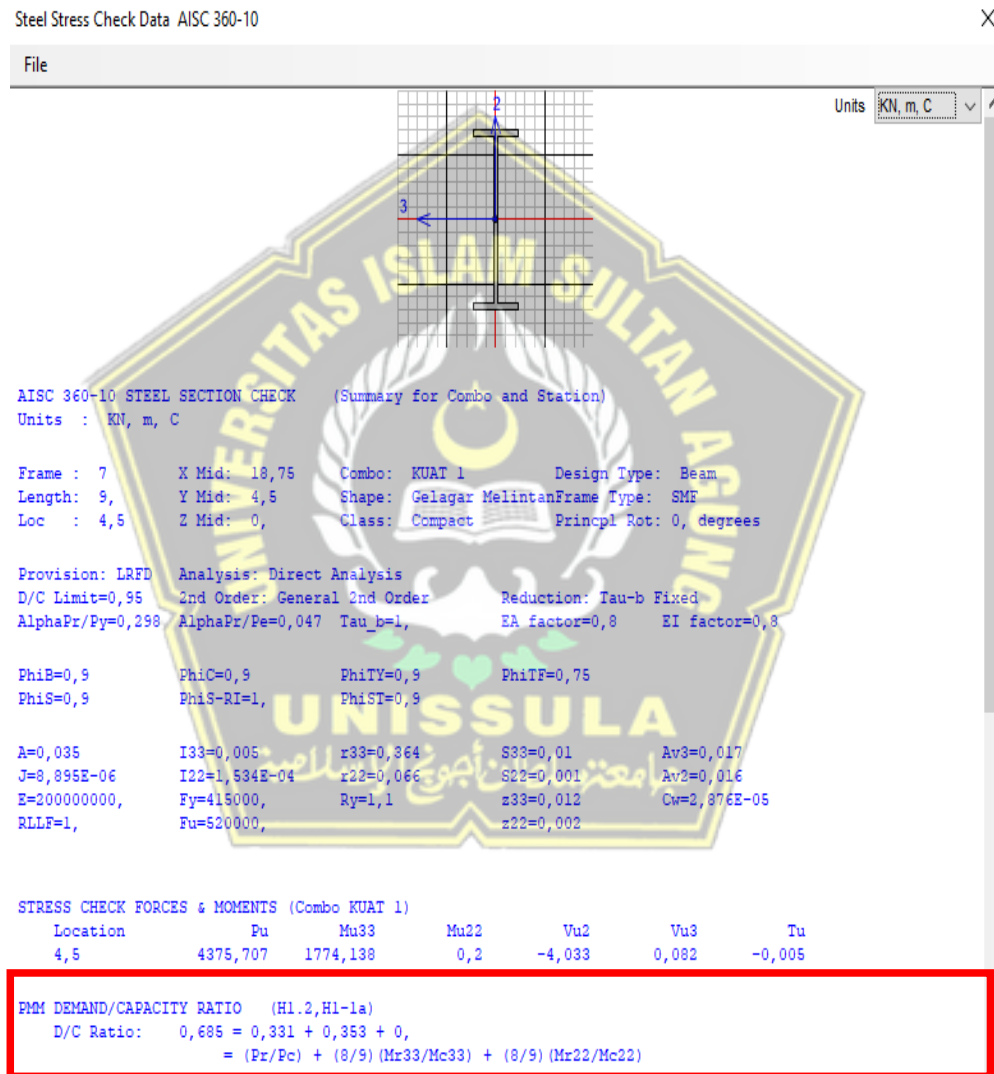
Gambar 4.46 Hasil Running P.M Ratio Rangka Jembatan Baja Tipe *Camel Back*

Dari hasil Output P.M Ratio rangka Jembatan, Rangka Jembatan tipe *Warren* dapat menahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur rangka jembatan.

1. Gelagar Melintang

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,685, berarti profil I-WF 900 x 300 x 34 x 18 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar 4375,707 kN hanya memanfaatkan 68,50% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.47

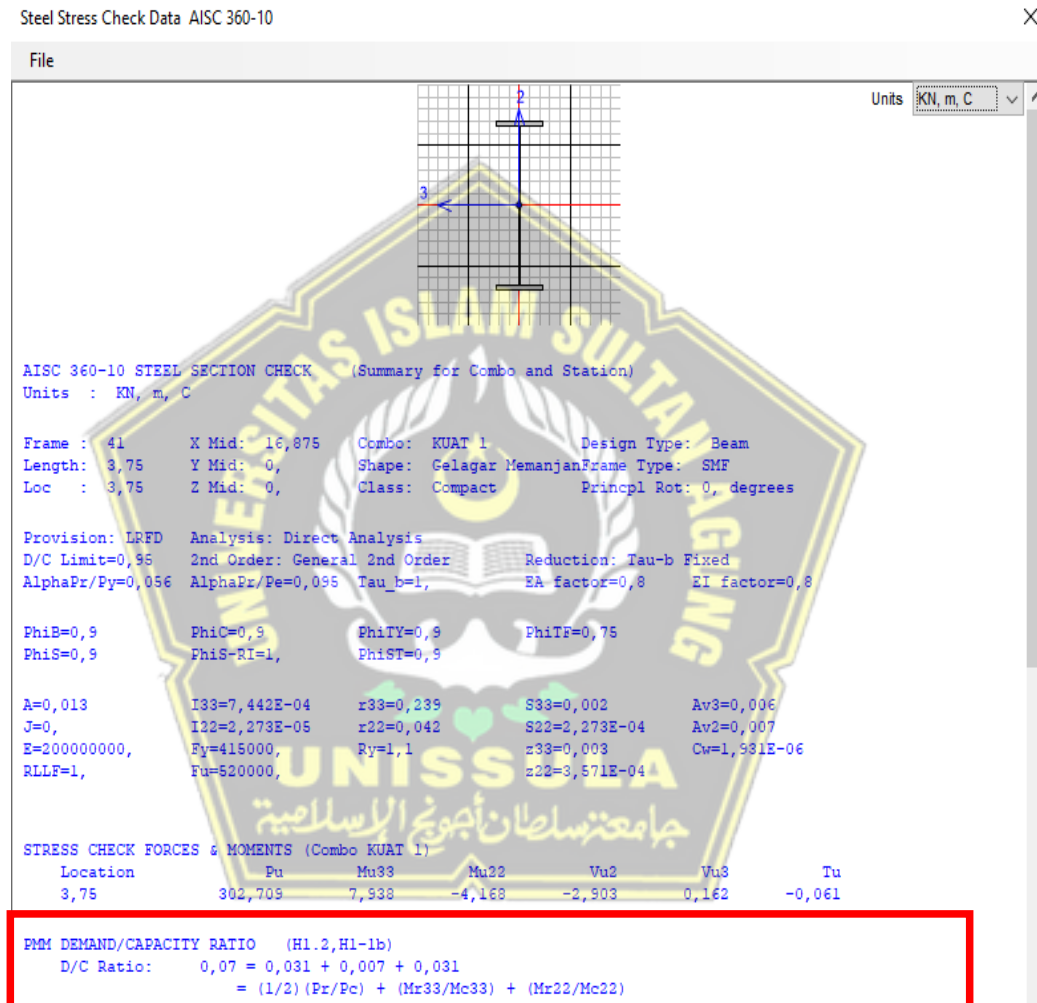


Gambar 4.47 Hasil Running P.M Ratio Gelagar Melintang Rangka Jembatan Tipe Camel Back

2. Gelagar Memanjang

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,07, berarti profil I-WF 600 x 200 x 17 x 11 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar 302,809 kN hanya memanfaatkan 7% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.48

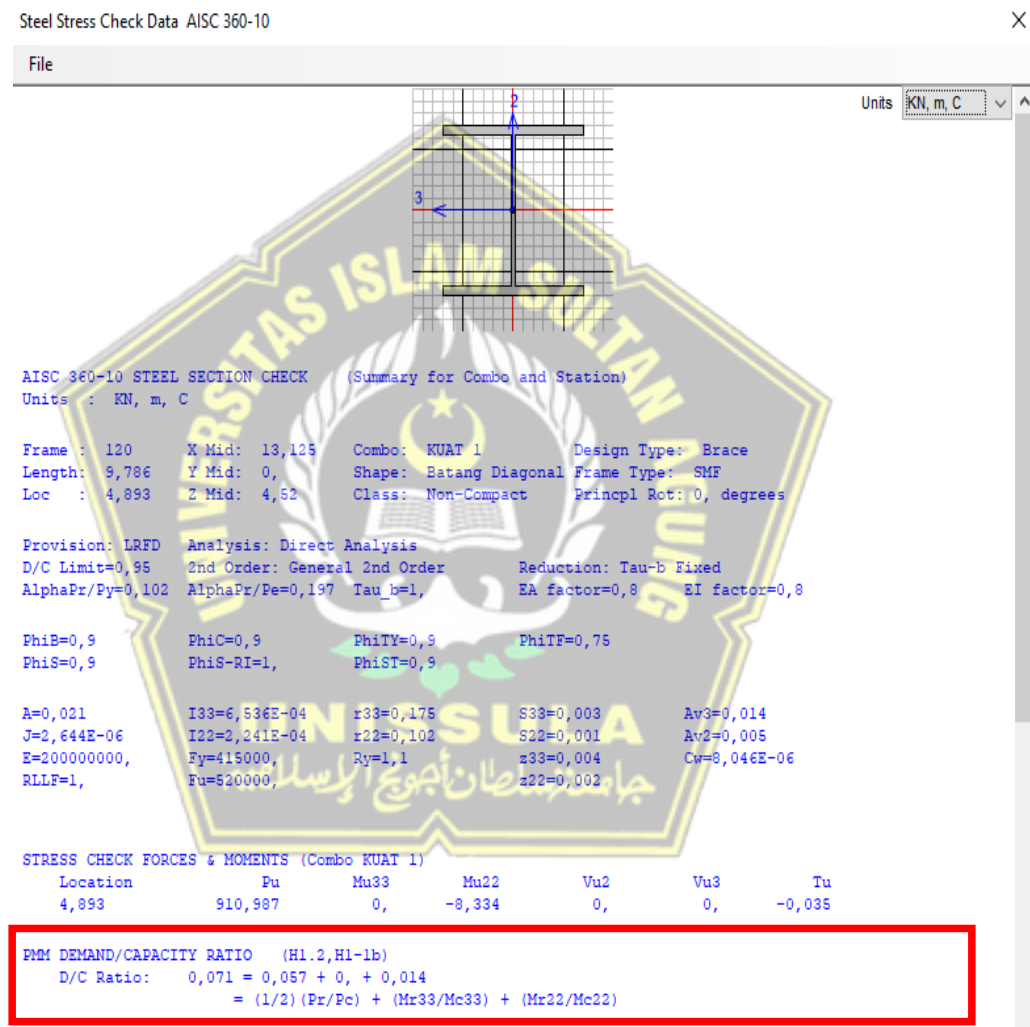


Gambar 4.48 Hasil Running P.M Ratio Gelagar Memanjang Rangka Jembatan Tipe Camel Back

3. Batang diagonal

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,071, berarti profil I-WF 400 x 400 x 21 x 13 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar -910,987 kN hanya memanfaatkan 7,1% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.49

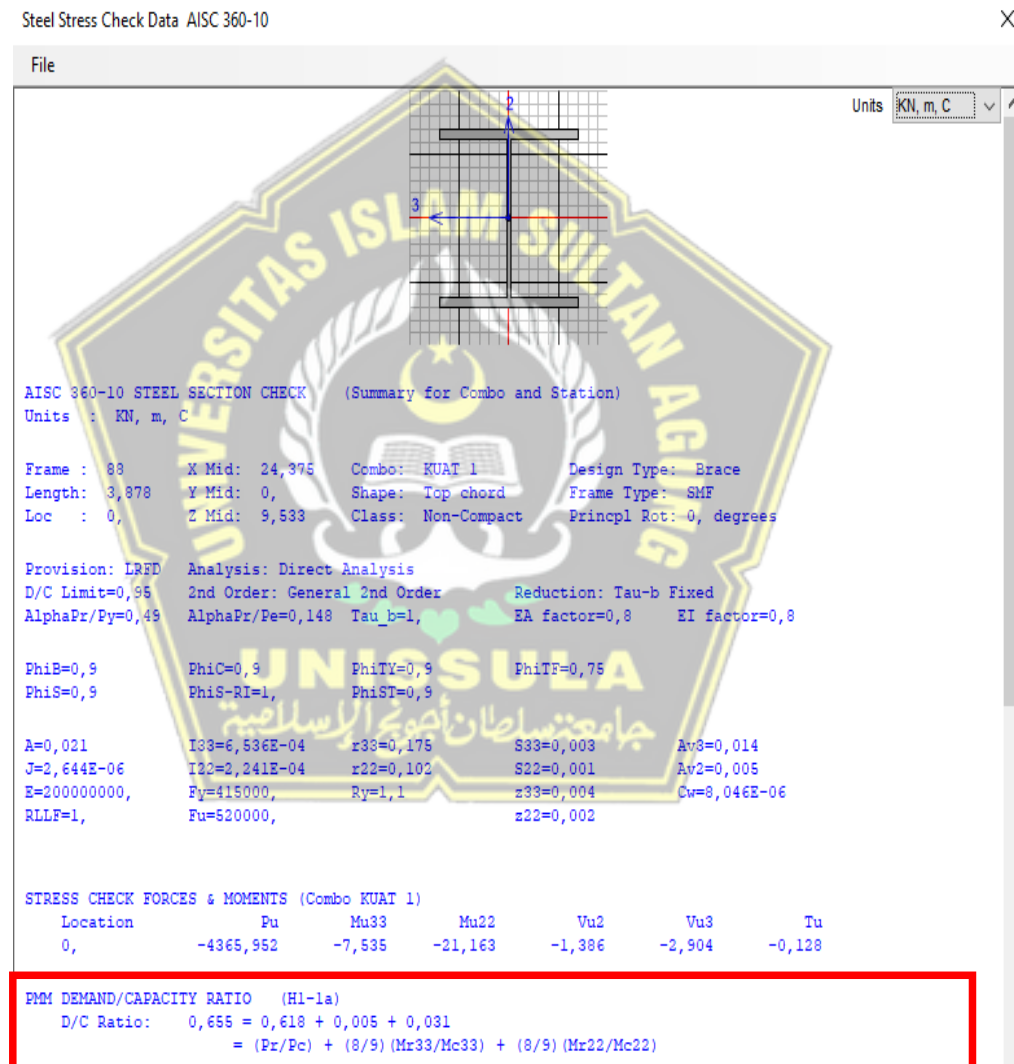


Gambar 4.49 Hasil Running P.M Ratio Batang Diagonal Rangka Jembatan Tipe Camel Back

4. Top Chord

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,655, berarti profil I-WF 300 x 300 x 15 x 10 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar -4365,952 kN hanya memanfaatkan 65,5% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.50

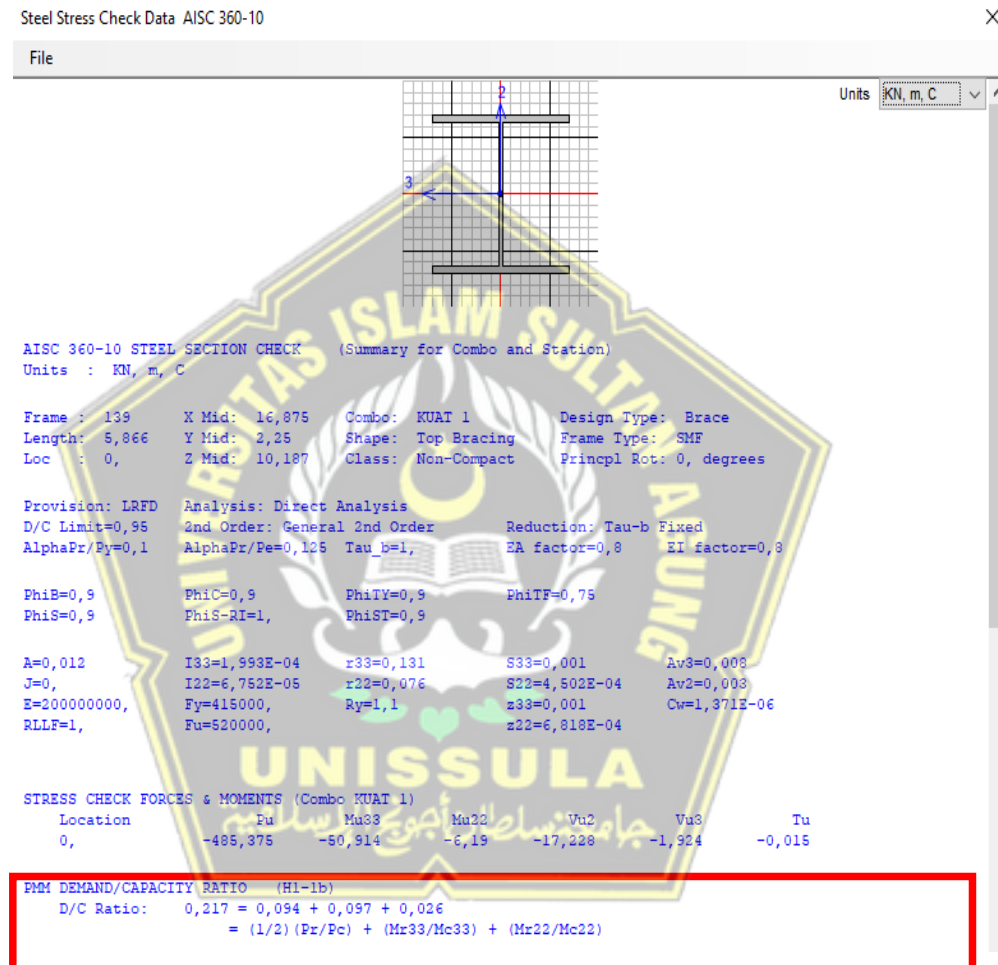


Gambar 4.50 Hasil Running P.M Ratio Top Chord Rangka Jembatan Tipe Camel Back

5. Top Bracing

Berdasarkan hasil desain dari SAP2000 v22, PM ratio atau rasio terhadap kuat tekan adalah 0,217, berarti profil I-WF 300 x 300 x 15 x 10 masih aman digunakan dan beban tekan sebesar -485,375 kN hanya memanfaatkan 21,7% dari kapasitas tekan rencana baja tersebut.

hasil desain dari SAP2000 v22 dapat dilihat pada gambar 4.51



Gambar 4.51 Hasil Running P.M Ratio Top Bracing Rangka Jembatan Tipe Camel Back

Tabel 4.10 Rekap P.M Ratio Rangka Jembatan tipe Camel Back

No	Elemen Struktur	Profil Baja	P.M Ratio	Kode Batang	Kategori
1.	Gelagar Melintang	I-WF 900 x 300	0,685	Fr. 07	Aman
2.	Gelagar Memanjang	I-WF 600 x 200	0,07	Fr. 45	Aman
3.	Batang Diagonal	H-Beam 400 x 400	0,071	Fr. 120	Aman
4.	Top Chord	H-Beam 400 x 400	0,655	Fr. 88	Aman
5.	Top Bracing	H-Beam 300 x 300	0,217	Fr. 139	Aman

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil Re-design dapat disimpulkan bahwa dengan penampang atau profil baja yang sama untuk rangka jembatan tipe *Warren* dan rangka jembatan tipe *Camel Back* pada jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang dapat menahan beban yang bekerja dan dikategorikan aman dengan menggunakan Mutu Baja Grade 60 (ASTM-A572) dengan Profil Baja sebagai berikut:
 - a. Gelagar Melintang = I-WF 900 x 300
 - b. Gelagar Memanjang = I-WF 600 x 200
 - c. Batang Diagonal = H-Beam 400 x 400
 - d. *Top Chord* = H-Beam 400 x 400
 - e. *Top Bracing* = H-Beam 300 x 300
2. Nilai Lendutan Maksimum yang terjadi pada rangka Jembatan Tipe *Warren* jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang dengan Bentang 37,50 m adalah 0,87 cm dan dikategorikan aman terhadap Batas Lendutan Jembatan yaitu sebesar 6,25 cm. dan nilai Lendutan Maksimum yang terjadi pada rangka Jembatan Tipe *Camel Back* jembatan Kalibabon, Terboyo, Kota Semarang dengan Bentang 37,50 m adalah 0,619 cm dan dikategorikan aman terhadap Batas Lendutan Jembatan yaitu sebesar 6,25 cm.
3. Nilai rasio maksimum yang terjadi pada rangka Jembatan Tipe *Warren* jembatan, untuk Girder melintang dengan penampang profil I-WF 900 x 300 adalah 0,417, untuk Girder memanjang dengan penampang profil I-WF 600 x 200 adalah 0,417, untuk batang diagonal dengan penampang profil H-Beam 400 x 400 adalah 0,322, untuk *top chord* penampang profil H-Beam 400 x 400 adalah 0,862, dan untuk *top bracing* H-Beam 300 x 300, Nilai P.M Ratio maksimum pada rangka jembatan dengan tipe *warren* dikategorikan aman karena lebih kecil dari koefisien 1. Sedangkan nilai rasio maksimum yang terjadi pada rangka Jembatan Tipe *Camel Back* untuk Girder melintang dengan penampang profil I-WF 900 x 300 adalah 0,685, untuk Girder memanjang dengan penampang profil

I-WF 600 x 200 adalah 0,07, untuk batang diagonal dengan penampang profil H-Beam 400 x 400 adalah 0,685, untuk *top chord* penampang profil H-Beam 400 x 400 adalah 0,217, dan untuk *top bracing* H-Beam 300 x 300 juga Nilai P.M Ratio maksimum pada rangka jembatan dengan tipe *warren* dikategorikan aman karena lebih kecil dari koefisien 1.

5.2. Saran

Untuk tahapan berikutnya, perlu untuk melakukan Re-design terhadap struktur bawah Jembatan Kalibabon.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. “SNI 1729-2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural”. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2016. “SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan”. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2019. “SNI 1727-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur bangunan Gedung dan Non Gedung”. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2016. SNI-2833:2016 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan. Badan Standar Nasional.
- Anonim. 2023. “Pedoman Kapasitas Jalan Raya Indonesia”. Jakarta. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Setiawan, A. 2009. Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Erlangga: Jakarta.
- Stryuk, H.J. Van Deer Veen, H.K.J.W, 1995. Jembatan Terjemahan Soemargono, Jakarta, PT. Pradnya Paramita
- Suangga, M. (2002). “Beban Dinamik Angin pada Jembatan Bentang Panjang”, Conference on Long Span Bridge, Tarumanegara University.
- Supriyadi dan Muntohar, 2007. JEMBATAN (Edisi Ke-IV), Beta Offset, Yogyakarta.