

TUGAS AKHIR

ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA DENGAN BENTANG 80 METER TIPE *CAMEL BACK TRUSS*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh:

ANDRI FAUZI HASIBUAN
1607210143



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Andri Fauzi Hasibuan
Npm : 1607210143
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang 80 Meter Tipe *Camel Back Truss*
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, Oktober 2021
Dosen Pembimbing


Tondi Amulyah Putera, S.T.,M.T

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Andri Fauzi Hasibuan

NPM : 1607210143

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja
Dengan Bentang 80 Meter Tipe *Camel Back Truss*

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2021

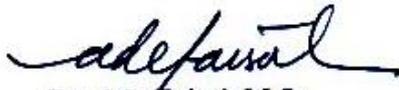
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing


Tondi Amirsyah Putra, S.T, M.T

Pembanding/Penguji I

Pembanding/Penguji II


Dr. Ade Faisal, M.Sc


Dr. Fahrizal Zulkarnain

Program Studi Teknik Sipil
Ketua Prodi


Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Andri Fauzi Hasibuan
Tempat/Tanggal Lahir : Tanjungbalai, 06 Juni 1998
NPM : 1607210143
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: “ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA DENGAN BENTANG 80 METER TIPE *CAMEL BACK TRUSS*” Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2021

Saya yang menyatakan,


Andri Fauzi Hasibuan

ABSTRAK

ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA DENGAN BENTANG 80 METER TIPE *CAMEL BACK TRUSS*

Andri Fauzi Hasibuan
1607210143

Tondi Amirsyah P, S.T.,M.T

Penelitian ini membahas perencanaan struktur atas jembatan kereta api tipe *camel back truss* dengan bentang panjang. Pembebanan yang terjadi pada struktur atas jembatan antara lain beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban kejut, beban lateral, beban rem dan traksi, beban rel longitudinal, beban angin struktur, beban angin kendaraan, beban gempa, dan beban temperatur. Dari hasil Analisa kombinasi kuat I diperoleh bahwa gaya aksial tekan yang terjadi pada model 1 yaitu 6958,37 kN, model 2 yaitu 6739,26 kN, model 3 yaitu 6725,66 kN dan model 4 yaitu 7153,10 kN. Gaya aksial tarik yang terjadi pada model 1 yaitu 4415,28 kN, model 2 yaitu 3782,63 kN, model 3 yaitu 4876,53 kN dan model 4 yaitu 4041,68 kN. Dengan desain kondisi aman lendutan pada rangka yang terjadi akibat kombinasi daya layan I pada model 1 yaitu 6,47 cm, model 2 yaitu 5,59 cm, model 3 yaitu 8,24 cm dan model 4 yaitu 9,81 cm. Kombinasi daya layan II menghasilkan lendutan pada rangka pada model 1 yaitu 7,93 cm, model 2 yaitu 6,95 cm, model 3 yaitu 10,07 cm dan model 4 yaitu 11,15 cm. Analisa terhadap volumetrik struktur jembatan perlu dilakukan. Volumetrik model 1 yaitu 3096,35 m³, model 2 yaitu 3142,87 m³, model 3 yaitu 3249,47 m³ dan model 4 yaitu 39,04 m³.

Kata kunci: Jembatan kereta api, jembatan bentang panjang, jembatan *camel back truss*, jembatan baja

ABSTRACT

STRUCTURE ANALYSIS PLANNING OF STEEL BRIDGE WITH 80 METERS FORM OF CAMEL BACK TRUSS TYPE

Andri Fauzi Hasibuan
1607210143

Tondi Amirsyah P, S.T.,M.T

This study discusses the structural design of the camel back truss type railway bridge with a long span. Loads that occur in the superstructure of the bridge include dead loads, additional dead loads, live loads, shock loads, lateral loads, brake and traction loads, longitudinal rail loads, structural wind loads, vehicle wind loads, earthquake loads, and temperature loads. From the results of the strong combination analysis I, it was found that the compression axial force that occurs in model 1 is 6958.37 kN, model 2 is 6739.26 kN, model 3 is 6725.66 kN and model 4 is 7153.10 kN. The tensile axial force that occurs in model 1 is 4415.28 kN, model 2 is 3782.63 kN, model 3 is 4876.53 kN and model 4 is 4041.68 kN. With the design of the safe condition of deflection in the frame that occurs due to the combination of serviceability I in model 1 which is 6.47 cm, model 2 is 5.59 cm, model 3 is 8.24 cm and model 4 is 9.81 cm. The combination of serviceability II produces a deflection of the frame in model 1 which is 7.93 cm, model 2 is 6.95 cm, model 3 is 10.07 cm and model 4 is 11.15 cm. Analysis of the volumetric structure of the bridge needs to be done. Volumetric model 1 is 3096.35 m³, model 2 is 3142.87 m³, model 3 is 3249.47 m³ and model 4 is 39.04 m³.

Keywords: Railway bridge, long span bridge, camel back truss bridge, steel bridge

KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang 80 Meter Tipe *Camel Back Truss*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera P., S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembimbing/Penguji I
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembimbing/Penguji II sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Hj. Irma Dewi S.T, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua saya, saudara kandung, ibu kost saya serta seluruh keluarga besar penulis atas dukungan moril maupun material, semangat, bimbingan dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.

9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teman-teman penulis yaitu Aldrin Dhio Pratama, Muhammad Indra, serta seluruh teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon saran dan kritik dari pembaca untuk perbaikan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini kedepannya.

Akhir kata penulis menyampaikan terima kasih kepada para pembaca atas perhatiannya. Semoga laporan ini bermanfaat bagi penulis, bagi para pembaca umumnya dan bagi dunia konstruksi khususnya.

Medan, Oktober 2021

Andri Fauzi Hasibuan

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penulisan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Jembatan Rangka Baja	6
2.3 Jembatan Camelback Truss	6
2.4 Komponen Struktur Atas Jembatan	7
2.5 Persyaratan Umum Perkeretaapian	9
2.5.1. Persyaratan Sistem	9
2.6 Struktur Jalan Rel	11
2.6.1. Rel	11
2.6.2. Bantalan	13
2.6.2.1 Jenis-jenis Bantalan	13

2.6.2.2	Jarak Bantalan	14
2.6.3.	Jenis Penambat	14
2.7	Pembebanan Pada Jembatan	15
2.7.1.	Berat Sendiri Struktur dan Beban Mati Tambahan	15
2.7.1.1	Berat sendiri struktur	15
2.7.1.2	Beban Mati Tambahan	17
2.7.2.	Beban Hidup	17
2.7.3.	Beban Kejut	19
2.7.4.	Beban Lateral Kereta	20
2.7.5.	Beban Pengereman dan Traksi	21
2.7.6.	Beban Rel Panjang Longitudinal (LF)	21
2.7.7.	Beban Angin	21
2.7.8.	Temperatur	22
2.7.9.	Beban Gempa	23
2.7.10.	Kombinasi Pembebanan	25
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1	Diagram Alir Penelitian	28
3.2	Metode Pengumpulan Data	29
3.2.1	Data Umum Struktur Jembatan	29
3.2.2	Data-data Perencanaan Struktur Jembatan	32
3.3	<i>Preliminary Design</i> Struktur Atas Jembatan	34
3.4	Perhitungan Pembebanan	35
3.4.1	Beban Berat Sendiri dan Mati Tambahan	35
3.4.1.1	Beban Berat Sendiri	35
3.4.1.2	Mati Tambahan	35
3.4.2	Beban Hidup	38
3.4.3	Beban Kejut	42
3.4.4	Beban Lateral Kereta	45
3.4.5	Beban Pengereman dan Traksi	46
3.4.6	Beban Rel Panjang Longitudinal	48
3.4.7	Beban Angin Pada Jembatan	49
3.4.8	Beban Gempa	52

3.4.9	Beban Temperatur	58
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1	Tinjauan Umum	61
4.2	Hasil Analisis Gaya Aksial dan Garis Pengaruh (Influence)	61
4.2.1	Hasil Analisis Model 1	61
4.2.2	Hasil Analisis Model 2	63
4.2.3	Hasil Analisis Model 3	66
4.2.4	Hasil Analisis Model 4	68
4.3	Hasil Analisis Lendutan Akibat Kombinasi Daya Layan I	71
4.3.1	Hasil Analisis Model 1	72
4.3.2	Hasil Analisis Model 2	72
4.3.3	Hasil Analisis Model 3	73
4.3.4	Hasil Analisis Model 4	74
4.4	Hasil Analisis Lendutan Akibat Kombinasi Daya Layan II	76
4.4.1	Hasil Analisis Model 1	77
4.4.2	Hasil Analisis Model 2	78
4.4.3	Hasil Analisis Model 3	78
4.4.4	Hasil Analisis Model 4	79
4.5	Hasil Analisis Volume Jembatan	82
4.5.1	Hasil Analisis Model 1	82
4.5.2	Hasil Analisis Model 2	82
4.5.3	Hasil Analisis Model 3	83
4.5.4	Hasil Analisis Model 4	84
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran	88
	DAFTAR PUSTAKA	90
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Koefisien lendutan maksimum jembatan baja	10
Tabel 2.2 : Klasifikasi kelas jalan rel 1067 mm	12
Tabel 2.3 : Faktor beban untuk berat sendiri	15
Tabel 2.4 : Berat isi untuk beban mati	16
Tabel 2.5 : Faktor beban untuk beban mati tambahan	17
Tabel 2.6 : Temperatur rata-rata jembatan	22
Tabel 2.7 : Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	23
Tabel 2.8 : Kombinasi pembebanan	27
Tabel 3.1 : Berat jenis bahan	35
Tabel 3.2 : Faktor modifikasi respon (R)	53
Tabel 3.3 : Perhitungan berat struktur model 1	54
Tabel 3.4 : Perhitungan berat struktur model 2	55
Tabel 3.5 : Perhitungan berat struktur model 3	56
Tabel 3.6 : Perhitungan berat struktur model 4	57
Tabel 4.1 : Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 1	62
Tabel 4.2 : Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 1	63
Tabel 4.3 : Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 2	64
Tabel 4.4 : Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 2	65
Tabel 4.5 : Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 3	66
Tabel 4.6 : Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 3	67
Tabel 4.7 : Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 4	68
Tabel 4.8 : Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 4	69
Tabel 4.9 : Nilai gaya aksial akibat kombinasi kuat I	70
Tabel 4.10: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 1	72
Tabel 4.11: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 2	73
Tabel 4.12: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 3	73
Table 4.13: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 4	74
Tabel 4.14: Lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I	75
Tabel 4.15: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 1	77
Table 4.16: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 2	78

Tabel 4.17: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 3	79
Table 4.18: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 4	80
Tabel 4.19: Lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II	81
Tabel 4.20: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 1	82
Tabel 4.21: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 2	83
Tabel 4.22: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 3	84
Tabel 4.23: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 4	85
Tabel 4.24: Perbandingan berat dan volume struktur	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Jembatan tipe <i>camelback truss</i>	7
Gambar 2.2 : Rangka utama	8
Gambar 2.3 : Gelagar Memanjang (<i>Stringer</i>)	8
Gambar 2.4 : Pelat Buhul (<i>Gusset Plate</i>)	9
Gambar 2.5 : Gaya-gaya yang bekerja pada rel	11
Gambar 2.6 : Macam-macam bentuk rel	12
Gambar 2.7 : Penampang bantalan baja	13
Gambar 2.8 : Susunan lokomotif dan tender	17
Gambar 2.9 : Beban merata	18
Gambar 2.10: Beban 6 atau 7 Gandar	18
Gambar 2.11: Beban 4 atau 5 gandar	18
Gambar 2.12: Beban 3 Gandar	19
Gambar 2.13: Beban 2 Gandar	19
Gambar 2.14: Beban 1 Gandar	19
Gambar 2.15: Beban lateral kereta	20
Gambar 2.16: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	24
Gambar 2.17: Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	24
Gambar 2.18: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	25
Gambar 3.1 : Diagram alir penelitian	28
Gambar 3.2 : Tampak 3D struktur model 1 pada <i>software</i>	33
Gambar 3.3 : Tampak 3D struktur model 2 pada <i>software</i>	33
Gambar 3.4 : Tampak 3D struktur model 3 pada <i>software</i>	34
Gambar 3.5 : Tampak 3D struktur model 4 pada <i>software</i>	35
Gambar 3.6 : Input beban mati tambahan model 1 pada <i>software</i>	37
Gambar 3.7 : Input beban mati tambahan model 2 pada <i>software</i>	37
Gambar 3.8 : Input beban mati tambahan model 3 pada <i>software</i>	37
Gambar 3.9 : Input beban mati tambahan model 4 pada <i>software</i>	38
Gambar 3.10: Input beban hidup kombinasi 1 model 1, model 2, model 3	39

	dan model 4 pada software	
Gambar 3.11:	Input beban hidup kombinasi 2 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada software	40
Gambar 3.12:	Input beban hidup kombinasi 3 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada software	41
Gambar 3.13:	Input beban hidup kombinasi 4 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada software	42
Gambar 3.14:	Input beban kejut kombinasi 1 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	43
Gambar 3.15:	Input beban kejut kombinasi 2 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	43
Gambar 3.16:	Input beban kejut kombinasi 3 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	44
Gambar 3.17:	Input beban kejut kombinasi 4 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	44
Gambar 3.18:	Input beban lateral model 1 pada <i>software</i>	45
Gambar 3.19:	Input beban lateral model 2 pada <i>software</i>	45
Gambar 3.20:	Input beban lateral model 3 pada <i>software</i>	46
Gambar 3.21:	Input beban lateral model 4 pada <i>software</i>	46
Gambar 3.22:	Input beban rem dan traksi kombinasi 1 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	46
Gambar 3.23:	Input beban rem dan traksi kombinasi 2 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	47
Gambar 3.24:	Input beban rem dan traksi kombinasi 3 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	47
Gambar 3.25:	Input beban rem dan traksi kombinasi 4 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada <i>software</i>	47
Gambar 3.26:	Input beban longitudinal model 1 pada <i>software</i>	48
Gambar 3.27:	Input beban longitudinal model 2 pada <i>software</i>	48
Gambar 3.28:	Input beban longitudinal model 3 pada <i>software</i>	48
Gambar 3.29:	Input beban longitudinal model 4 pada <i>software</i>	49
Gambar 3.30:	Input beban angin struktur tanpa kereta model 1 pada <i>software</i>	49
Gambar 3.31:	Input beban angin struktur tanpa kereta model 2 pada <i>software</i>	50
Gambar 3.32:	Input beban angin struktur tanpa kereta model 3 pada <i>software</i>	50

Gambar 3.33: Input beban angin struktur tanpa kereta model 4 pada <i>software</i>	50
Gambar 3.34: Input beban angin struktur dengan kereta model 1 pada <i>software</i>	51
Gambar 3.35: Input beban angin struktur dengan kereta model 2 pada <i>software</i>	51
Gambar 3.36: Input beban angin struktur dengan kereta model 3 pada <i>software</i>	51
Gambar 3.37: Input beban angin struktur dengan kereta model 4 pada <i>software</i>	52
Gambar 3.38: a) Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) b) Peta respon percepatan gempa periode pendek 0,2 detik (S _s) c) Peta respon percepatan gempa periode 1 detik (S ₁)	53
Gambar 3.39: Input beban gempa vertikal model 1 pada <i>software</i>	55
Gambar 3.40: Input beban gempa vertikal model 2 pada <i>software</i>	56
Gambar 3.39: Input beban gempa vertikal model 3 pada <i>software</i>	57
Gambar 3.40: Input beban gempa vertikal model 4 pada <i>software</i>	58
Gambar 3.41: Input beban temperatur model 1 pada <i>software</i>	59
Gambar 3.42: Input beban temperatur model 2 pada <i>software</i>	59
Gambar 3.43: Input beban temperatur model 3 pada <i>software</i>	59
Gambar 3.44: Input beban temperatur model 4 pada <i>software</i>	60
Gambar 4.1 : Letak posisi gaya aksial tarik model 1	61
Gambar 4.2 : Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 1	62
Gambar 4.3 : Letak posisi gaya aksial tekan model 1	62
Gambar 4.4 : Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 1	63
Gambar 4.5 : Letak posisi gaya aksial tarik model 2	64
Gambar 4.6 : Grafik garis pengaruh pada batang model 2	64
Gambar 4.7 : Letak posisi gaya aksial tekan tarik model 2	65
Gambar 4.8 : Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 2	65
Gambar 4.9 : Letak posisi gaya aksial tarik model 3	66
Gambar 4.10: Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 3	67
Gambar 4.11: Letak posisi gaya aksial tekan model 3	67
Gambar 4.12: Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 3	68
Gambar 4.13: Letak posisi gaya aksial tarik model 4	68

Gambar 4.14: Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 4	69
Gambar 4.15: Letak posisi gaya aksial tekan model 4	69
Gambar 4.16: Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 4	70
Gambar 4.17: Grafik nilai gaya aksial (P) akibat kombinasi kuat 1	71
Gambar 4.18: Grafik lendutan rangka pada model 1	72
Gambar 4.19: Grafik lendutan rangka pada model 2	73
Gambar 4.20: Grafik lendutan rangka pada model 3	74
Gambar 4.21: Grafik lendutan rangka pada model 4	75
Gambar 4.22: Perbandingan lendutan rangka pada model jembatan akibat daya layan I	76
Gambar 4.23: Grafik lendutan rangka pada model 1	77
Gambar 4.24: Grafik lendutan rangka pada model 2	78
Gambar 4.25: Grafik lendutan rangka pada model 3	79
Gambar 4.26: Grafik lendutan rangka pada model 4	80
Gambar 4.27: Perbandingan lendutan rangka pada model jembatan akibat daya layan II	81
Gambar 4.28: Grafik nilai volumetrik pada model jembatan	86

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas penampang (cm^2)
A_s	=	koefisien percepatan puncak muka tanah (g)
a	=	Koefisien beban sentrifugal
bf	=	Lebar gelagar (m)
Cd	=	Faktor pembesaran defleksi
Csm	=	Koefisien respon gempa elastis
d	=	Tinggi gelagar (m)
E	=	Modulus elastisitas (Mpa)
EQ	=	Gaya gempa horizontal statis (kN)
EW _L	=	Beban angin kendaraan (kN)
EW _S	=	Beban angin struktur (kN)
f _u	=	Tegangan putus minimum (Mpa)
f _y	=	Tegangan leleh minimum (Mpa)
G	=	Modulus geser (MPa)
h	=	Tinggi (m)
I _x	=	Momen inersia terhadap sumbu x (cm^4)
i	=	Koefisien kejut
L	=	Panjang jembatan (m)
LL	=	Beban hidup (kN/m)
L _F	=	Beban Rel Panjang Longitudinal
L _R	=	Beban lateral kereta
MA	=	Berat tambahan (kN/m)
MS	=	Berat sendiri (kN/m)
n	=	Jumlah
P	=	Beban gandar (Ton)
Pewt	=	Beban angin kendaraan (kN/m)
R	=	Faktor reduksi gempa
Rd	=	Faktor modifikasi respon
S _{DS}	=	nilai spektra permukaan tanah pada periode 0,2 detik
T	=	Perioda alami (s)
T ₀	=	Perioda awal (s)
TB	=	Beban pengereman dan traksi
Teq	=	Gaya gempa vertikal (kN/m)
Tew	=	Tekanan angin (kN/m^2)
Tmax	=	Suhu maksimum ($^{\circ}\text{C}$)
Tmin	=	Suhu minimum ($^{\circ}\text{C}$)
tf	=	Tebal sayap (m)
tw	=	Tebal badan (m)
tr	=	Tinggi rel (m)
V	=	Kecepatan (km/jam)
W	=	Berat profil (Kg/m)
Wt	=	Berat total struktur (Kg)
W	=	Berat rel per meter (Kg/m)
x	=	Jarak antar roda (m)
α	=	Koefisien muai temperatur ($\text{mm/mm}^{\circ}\text{C}$)

Ω = Faktor kuat lebih
 ΔT = Beban temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
 δ = Lendutan (cm)
 γ = Berat jenis (Kg/cm^2)
 Υ_{ms} = Faktor Beban
 Υ_{sms} = Keadaan Batas Layan
 Υ_{ums} = Keadaan Batas Ultimate

DAFTAR SINGKATAN

AASHTO	=	<i>American Association of State Highway and Transport Officials</i>
PJKA	=	Perusahaan Jawatan Kereta Api
PM	=	Peraturan Menteri
RM	=	Rencana Muatan
RSNI	=	Rancangan Standar Nasional Indonesia
SNI	=	Standar Nasional Indonesia

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan kereta api merupakan sebuah sarana transportasi bebas hambatan salah satunya sungai. Perancangan jembatan kereta api pada dasarnya terdapat kesamaan dan tidak jauh berbeda dengan jembatan jalan raya tetapi pada jembatan kereta api mempunyai perbedaan dari segi pembebanan yang diberikan serta standard acuan yang digunakan.

Dalam analisis perhitungan pembebanan jembatan kereta api tidak adanya beban aspal yang terdapat dalam perencanaan jembatan ini. Pembebanan pada jembatan kereta api berupa beban rel, bantalan dan penambat pada beban mati tambahan. Beban hidup yang bekerja pada struktur atas jembatan kereta api adalah beban yang berasal dari rangkain kereta api yang besarnya ditentukan berdasarkan Rencana Muatan 1921 (RM. 1921).

Pada umumnya perhitungan jembatan terbagi atas dua bagian penting yaitu bagian atas jembatan *superstructure* dan bagian bawah jembatan *substructure*. Pada bagian atas jembatan akan memikul langsung beban – beban lalu lintas yang ada di atasnya sedangkan bagian bawah jembatan akan memikul beban di atasnya dan meneruskan beban – beban tersebut ke lapisan tanah keras.

Struktur atas jembatan pada tugas akhir ini berupa rangka baja tipe *camelback truss*. Jembatan tipe *camel back truss* merupakan hasil modifikasi dari jembatan tipe *pratt truss*. Penggunaan jembatan tipe *camel back truss* karena konstruksinya yang lebih ringan dibanding dengan yang berbentuk trapesium. Selain itu strukturnya yang berbentuk lengkung sehingga menghasilkan estetika yang lebih indah dibanding trapesium.

Pada perencanaan jembatan kereta api ini menggunakan material berupa baja. Penggunaan material baja dikarenakan baja mempunyai berbagai sifat penting seperti kekuatan yang tinggi serta ketahanan dan sifat mekanik berupa tegangan leleh dan tegangan putus. Selain itu bisa menghemat tenaga kerja karena besi baja dapat diproduksi di pabrik, jembatan baja dapat dengan mudah diperbaiki karena

umumnya masalah utama terdapat pada korosif baja, efisiensi waktu, karena pemasangan jembatan baja jauh lebih cepat dibandingkan dengan jembatan beton, serta rendahnya biaya pemasangan. Perencanaan jembatan rangka baja juga dapat memperhatikan karakteristik jalan rel seperti beban kereta penumpang dan barang serta ruang bebas yang harus dipenuhi.

Dalam pengerjaan jembatan kereta api, terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi diantara lain seperti ketahanan terhadap segala beban-beban yang akan terjadi. Selain ketahanan ada juga persyaratan yang harus dipenuhi yaitu lendutan. Untuk itu jembatan kereta api harus memenuhi persyaratan lendutan dari jembatan baja itu sendiri. Lendutan adalah besaran penyimpangan yang tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis. Lendutan pada struktur rangka akan berbanding lurus dengan panjang bentang rangka baja tersebut, artinya semakin panjang bentangan yang ada maka akan semakin mengurangi keamanan struktur

Setiap jembatan yang menerima beban tentunya akan mengalami lendutan tidak terkecuali dengan jembatan kereta api. Dengan bobot dari kereta api yang mencapai 50-80 ton per gerbongnya maka untuk mengantisipasi besarnya lendutan yang terjadi, maka pemerintah melalui Peraturan Menteri telah mengatur koefisien lendutan maksimum jembatan baja kereta api.

Sebuah jembatan haruslah memiliki ketahanan yang baik serta memiliki nilai lendutan yang terendah. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan cara mempertimbangkan material baja yang digunakan, baik dari jenis, material penyusun, serta jumlah dari baja yang digunakan. Semakin tinggi volumetrik material baja yang digunakan tentunya akan semakin tinggi pula nilai pembebanan yang terjadi pada jembatan dan semakin rendah volumetrik material baja maka akan semakin ringan pembebanan yang terjadi pada jembatan. Perbedaan pola dan model pada struktur jembatan tentunya akan berpengaruh terhadap volumetrik material baja yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perbedaan pembagian segmen dan tinggi batang terhadap gaya aksial dan garis pengaruh akibat beban-beban yang bekerja?

2. Berapa besar lendutan yang terjadi terhadap pengaruh perbedaan pembagian segmen dan tinggi batang pada struktur jembatan?
3. Berapa volumetrik material baja yang digunakan pada perencanaan struktur jembatan?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Struktur jembatan yang direncanakan menggunakan rangka baja tipe *Camel Back Truss* dengan panjang bentang adalah 80 meter dan beban lalu lintasnya berupa kereta api.
2. Jumlah segmen pada model 1 sebanyak 8 segmen, model 2 sebanyak 7 segmen, model 3 sebanyak 9 segmen dan pada model 4 sebanyak 7 segmen.
3. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian tentang gaya aksial, garis pengaruh dan lendutan terhadap model jembatan serta volumetrik material baja yang digunakan.
4. Tugas akhir dianalisis dengan menggunakan *software*.
5. Konsep perencanaan jembatan mengacu pada standar PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, RSNI T-03 2005, SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan pembagian segmen dan tinggi batang terhadap gaya aksial dan garis pengaruh yang terjadi pada struktur jembatan yang diakibatkan beban-beban yang bekerja.
2. Untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi terhadap pengaruh perbedaan pembagian segmen dan tinggi batang pada struktur jembatan.
3. Untuk mengetahui volumetrik material baja yang digunakan pada perencanaan struktur jembatan.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat dari penelitian ini adalah mengaplikasikan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil terutama dalam perencanaan jembatan rangka baja. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan jembatan kereta api rangka baja tipe *Camel Back Truss* bagi peneliti selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Menguraikan hal-hal umum mengenai Tugas Akhir, seperti latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai teori dan konsep tentang jembatan struktur baja dan rumus perhitungan pembebanan pada jembatan struktur baja.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisa, serta perbandingan antara keempat model jembatan dari segi daya tahan terhadap beban-beban yang bekerja.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya, serta saran yang diberikan untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut Struyck dan Van Der Veen (1984), jembatan merupakan sebuah struktur yang dibangun melewati suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan-rintangan tersebut dapat berupa jurang, lembah, jalan rel, sungai, badan air, atau rintangan fisik lainnya. Tujuan jembatan adalah untuk membuat jalan bagi orang atau kendaraan melewati sebuah rintangan. Selain itu jembatan juga menjadi alternatif untuk menyambung ruas jalan sehingga dapat memperpendek jarak.

Pada perkembangannya, berbagai macam dan bentuk serta material jembatan mengalami perubahan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi terkini. Berdasarkan perkembangannya jembatan memiliki sejarahnya sendiri. Awalnya, manusia mengklasifikasikan jembatan menjadi lima tipe yakni; jembatan balok (*beam*), kantilever, pelengkung (*arch*), kabel gantung (*suspension*), dan rangka (*truss*). Empat tipe pertama jembatan diilhami dari kehidupan sebelum masehi. Pada masa selanjutnya tipe-tipe jembatan ini berkembang menjadi tipe-tipe jembatan yang kita kenali sekarang. Berdasarkan materialnya jembatan dapat dibagi menjadi tiga jenis yakni, jembatan baja, jembatan beton, jembatan komposit. Menurut Frans (2016), berdasarkan pemakaiannya jembatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis seperti; jembatan jalan orang, jembatan jalan raya, jembatan rel kereta api, dan jembatan saluran air.

Jembatan kereta api adalah jembatan yang digunakan untuk menghubungkan jalan rel yang melintasi berbagai rintangan diantaranya sungai, jalan lain dan sebagainya untuk dilewati oleh kereta api. Untuk jembatan rangka baja kereta api struktur atas terdiri dari rangka utama gelagar melintang, gelagar memanjang, ikatan angin, pelat buhul, lantai kendaraan (rel), dan perletakan. Untuk bagian struktur bawahnya berupa abutment, pilar dan pondasi.

Struktur rangka batang adalah struktur yang terdiri dari elemen-elemen batang yang disambung membentuk suatu geometri tertentu, sehingga bila

diberikan beban pada titik buhulnya (titik pertemuan antar batang), maka struktur tersebut akan menyalurkan beban ke tumpuan sebagai gaya aksial (tarik atau tekan) pada batang-batangnya (Dewobroto, 2017).

2.2 Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja merupakan bangunan atas jembatan yang disusun dari beberapa panel segitiga dan dirangkai satu persatu dengan hubungan baut untuk menahan beban rencana jembatan yang sesuai dengan peraturan beban yang berlaku pada saat itu.

Dengan bertambahnya umur jembatan dapat diduga terjadi peningkatan beban, volume lalu lintas, peningkatan beban akibat overlay, dan penurunan ketahanan konstruksi. Hal tersebut berpengaruh pada peningkatan tegangan elemen jembatan dan bertambahnya lendutan.

Guna memantapkan kestabilan sarana perhubungan lalu-lintas angkutan darat yang sangat penting artinya bagi pembangunan nasional sebagai perwujudan nyata terhadap pelayanan jasa distribusi yang meliputi jasa angkutan dan jasa perdagangan, oleh karena itu jaringan jalan dan jembatan merupakan hal utama untuk dijaga kemampuan daya layannya.

Jembatan rangka baja memiliki keuntungan karena memiliki kuat tarik dan kuat tekan yang tinggi serta proses maintenance yang lebih mudah dan pemasangannya lebih cepat jika dibandingkan dengan jembatan beton. Namun jembatan rangka memiliki kekurangan karna lebih mudah berkarat dan akan lebih berisik jika digunakan sebagai jembatan untuk perlintasan kereta api. Beberapa jenis jembatan rangka baja yang biasa digunakan di Indonesia adalah CH dan *Transfield*.

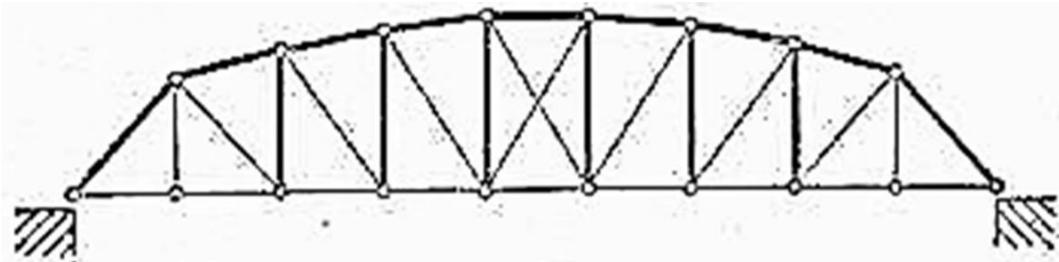
2.3 Jembatan *Camelback Truss*

Jembatan rangka baja tipe *camelback truss* ditemukan Oleh Charles H. Parker yang memodifikasi jembatan tipe *Pratt Truss*. Penggunaan jembatan tipe *camelback truss* dikarenakan konstruksinya yang lebih ringan dibandingkan dengan yang berbentuk trapesium. Selain itu strukturnya yang berbentuk lengkung sehingga menghasilkan estetika yang lebih indah dibanding trapesium. Jembatan

tipe *camelback truss* memiliki penghubung atas yang tinggal sejajar dengan penghubung bawah. Hal ini menciptakan struktur yang lebih ringan tanpa kehilangan kekuatan, ada sedikit beban mati di ujung kekuatan lebih terkonsentrasi di pusat.

Adapun keuntungan jembatan tipe *camelback truss* adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi lebih ringan dari jembatan bentuk trapezium.
2. Model jembatan mendekati penampang yang paling optimal dibanding jembatan rangka trapezium.
3. Mempunyai estetika yang lebih indah dibanding dengan bentuk trapezium



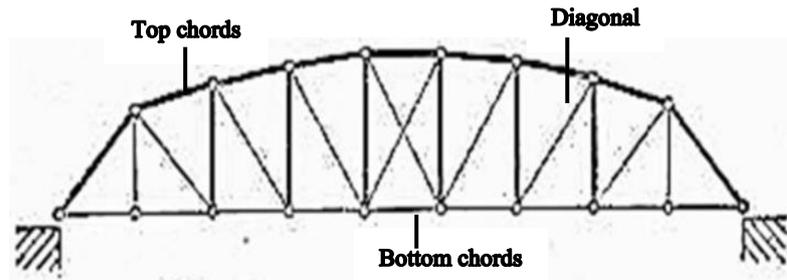
Gambar 2.1: Jembatan tipe *camelback truss*

2.4 Komponen Struktur Atas Jembatan

Pada dasarnya semua jembatan terdiri dari dua bagian, yaitu struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*). Dalam tugas akhir ini yang akan dibahas lebih lanjut adalah struktur bagian atas (*superstructure*). Struktur atas jembatan merupakan bagian dari jembatan yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban lalu lintas dan lain sebagainya. Komponen dari struktur atas jembatan lebih banyak kalau dibandingkan dengan struktur bawah. Komponen tersebut secara umum berupa rangka utama, portal ujung, gelagar melintang, gelagar memanjang, ikatan angin, plat buhul, lantai kendaraan dan perletakan.

1. Rangka Utama

Rangka utama jembatan yaitu rangka yang dapat dibentuk dengan berbagai variasi salah satunya tipe *camelback truss*. Rangka utama merupakan pemikul utama keseluruhan beban jembatan yaitu beban mati dan beban atas (*top chords*), gelagar bawah (*bottom chords*) dan batang diagonal (*diagonal chords*).



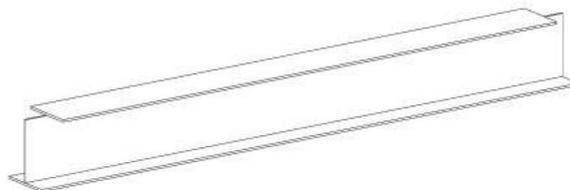
Gambar 2.2: Rangka utama

2. Gelagar Melintang (*Cross Girder / Cross Beam*)

Gelagar melintang merupakan gelagar yang berada dibawah lantai kendaraan yang melintang dengan sumbu jalan yang berfungsi memikul beban-beban kendaraan dan beban hidup lainnya. Gelagar melintang bawah menyalurkan beban-beban tersebut ke rangka utama melalui gelagar memanjang.

3. Gelagar Memanjang (*Stringer*)

Gelagar memanjang merupakan gelagar yang berada dibawah lantai kendaraan searah dengan sumbu jalan yang berfungsi menyalurkan beban-beban lantai kendaraan berupa beban mati dan beban hidup kepada gelagar melintang. Hal ini dikarenakan gelagar memanjang menumpu pada gelagar melintang. Gelagar memanjang berada di posisi bawah jembatan rangka dan tidak terdapat dibagian atas jembatan.



Gambar 2.3: Gelagar Memanjang (*Stringer*)

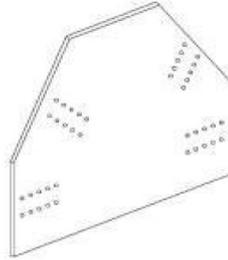
4. Ikatan Angin (*Lateral Bracing*)

Ikatan angin merupakan rangkaian profil baja yang berfungsi untuk mengakukan konstruksi, mengurangi getaran dan menjaganya agar terus tetap tegak dan mencegah runtuhnya jembatan. Misalnya akibat adanya gaya lateral yang ditimbulkan angin dari tepi.

5. Pelat Buhul (*Gusset Plate*)

Pelat buhul adalah sistem sambungan dengan pelat baja tunggal atau berpasangan yang berfungsi menyatukan elemen-elemen struktur rangka batang

(*truss*). Umumnya jumlah selemen struktur yang disambung berjumlah tiga atau lebih. Bentuk perencanaan pelat buhul bisa beraneka ragam dikarenakan orientasi pada bentuk elemen-elemen baja pada struktur bisa bervariasi.



Gambar 2.4: Pelat Buhul (*Gusset Plate*)

6. Lantai Kendaraan

Lantai Kendaraan merupakan komponen utama jembatan yang berkontak langsung dari beban kendaraan pada jembatan. Konstruksi jalan rel (bantalan, penambat dan rel) merupakan lantai kendaraan untuk jembatan kereta api.

7. Perletakan (*Bearing*)

Perletakan (*bearing*) adalah suatu komponen yang dirancang untuk menahan gaya vertikal yang disebabkan oleh beban-beban jembatan rangka yang ada di atasnya. Letak posisi *bearing* berada diantara pelat buhul ujung bawah kiri dan kanan dengan abutment.

2.5 Persyaratan Umum Perkeretaapian

Peraturan menteri perhubungan telah mengatur dasar regulasi yang terkait dengan jalur dan bangunan kereta api, baik yang terkait dengan standar teknis, pengujian, pemeriksaan, dan perawatannya, tidak terkecuali dengan pembangunan jembatan. Hal ini telah diatur didalam Peraturan Menteri Perhubungan nomor PM 28 Tahun 2011 tentang persyaratan teknis bangunan kereta api.

2.5.1 Persyaratan Sistem

Dalam perencanaan jembatan ada syarat-syarat yang harus dipenuhi sebagai berikut:

a. Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur, beban gandar maksimum sebesar 18 ton. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur, beban gandar maksimum sebesar 22,5 ton.

Beban gandar yang digunakan sebagai dasar perencanaan harus sesuai dengan klasifikasi jalurnya dan beban terbesar dari sarana perkeretaapian yang dioperasikan.

b. Lendutan

Lendutan merupakan besaran penyimpangan (*deflection*) pada jembatan baja, beton maupun komposit yang nilainya tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis.

Tabel 2.1: Koefisien lendutan maksimum jembatan baja

Jenis	Gelagar			Rangka Batang
	L (m)	$L < 50$	$L \geq 50$	Seluruh Rangka
Lokomotif		$L / 800$	$L / 700$	$L / 1000$
Kereta Listrik dan / atau Kereta	V (Km/h)	$V < 100$	$L / 700$	
		$100 < V \leq 130$	$L / 800$	$L / 700$
		$100 < V \leq 130$	$L / 1100$	$L / 900$

c. Stabilitas konstruksi

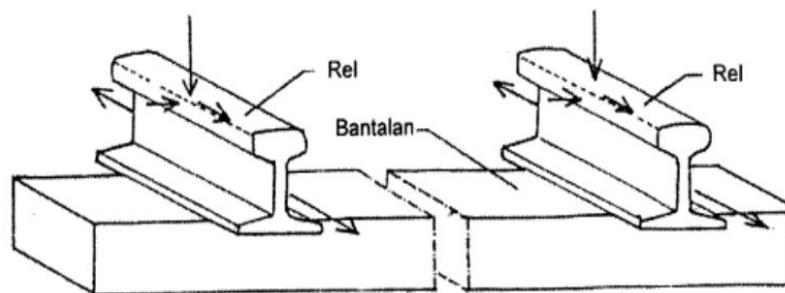
Stabilitas konstruksi merupakan perhitungan suatu struktur dengan menjumlahkan beban dan kombinasi pembebanan.

2.6 Struktur Jalan Rel

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya berjalan di atas jalan rel. Secara umum, pada teknologi konvensional berupa teknologi dua rel sejajar, jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja diletakkan di atas balok-balok melintang. Balok-balok melintang ini disebut bantalan. Untuk menjaga agar supaya rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan penambat rel. Dengan susunan dan tambatan yang demikian maka susunan dan struktur rel-bantalan-penambat rel menjadi suatu rangka yang kokoh. Rangka yang kokoh tersebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut dengan sepur (*track*).

2.6.1 Rel

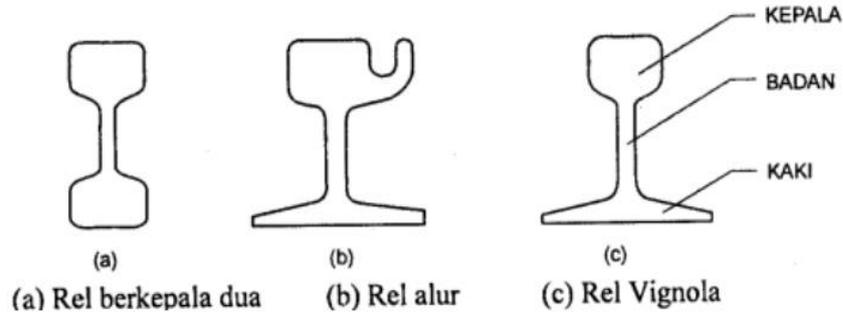
Rel pada jalan rel mempunyai fungsi sebagai pijakan menggelindingnya roda kereta api dan untuk meneruskan beban dari roda kereta api kepada bantalan. Rel ditumpu oleh bantalan-bantalan, sehingga rel merupakan batang yang ditumpu oleh penumpu-penumpu. Pada sistem tumpuan yang demikian, tekanan tegak lurus dari roda menyebabkan momen lentur pada rel diantara bantalan-bantalan. Selain itu, gaya arah horizontal yang disebabkan oleh gaya angin, goyangan kereta api, dan gaya sentrifugal (pada rel sebelah luar) menyebabkan terjadinya momen lentur arah horizontal seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Gaya-gaya yang bekerja pada rel

Agar supaya rel dapat menahan momen-momen tersebut, maka rel dibuat sebagai batang dengan bentuk dasar profil I. Pengembangan dari bentuk dasar profil I tersebut terdapat tiga macam bentuk rel, yaitu pada Gambar 2.6.

- a. Rel berkepala dua
- b. Rel alur (*grooved rail*)
- c. Rel Vignola



Gambar 2.6: Macam-macam bentuk rel

Tipe rel yang digunakan untuk jalan rel pada dasarnya adalah sesuai dengan kelas jalan relnya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Klasifikasi kelas jalan rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (Ton/Tahun)	V maks (Km/Jam)	Pmaks gandar (Ton)	Type Rel	Jenis Bantalan/Jarak	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Tebal Bahu Balas (cm)
I	$>20.10^6$	120	18	R60/R54	Beton/600	EG	30	50
II	10.10^6 -20.10^6	110	18	R54/R50	Beton/Kayu/ 600	EG	30	50
III	$5.10^6-10.10^6$	100	18	R54/R50 /R42	Beton/Kayu/ Baja/600	EG	30	40
IV	$2.5.10^6-$ 5.10^6	90	18	R54/R50 /R42	Beton/Kayu/ Baja/600	EG/ET	25	40
V	$<2.5.10^6$	80	18	R42	Kayu/Baja/600	ET	25	35

2.6.2 Bantalan

Bantalan berfungsi sebagai penahan beban dari kereta api melalui rel dan selanjutnya akan didistribusikan secara merata dengan tekanan yang lebih kecil kepada struktur pondasi dibawahnya.

2.6.2.1 Jenis-jenis Bantalan

Jenis struktur bantalan dapat dibagi sesuai dengan bahan dan karakteristik penyusunnya, yaitu :

1. Bantalan Kayu

Bantalan kayu digunakan pada rel di Indonesia karena selain mudah dibentuk juga bahannya mudah didapat. Menurut Peraturan Dinas No.10 tahun 1986, ukuran bantalan kayu dibedakan berdasarkan lokasi pemasangan, yaitu:

- a. Bantalan Kayu pada Jalan Lurus : 200 x 22 x 13 (PJKA)
: 210 x 20 x 14 (JNR)
- b. Bantalan Kayu pada Jembatan : 180 x 22 x 20 (PJKA)
: 180 x 22 x 24 (JNR)

Untuk dimensi bantalan kayu ada toleransi yang diperbolehkan yaitu:

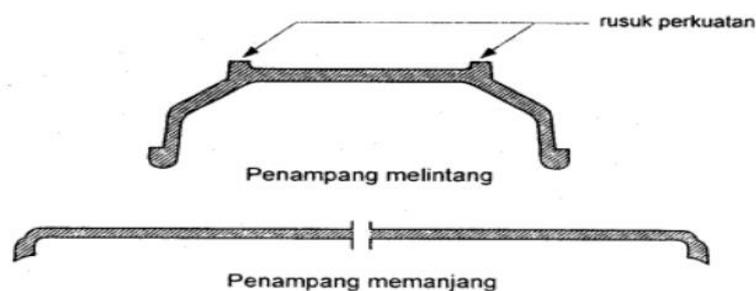
panjang bantalan : + 40 mm s.d. - 20 mm

lebar bantalan : + 20 mm s.d. - 10 mm

tinggi bantalan : + 10 mm.

2. Bantalan Besi

Bentuk penampang melintang bantalan baja harus mempunyai bentuk kait ke luar pada ujung bawahnya. Bentuk penampang memanjang bantalan baja harus mempunyai kait ke dalam pada ujung bawahnya seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Penampang bantalan baja

Bentuk penampang melintang dan memanjang seperti di atas memberikan cengkeraman pada balas sehingga memberikan stabilitas terhadap geseran. Cengkeraman ini penting karena berat sendiri bantalan baja yang kecil yaitu sekitar 47,1 kg dan gesekan antara dasar bantalan dan balas juga kecil. Adanya rusak perkuatan di bagian atas dimaksudkan agar pelat landas tidak goyang. Dimensi bantalan baja pada jalur lurus untuk lebar sepur 1067 mm ialah: panjang 2000 mm, lebar atas 144 mm, lebar bawah 232 mm, tebal baja minimum 7 mm.

3. Bantalan Beton

Bentuk penampang bantalan beton juga dikenal dengan beberapa kuat tekan karakteristik. Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian dudukan rel dan -930 kgm pada bagian tengah bantalan.

2.6.2.2 Jarak Bantalan

Di Indonesia digunakan jarak bantalan sebagai berikut:

- a. Jarak bantalan pada lintas lurus ialah 60 cm, sehingga jumlah bantalan yang dipasang adalah 1667 buah untuk tiap Km panjang.
- b. Pada tikungan/lengkung, jarak bantalan ialah sebesar 60 cm (diukur pada rel luar).

2.6.3 Jenis Penambat

Pada sistem perkeretaapian rel diberi penambat agar tidak terjadi pergeseran antara rel dengan bantalan. Penambat pada rel ada dua jenis yaitu penambat kaku dan penambat elastik.

1. Penambat Kaku, yang terdiri dari mur dan baut namun dapat juga ditambahkan pelat andas, penambat ini biasanya dipasang pada bantalan besi dan kayu.
2. Penambat Elastik, penggunaan penambat ini dibagi dalam dua jenis, yaitu penambat elastik tunggal yang terdiri dari pelat andas, pelat atau batang jepit elastik, tirpon, mur dan baut, dimana kekuatan jepitnya terletak pada batang

jepit elastik. Penambat elastik tunggal ini biasanya digunakan pada bantalan besi atau kayu. Adapun jenis yang kedua adalah penambat elastik ganda yang terdiri dari pelat landas, pelat atau batang jepit, alas rel, tirpon, mur dan baut.

2.7 Pembebanan Pada Jembatan

Standar acuan pembebanan pada jembatan kereta api tertera pada (Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 60 tahun 2012) dan (SNI 1725-2016), standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan teknis jalur kereta api.

2.7.1 Berat Sendiri Struktur dan Beban Mati Tambahan

Beban mati pada jembatan ada dua yaitu berat dari elemen-elemen struktur itu sendiri dan yang kedua berat dari elemen non-struktural.

2.7.1.1 Berat sendiri struktur

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktur lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{ms})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{sms})		Keadaan Batas Ultimate (γ_{ums})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	kayu	1,00	1,40	0,70

Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Berat isi untuk beban mati

No	Bahan	Berat isi (kN/m)	Kerapatan massa (Kg/m)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>Asphalt Concrete</i>)	22	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ MPa	$22+0,022 f_c$	$2240+2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$.

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi.

2.7.1.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.5:

Tabel 2.5: Faktor beban untuk beban mati tambahan.

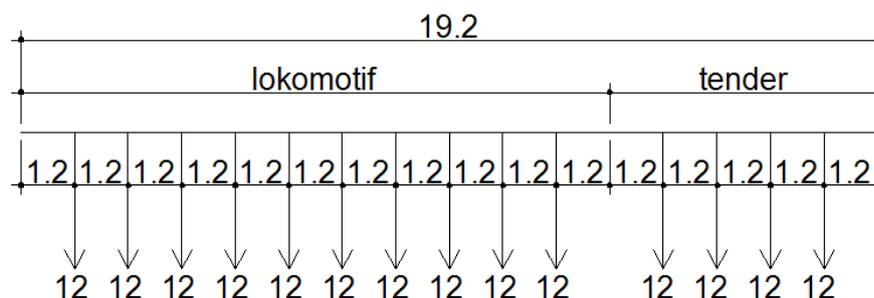
Tipe beban	Faktor beban (γ_{ms})			
	Keadaan batas layan (γ^s_{ms})		Keadaan batas ultimate (γ^u_{ms})	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,7
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,8

Catatan ⁽¹⁾: faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

2.7.2 Beban Hidup

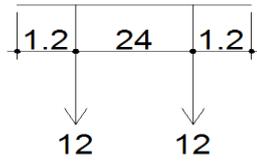
Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Untuk beban gandar sampai dengan 18 ton dapat digunakan skema rencana muatan 1921 (RM 21). Untuk beban gandar lebih besar dari 18 ton, rencana muatan disesuaikan dengan kebutuhan gandar.

Sebagai beban hidup ditentukan suatu kendaraan yang rangkaiannya sendiri dari dua lokomotif dengan tender-tender masing-masing seperti skema gambar 2.8 dibawah ini :



Gambar 2.8: Susunan lokomotif dan tender

Jumlah berat 168 ton atau 8.75 t/m' ditambah sejumlah gerbong yang tidak tertentu seperti Gambar 2.9

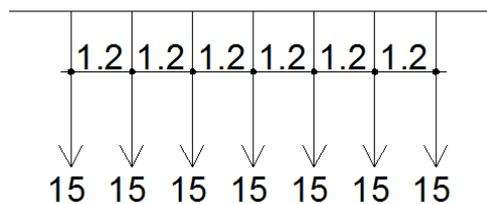


Gambar 2.9: Beban merata

Jumlah 24 ton atau 5 ton/m'

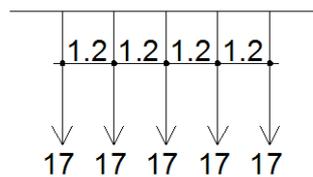
Kendaraan dirangkaikan sedemikian rupa sehingga guna perhitungan konstruksi diambil yang amat tidak menguntungkan (berbahaya).

Jika pada suatu bentang jembatan hanya muat tujuh gandar, maka bebannya ditingkatkan hingga 15 ton seperti pada Gambar 2.10



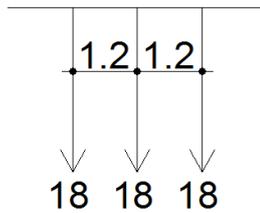
Gambar 2.10 Beban 6 atau 7 Gandar

Jika pada suatu bentang jembatan hanya muat lima gandar, maka bebannya ditingkatkan hingga 17 ton seperti pada Gambar 2.11



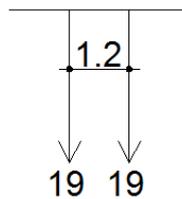
Gambar 2.11: Beban 4 atau 5 gandar

Jika pada suatu bentang jembatan hanya muat tiga gandar, maka bebannya ditingkatkan hingga 18 ton seperti apada Gambar 2.12



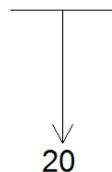
Gambar 2.12: Beban 3 Gandar

Jika pada suatu bentang jembatan hanya dua gandar, maka bebannya ditingkatkan hingga 19 ton seperti pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Beban 2 Gandar

Jika pada suatu bentang jembatan hanya muat satu gandar, maka bebannya ditingkatkan hingga 20 ton seperti pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Beban 1 Gandar

Dari rencana – rencana beban tersebut, dipilih rencana yang mengakibatkan momen serta gaya lintang terbesar. Gaya – gaya yang bekerja akibat beban hidup ini harus dikalikan dengan koefisien kejut.

2.7.3 Beban Kejut

Selain pengaruh beban hidup, pembebanan juga harus memperhitungkan dengan faktor kejut sebagai akibat pelimpahan sementara sebagian beban hidup dari rel kiri ke rel kanan atau sebaliknya.

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor i adalah dengan menggunakan persamaan 2.1 untuk rel pada alas balas, persamaan 2.2 untuk rel pada perletakan kayu dan persamaan 2.3 untuk rel secara langsung pada baja.

a. Untuk rel pada alas balas

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L} \quad (2.1)$$

b. Untuk rel pada perletakan kayu

$$i = 0,2 + \frac{22,5}{50+L} \quad (2.2)$$

c. Untuk rel secara langsung pada baja

$$i = 0,3 + \frac{22,5}{50+L} \quad (2.3)$$

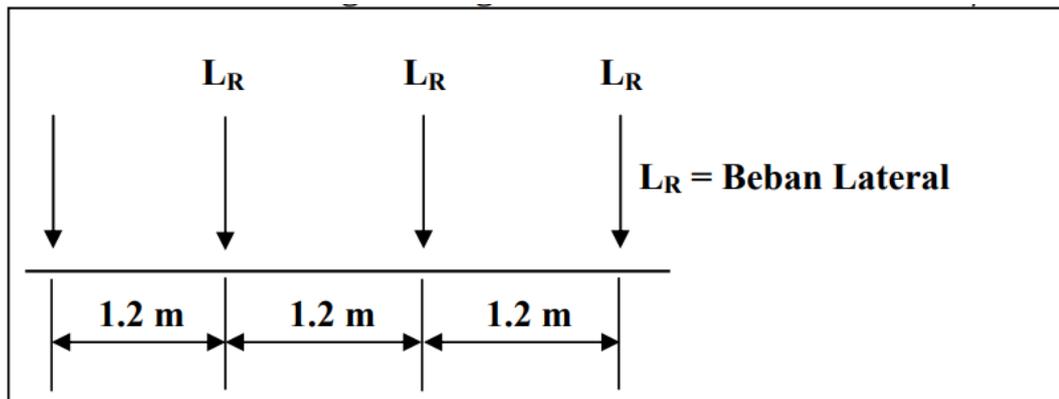
dimana:

i = koefisien beban kejut

L = Panjang jembatan (m)

2.7.4 Beban Lateral Kereta

Beban lateral kereta adalah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.15. Beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horizontal. Besaran adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau kereta listrik/diesel.



Gambar 2.15: Beban lateral kereta

2.7.5 Beban Pengereman dan Traksi

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya percepatan dan pengereman harus ditinjau dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Terlepas dari berapa besar dan lebarnya jembatan, beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal). Gaya rem dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Gaya rem dan traksi tidak boleh digunakan tanpa beban lalu lintas vertikal yang bersangkutan.

2.7.6 Beban Rel Panjang Longitudinal (LF)

Gaya longitudinal merupakan gaya adhesi akibat dari gesekan roda dan kepala rel dan gaya akibat pengereman roda terhadap rel. Akibat dari gesekan roda kereta terhadap rel dapat mengakibatkan perubahan suhu pada rel (*thermal stress*) sehingga ada pemuaian yang terjadi pada rel. Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, maksimum 2,000 kN.

2.7.7 Beban Angin

Pengaruh beban angin pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal terbagi merata pada bidang vertikal jembatan dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan.

Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu nilai tertentu terhadap luas bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup. Besar nilainya koefisien angin pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin tidak termasuk areal sistem lantai adalah 2,0 kN/m².

Bidang vertikal beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus atau pusat beban 1,8 m di atas lantai kendaraan. Besar nilai tekanan angin untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin dengan adanya kendaraan di atasnya adalah 0,8 kN/m². Perhitungan beban angin kendaraan dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$P_{ewt} = T_{ew} \times (1,8 + t_r + h/2) / x \quad (2.4)$$

Dimana :

Pewt : beban angin yang ditransfer ke girder (kN/m)

Tew : tekanan angin (kN/m²)

tr : tinggi rel (m)

h : tinggi gelagar (m)

x : jarak antar roda (m)

2.7.8 Temperatur

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan struktural karena adanya perubahan suhu akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Beban temperatur pada jembatan diperoleh dalam SNI 1725:2016 tentang Peraturan Pembebanan untuk Jembatan adalah sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 : Temperatur rata-rata jembatan

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum	Temperatur Jembatan Rata-Rata Maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks 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

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut :

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\max} - T_{\min}) \quad (2.5)$$

Dimana :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Untuk koefisien muai temperatur dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 : Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur.

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (Mpa)
Baja	12 x 10 ⁻⁶ per °C	200.000
Beton:		
Kuat Tekan <30 Mpa	10 x 10 ⁻⁶ per °C	4700 $\sqrt{f_c'}$
Kuat Tekan >30 Mpa	11 x 10 ⁻⁶ per °C	4700 $\sqrt{f_c'}$

2.7.9 Beban gempa

SNI-2833:2016 menetapkan dan mengatur ketentuan perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan. Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Perhitungan beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formulasi sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (2.6)$$

Dimana:

E_Q : Gaya gempa horizontal statis (kN)

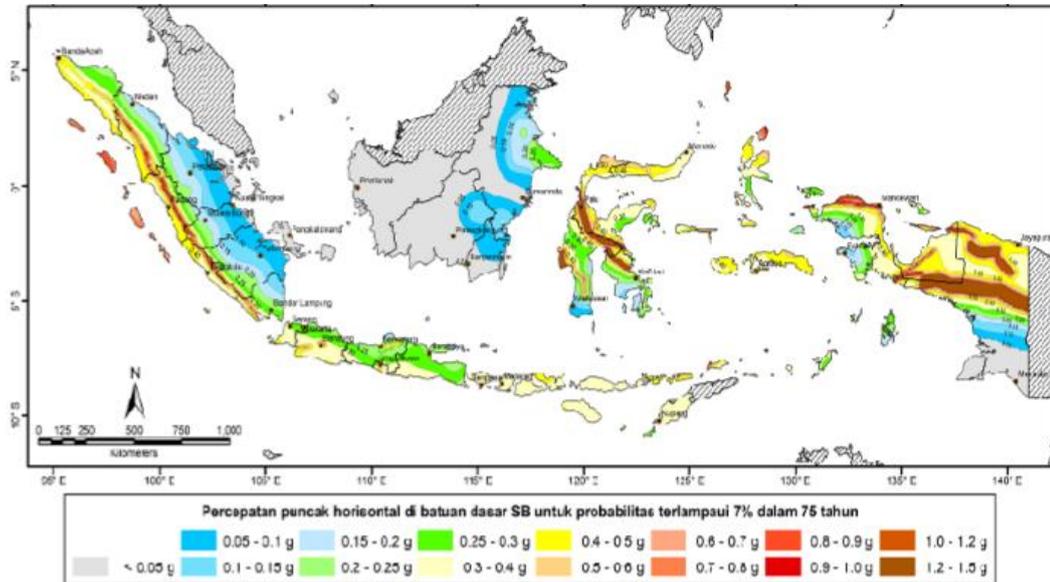
C_{sm} : Koefisien respon gempa elastis

R_d : Faktor modifikasi respon

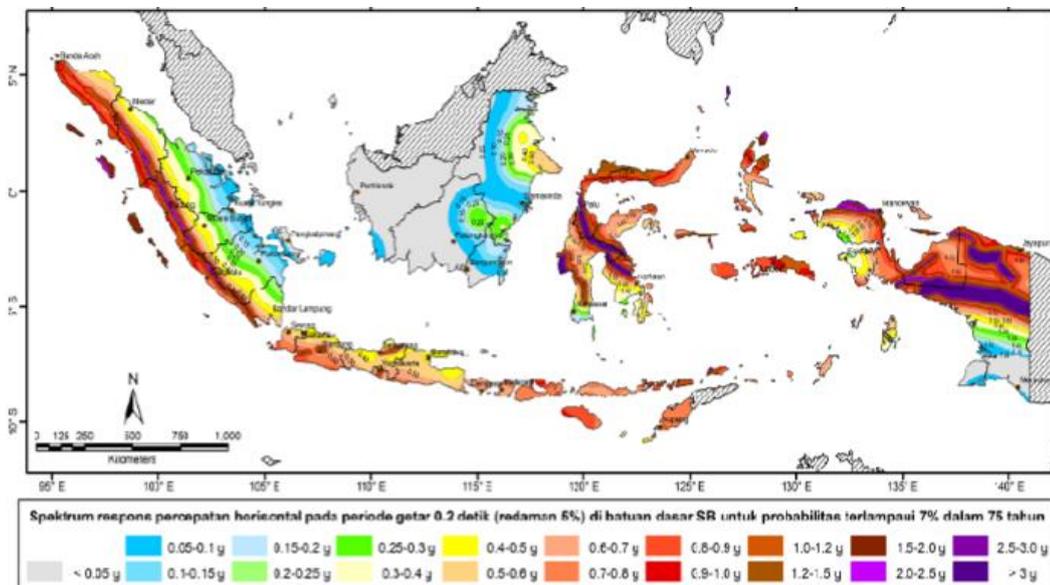
W_t : Berat total struktur

Koefisien respons elastik (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana

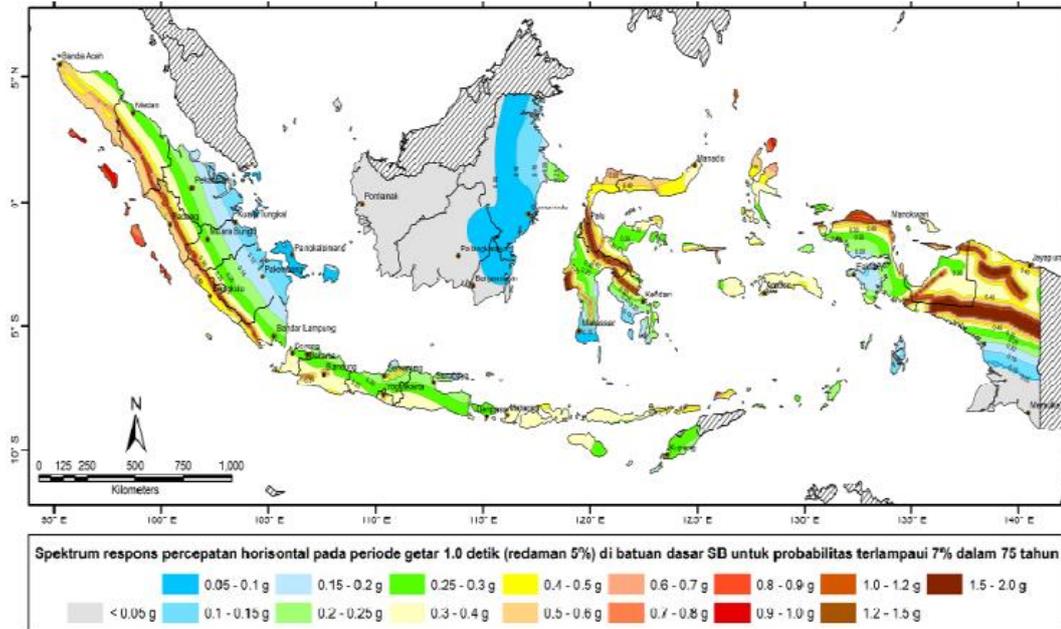
(Gambar 2.16, 2.17, dan 2.18) . Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan kondisi tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan.



Gambar 2.16: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 2.17: Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 2.18: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

2.7.10 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1725-2016 jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

Dalam perencanaan, persamaan 2.7 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya. Tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan setiap komponen dan sambungan harus memenuhi persamaan 2.7 untuk setiap keadaan batas, untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (2.7)$$

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi persamaan 2.7 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

- a. Kuat I yaitu kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin.
- b. Kuat II yaitu kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus tanpa memperhitungkan beban angin.
- c. Kuat III yaitu kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenal beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- d. Kuat IV yaitu kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
- e. Kuat V yaitu kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- f. Ekstrem I yaitu kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ_{EQ} yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
- g. Ekstrem II yaitu Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal
- h. Layan I yaitu Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada goronggorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

- i. Layan II yaitu Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- j. Layan III yaitu Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
- k. Layan IV yaitu Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

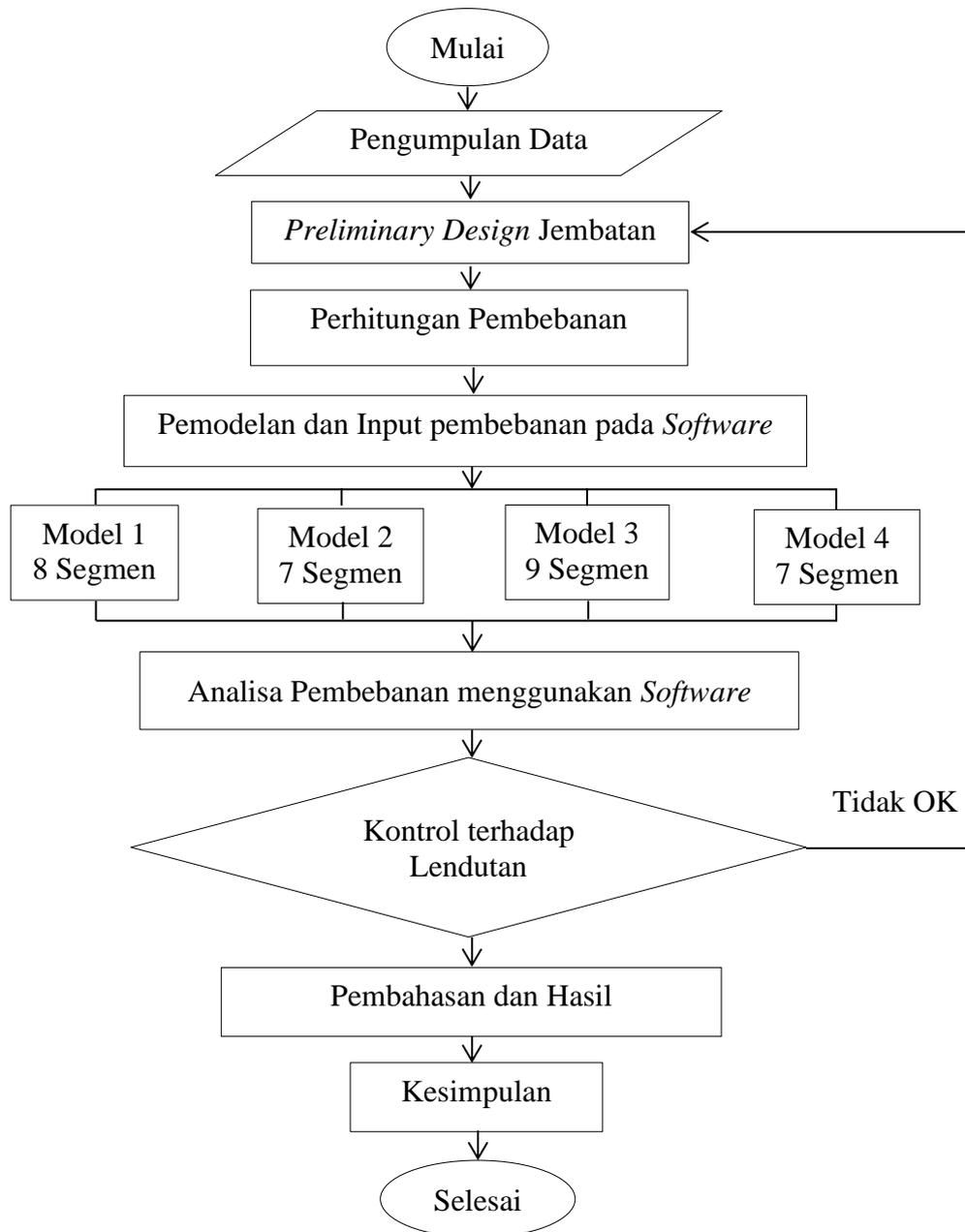
Tabel 2.8: Kombinasi pembebanan

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan Salah Satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$y\rho$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	yTG	yES	-	-	-
Kuat II	$y\rho$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	yTG	yES	-	-	-
Kuat III	$y\rho$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	yTG	yES	-	-	-
Kuat IV	$y\rho$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$y\rho$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	yTG	yES	-	-	-
Ekstrem I	$y\rho$	yEQ	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	$y\rho$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	yTG	yES	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	yTG	yES	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam menyusun laporan tugas akhir ini, penulis memerlukan suatu rancangan penyelesaian masalah. Adapun langkah-langkah dalam penyelesaian tugas akhir ini sebagaimana tertera pada gambar 3.1 dibawah.



Gambar 3.1: Diagram alir perencanaan

3.2. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan sarana pokok untuk menemukan penyelesaian suatu masalah secara ilmiah. Tujuan pengumpulan data dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh faktor-faktor untuk melakukan perencanaan jembatan rangka baja kereta api.

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer. Data primer merupakan data yang diperoleh dengan cara menentukan sendiri bagian-bagian jembatan yang akan direncanakan. Data-data yang akan diambil antara lain:

1. Panjang jembatan
2. Lebar jembatan
3. Tinggi Jembatan
4. Jenis tipe rel
5. Jenis bantalan

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah metode literature yaitu mengumpulkan, mengidentifikasi dan mengolah data tertulis dan metode kerjanya.

3.2.1 Data Umum Struktur Jembatan

Ada pun data-data yang digunakan dalam perencanaan sebagai berikut:

a. Model 1

1. Panjang jembatan = 80 m
2. Jumlah segmen = 8
3. Panjang persegmen = Panjang jembatan / jumlah segmen
= 80 m / 8
= 10 m
4. Tinggi Jembatan
 - Puncak tertinggi = 1,25 x panjang persegmen
= 1,25 x 10 m
= 12,5 m
 - Puncak tertinggi ke 2 = 1,125 x panjang persegmen
= 1,125 x 10 m
= 11,25 m

- Puncak terendah = $0,75 \times \text{panjang persegmen}$
= $0,75 \times 10 \text{ m}$
= $7,5 \text{ m}$
- 5. Lebar jembatan = 5
- 6. Kelas jalan = II
- 7. Tipe rel = R54
- 8. Jenis bantalan = Kayu
- 9. Dimensi bantalan = $1,8 \times 0,22 \times 0,2 \text{ m}$

b. Model 2

1. Panjang jembatan = 80 m
2. Jumlah segmen = 7
3. Panjang persegmen = Panjang jembatan / jumlah segmen
= $80 \text{ m} / 7$
= $11,429 \text{ m}$
4. Tinggi Jembatan
 - Puncak tertinggi = $1,25 \times \text{panjang persegmen}$
= $1,25 \times 11,429 \text{ m}$
= $14,29 \text{ m}$
 - Puncak tertinggi ke 2 = $1,125 \times \text{panjang persegmen}$
= $1,125 \times 11,429 \text{ m}$
= $12,86 \text{ m}$
 - Puncak terendah = $0,75 \times \text{panjang persegmen}$
= $0,75 \times 11,429 \text{ m}$
= $8,57 \text{ m}$
5. Lebar jembatan = 5
6. Kelas jalan = II
7. Tipe rel = R54
8. Jenis bantalan = Kayu
9. Dimensi bantalan = $1,8 \times 0,22 \times 0,2 \text{ m}$

c. Model 3

1. Panjang jembatan = 80 m

2. Jumlah segmen = 9
3. Panjang persegmen = Panjang jembatan / jumlah segmen
= 80 m / 9
= 8,889 m
4. Tinggi Jembatan
 - Puncak tertinggi = 1,25 x panjang persegmen
= 1,25 x 8,889 m
= 11,11 m
 - Puncak tertinggi ke 2 = 1,125 x panjang persegmen
= 1,125 x 8,889 m
= 10 m
 - Puncak tertinggi ke 3 = $(1.125 - ((1.125 - 0.75) / 2))$ x panjang persegmen
= $(1.125 - ((1.125 - 0.75) / 2))$ x 8,889
= 8,33 m
 - Puncak terendah = 0,75 x panjang persegmen
= 0,75 x 8,889 m
= 6,67 m
5. Lebar jembatan = 5
6. Kelas jalan = II
7. Tipe rel = R54
8. Jenis bantalan = Kayu
9. Dimensi bantalan = 1,8 x 0,22 x 0,2 m

d. Model 4

1. Panjang jembatan = 80 m
2. Jumlah segmen = 7
3. Panjang persegmen = Panjang jembatan / jumlah segmen
= 80 m / 7
= 11,429 m
4. Tinggi Jembatan
 - Puncak tertinggi = 12,5 m
 - Puncak tertinggi ke-2 = 11,25 m
 - Puncak terendah = 7,5 m

5. Lebar jembatan = 5
6. Kelas jalan = II
7. Tipe rel = R54
8. Jenis bantalan = Kayu
9. Dimensi bantalan = 1,8 x 0,22 x 0,2 m

3.2.2 Data-data Perencanaan Struktur Jembatan

Dalam perencanaan struktur atas jembatan rangka menggunakan baja dengan mutu BJ-50 dengan ketentuan sebagai berikut:

Tegangan putus (F_u) : 500 MPa

Tegangan leleh (F_y) : 290 MPa

Modulus elastisitas : 200000 MPa

Modulus geser (G) : 80000 MPa

Poisson ratio : 0.3

Profil yang akan digunakan sebagai berikut

a. Rangka Induk

Profil yang digunakan adalah profil WF 500 x 500 x 16 x 32. Data detail profil sebagai berikut:

$d = 500$ mm

$bf = 500$ mm

$tw = 16$ cm

$tf = 32$ cm

$W = 307,93$ kg/m

b. Batang dalam

Profil yang digunakan adalah profil WF 500 x 450 x 16 x 32. Data detail profil sebagai berikut:

$d = 500$ mm

$bf = 450$ mm

$tw = 16$ cm

$tf = 32$ cm

$W = 282,81$ kg/m

c. Gelagar Melintang

Profil yang digunakan adalah profil WF 800 x 450 x 16 x 38. Data detail profil sebagai berikut:

$$d = 800 \text{ mm}$$

$$bf = 450 \text{ mm}$$

$$tw = 16 \text{ cm}$$

$$tf = 38 \text{ cm}$$

$$W = 361,37 \text{ kg/m}$$

d. Gelagar Memanjang

Profil yang digunakan adalah profil WF 500 x 450 x 16 x 32. Data detail profil sebagai berikut:

$$d = 500 \text{ mm}$$

$$bf = 450 \text{ mm}$$

$$tw = 16 \text{ cm}$$

$$tf = 32 \text{ cm}$$

$$W = 282,81 \text{ kg/m}$$

e. *Bracing* gelagar memanjang

Profil yang digunakan adalah profil WF 300 x 200 x 9 x 16. Data detail profil sebagai berikut:

$$d = 300 \text{ mm}$$

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

$$tw = 9 \text{ cm}$$

$$tf = 16 \text{ cm}$$

$$W = 69,80 \text{ kg/m}$$

f. Ikatan angin

Profil yang digunakan adalah profil WF 400 x 400 x 12 x 19. Data detail profil sebagai berikut:

$$d = 400 \text{ mm}$$

$$bf = 400 \text{ mm}$$

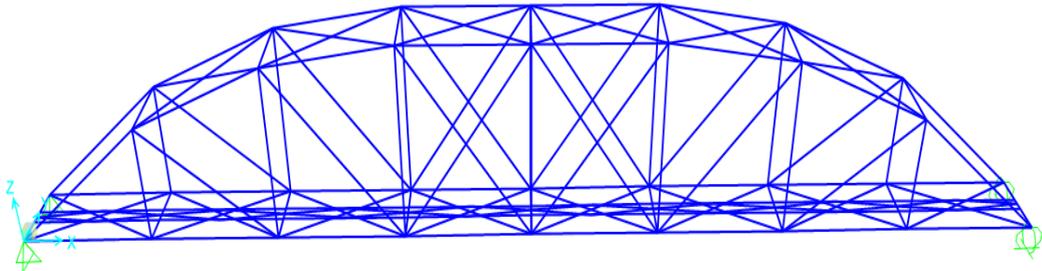
$$tw = 12 \text{ cm}$$

$$tf = 19 \text{ cm}$$

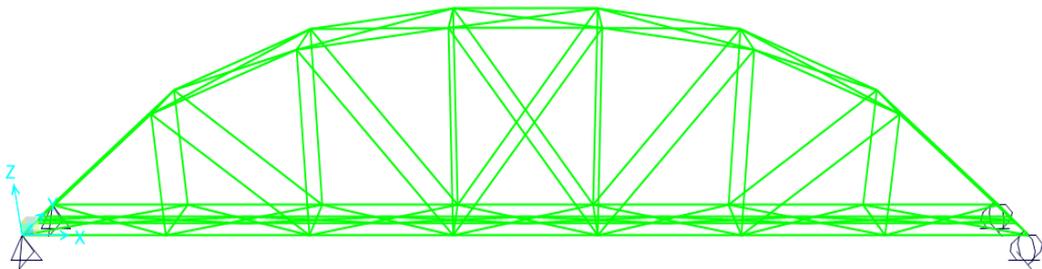
$$W = 154,53 \text{ kg/m}$$

3.3. Preliminary Design Struktur Atas Jembatan

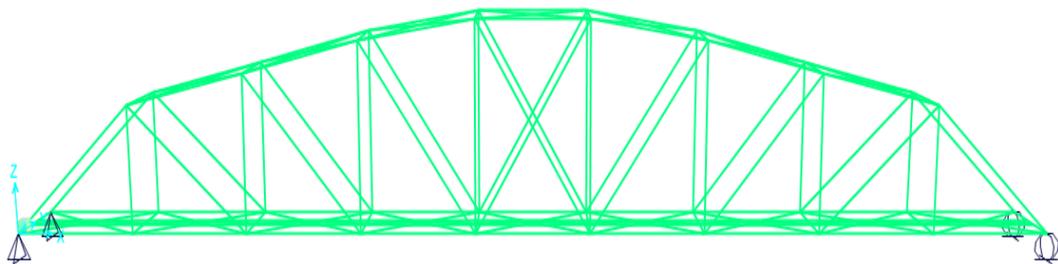
Pada tugas akhir ini struktur yang dimodelkan berupa jembatan rangka baja yang memiliki bentang 80 meter dan tidak memiliki pilar. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software*. Analisis model dilakukan bertujuan untuk melihat perbandingan nilai garis pengaruh, gaya aksial dan lendutan serta perbedaan volume struktur dengan jumlah segmen yang berbeda.



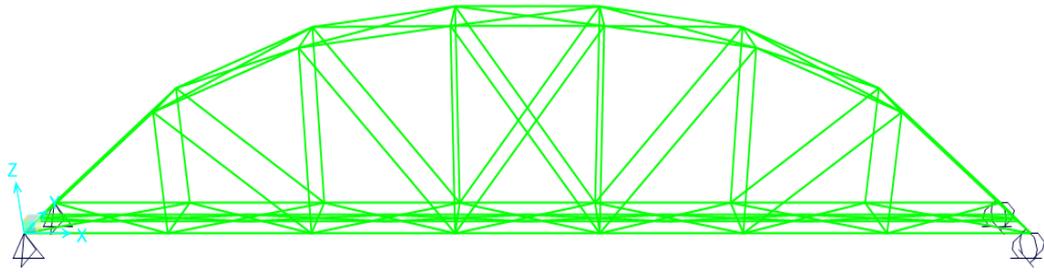
Gambar 3.2: Tampak 3D struktur Model 1 pada *software*



Gambar 3.3: Tampak 3D struktur Model 2 pada *software*



Gambar 3.4: Tampak 3D struktur Model 3 pada *software*



Gambar 3.5: Tampak 3D struktur Model 4 pada *software*

3.4. Perhitungan pembebanan

3.4.1 Beban Berat Sendiri dan Mati Tambahan

Berat jenis bahan yang biasanya digunakan dalam perhitungan beban mati tertera pada tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Berat jenis bahan

Baja, baja cor	78,5 kN/m ³
Besi cor	72,5 kN/m ³
Kayu	8,00 kN/m ³
Beton	24,00 kN/m ³
Aspal anti air	11,00 kN/m ³
Ballast gravel atau batu pecah	19,00 kN/m ³

3.4.1.1 Beban Berat Sendiri

Beban berat sendiri yang terdapat pada jembatan ini berupa berat dari bagian struktur dan elemen-elemen struktur lainnya yang dianggap tetap. Bahan struktur perencanaan berupa baja yang memiliki nilai berat jenis 78,5 kN/m³.

3.4.1.2 Mati Tambahan

Beban mati tambahan dalam perencanaan ini ada tiga yaitu bantalan, rel dan penambat.

a. Beban bantalan

Jenis bantalan yang digunakan berupa kayu dengan dimensi panjang (P) = 1,8 m, lebar (L) = 0,22 m dan tinggi (h) = 0,2 m. Adapun jarak antar bantalan yaitu 60

cm dan berat jenis kayu (γ) adalah 8 kN/m^3 . Dimensi bantalan yang digunakan untuk lebar jalan 1067 mm. Maka berlaku:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah bantalan (n)} &= 80 \text{ m} / 0.6 \text{ m} \\ &= 133\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= P \times L \times h \times \gamma \\ &= 1,8 \text{ m} \times 0,22 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0,6336 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Berat bantalan} = \frac{W \times n}{L}$$

$$\text{Berat bantalan} = \frac{0,6336 \times 133}{80}$$

$$\text{Berat bantalan} = 1,056 \text{ kN/m}$$

b. Beban rel

Dalam perencanaan ini jenis tipe rel yang digunakan yaitu R54 dengan data sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Berat rel} &= 54,43 \text{ kg/m} \\ &= 0,53395 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban rel} &= 2 \times 0,53395 \text{ kN/m} \\ &= 1,0679 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

c. Beban Penambat

$$\begin{aligned}\text{Pelat + clip + baut} &= 2 \times 2 \text{ kg} \\ &= 4 \text{ Kg}\end{aligned}$$

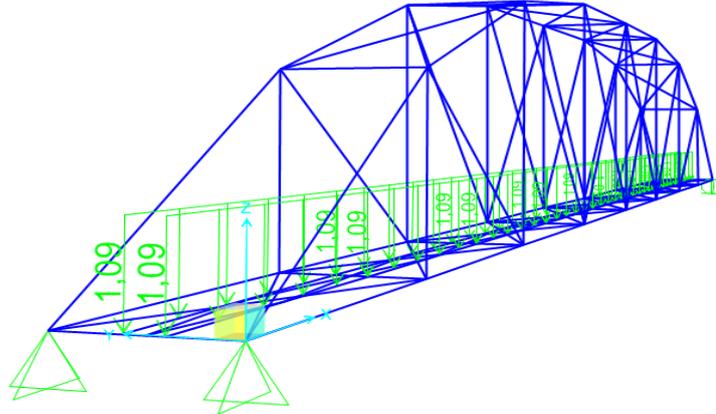
$$\begin{aligned}\text{Berat penambat} &= (4 \times 133)/80 \\ &= 6,6625 \text{ Kg/m} \\ &= 0,065 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Dari perhitungan berat bantalan, rel dan penambat diatas, maka dapat diketahui total berat beban mati tambahan yaitu:

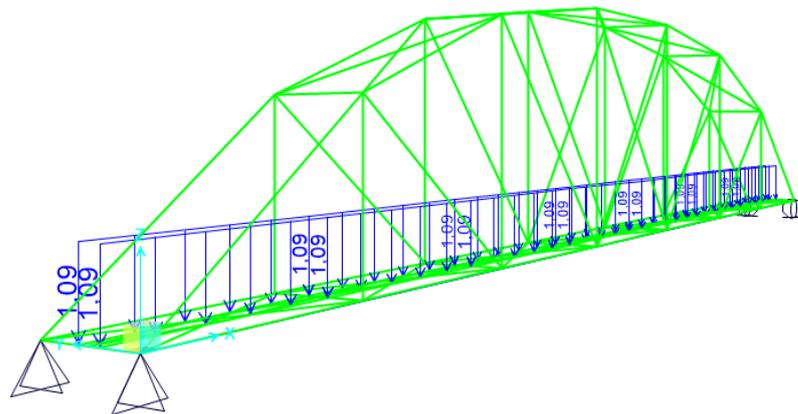
$$\begin{aligned}\text{Beban mati tambahan total} &= \text{berat bantalan} + \text{berat rel} + \text{berat penambat} \\ &= 1,056 + 1,0679 + 0,065 \\ &= 2,1893 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati tambahan untuk 1 rel} &= 2,1893 / 2 \\ &= 1,09 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

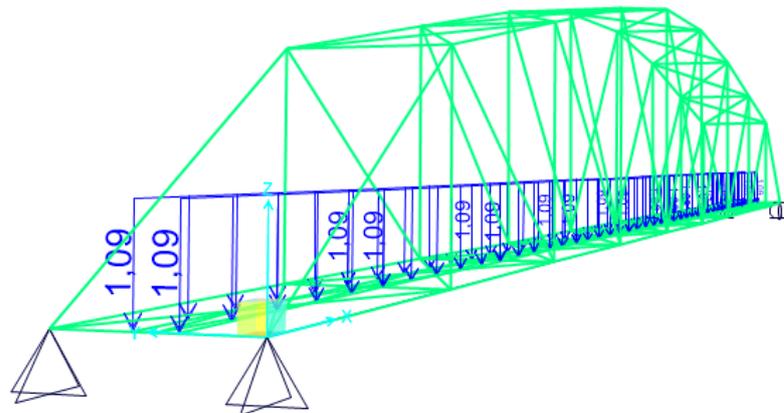
Pada perencanaan beban mati tambahan yang terjadi pada struktur model 1, model 2, model 3 dan model 4 nilainya tidak ada perbedaan dikarenakan panjang bentang jembatan yang direncanakan sama.



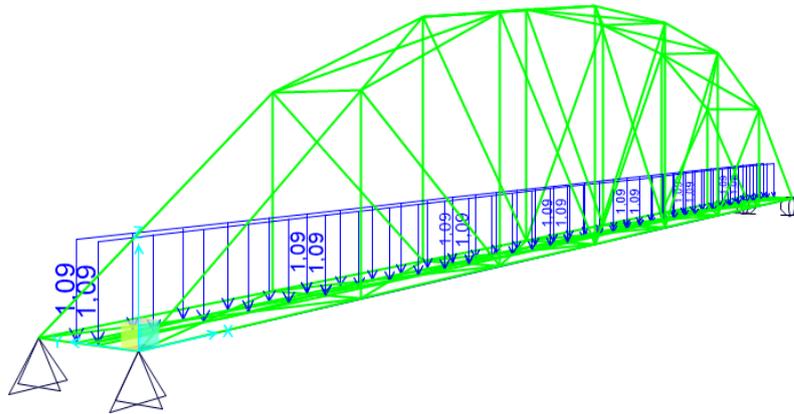
Gambar 3.6: Input beban mati tambahan model 1 pada *software*



Gambar 3.7: Input beban mati tambahan model 2 pada *software*



Gambar 3.8: Input beban mati tambahan model 3 pada *software*



Gambar 3.9: Input beban mati tambahan model 4 pada *software*

3.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Beban hidup didesain bekerja pada as kendaraan (*axle load*). Setiap as kendaraan mendistribusikan beban sebesar 12 ton secara vertikal dengan jarak antar rel adalah 1067 mm.

Secara garis besar, besarnya beban hidup dipengaruhi oleh pembebanan yang berasal dari lokomotif, kereta maupun gerbong.

a. Gaya Lokomotif (*locomotive*)

Jenis lokomotif akan menentukan jumlah bogie dan gandar yang akan mempengaruhi berat beban gandar di atas rel yang dihasilkannya.

b. Gaya Kereta (*car, coach*)

Karakteristik beban kereta dipengaruhi oleh jumlah bogie dan gandar yang digunakan. Selain itu, faktor kenyamanan penumpang dan kecepatan (faktor dinamis) mempengaruhi beban yang dihasilkan.

c. Gaya Gerbong (*wagon*)

Prinsip pembebanan pada gerbong adalah sama dengan lokomotif dan kereta. Meskipun demikian, kapasitas muatan (beban) gerbong sebagai angkutan barang perlu diperhatikan dalam perencanaan beban.

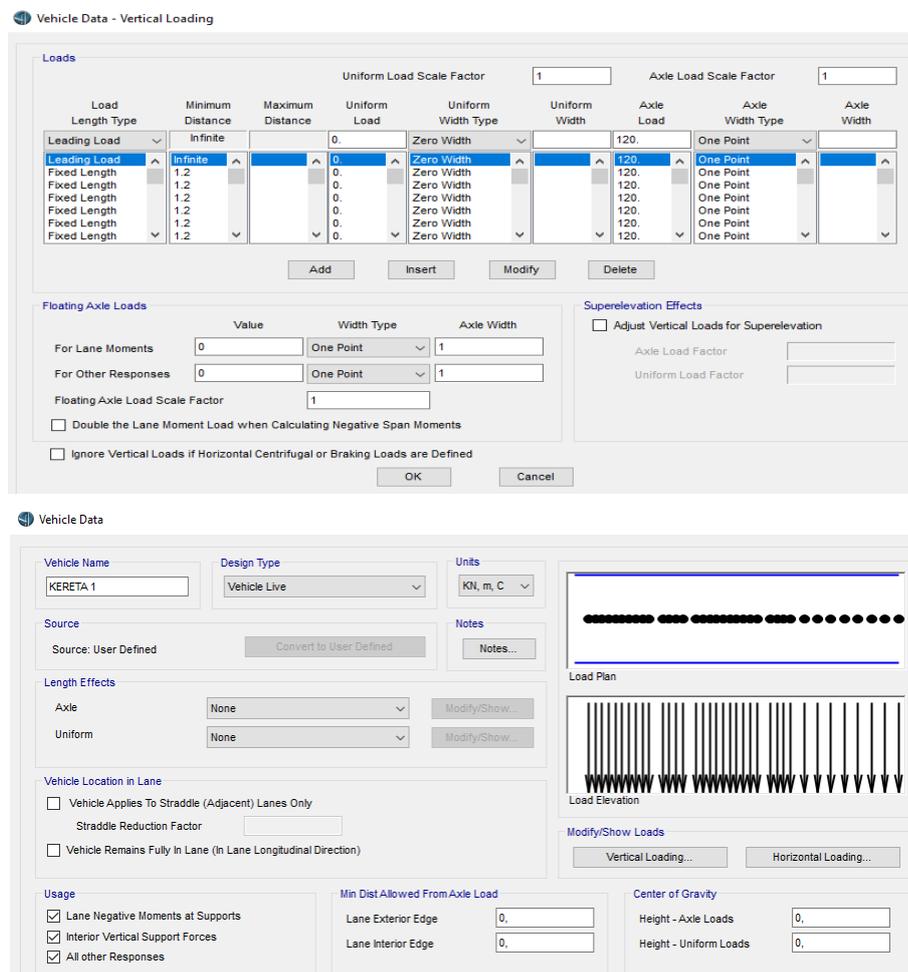
Perhitungan beban hidup yang dihasilkan beban gandar oleh lokomotif, kereta dan gerbong merupakan beban statik, sedangkan pada kenyataannya, beban yang

terjadi pada struktur jalan rel merupakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh faktor aerodinamik yaitu hambatan udara dan beban angin, kondisi geometrik dan kecepatan pergerakan rangkaian kereta api.

Perencanaan beban hidup pada struktur model 1, model 2, model 3 dan model 4 memiliki kombinasi kereta yang tidak berbeda. Beban hidup berupa beban gandar kereta yang terdiri dari 4 model kombinasi yaitu sebagai berikut.

1. Kombinasi 1

Pemodelan beban hidup dari kombinasi dengan susunan Lokomotif – Tender – Lokomotif – Tender – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon



Gambar 3.10: Input beban hidup kombinasi 1 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

2. Kombinasi 2

Pemodelan beban hidup dari kombinasi dengan susunan Lokomotif – Tender – Tender – Lokomotif – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon

Leading Load	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Infinite	Infinite	0	0	Zero Width	120	120	One Point	120
Fixed Length	1.2	0	0	Zero Width	120	120	One Point	120
Fixed Length	1.2	0	0	Zero Width	120	120	One Point	120
Fixed Length	1.2	0	0	Zero Width	120	120	One Point	120
Fixed Length	1.2	0	0	Zero Width	120	120	One Point	120
Fixed Length	1.2	0	0	Zero Width	120	120	One Point	120

Vehicle Name: KERETA 2
Design Type: Vehicle Live
Units: KN, m, C
Source: User Defined
Length Effects: Axle: None, Uniform: None
Vehicle Location in Lane: Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only, Vehicle Remains Fully in Lane (In Lane Longitudinal Direction)
Usage: Lane Negative Moments at Supports, Interior Vertical Support Forces, All other Responses
Min Dist Allowed From Axle Load: Lane Exterior Edge: 0, Lane Interior Edge: 0
Center of Gravity: Height - Axle Loads: 0, Height - Uniform Loads: 0

Gambar 3.11: Input beban hidup kombinasi 2 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

3. Kombinasi 3

Pemodelan beban hidup dari kombinasi dengan susunan Tender – Lokomotif – Lokomotif – Tender – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon

Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1 Axle Load Scale Factor: 1

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Zero Width		120.	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		120.	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		120.	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		120.	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		120.	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		120.	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		120.	One Point	

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	1
For Other Responses	0	One Point	1

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Vehicle Data

Vehicle Name: KERETA 3 Design Type: Vehicle Live Units: KN, m, C

Source: User Defined Notes: Notes...

Length Effects

Axle: None Modify/Show...

Uniform: None Modify/Show...

Vehicle Location in Lane

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only
Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Usage

Lane Negative Moments at Supports

Interior Vertical Support Forces

All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0. Lane Interior Edge: 0.

Center of Gravity

Height - Axle Loads: 0. Height - Uniform Loads: 0.

Load Plan

Load Elevation

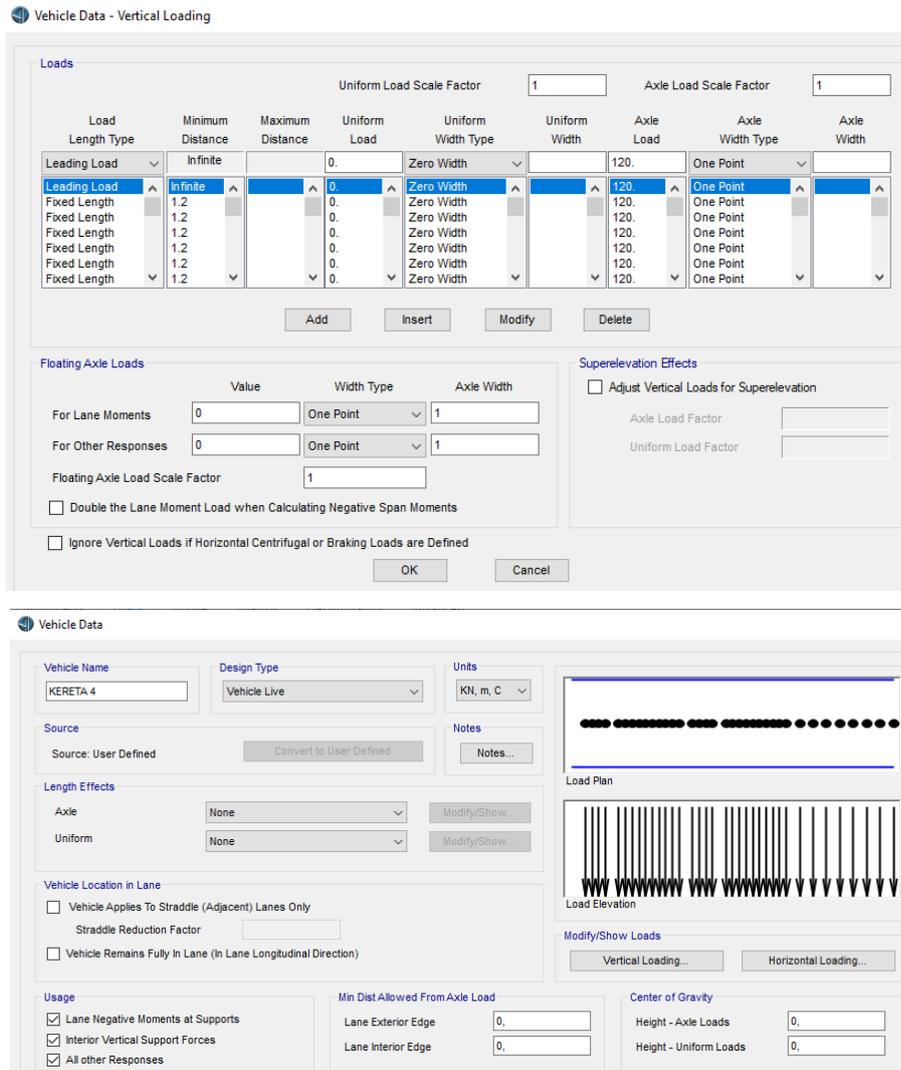
Modify/Show Loads

Vertical Loading... Horizontal Loading...

Gambar 3.12: Input beban hidup kombinasi 3 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

4. Kombinasi 4

Pemodelan beban hidup dari kombinasi dengan susunan Tender – Lokomotif – Tender – Lokomotif – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon



Gambar 3.13: Input beban hidup kombinasi 4 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

3.4.3 Beban Kejut

Beban kejut merupakan beban yang bekerja pada rel dan sejalan dengan beban gandar. Beban kejut diperoleh dari pengalihan antara faktor i dengan beban kereta. Beban kejut akan ditambahkan pada axle load yang bekerja diatas rel dimana distribusi beban kejut ini adalah sama dengan *axle load*. Perhitungan koefisien beban kejut dapat diperoleh sebagai berikut:

$$i = 0,2 + \frac{25}{50 + L}$$

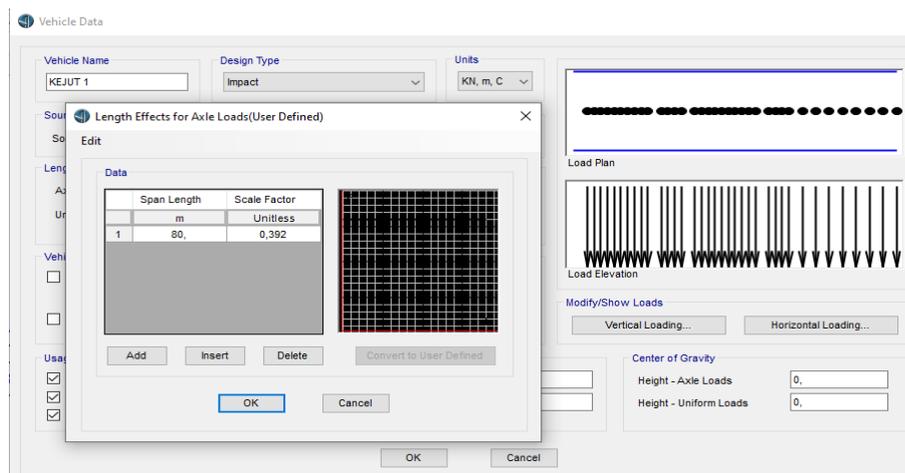
$$i = 0,2 + \frac{25}{50 + 80}$$

$$i = 0,392$$

Perencanaan beban kejut pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 tidak berbeda. Beban kejut memiliki 4 model kombinasi yang mana sesuai dengan beban hidup yang direncanakan.

1. Kombinasi 1

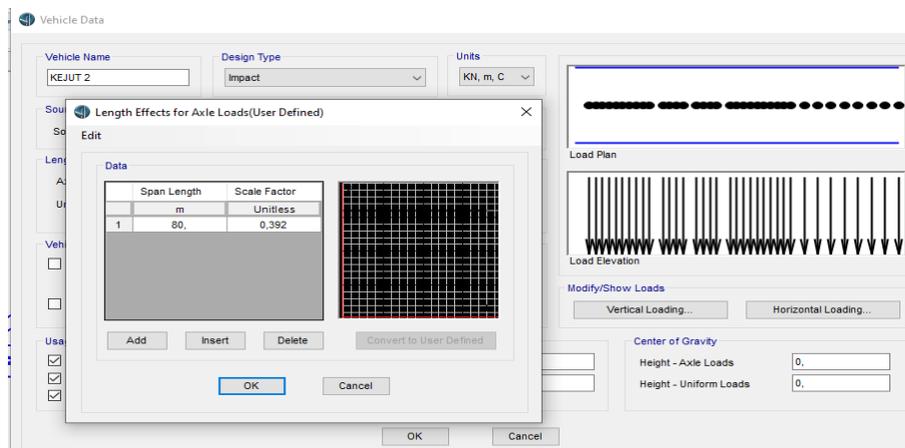
Susunan beban hidup 1 yaitu Lokomotif – Tender – Lokomotif – Tender – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon



Gambar 3.14: Input beban kejut kombinasi 1 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

2. Kombinasi 2

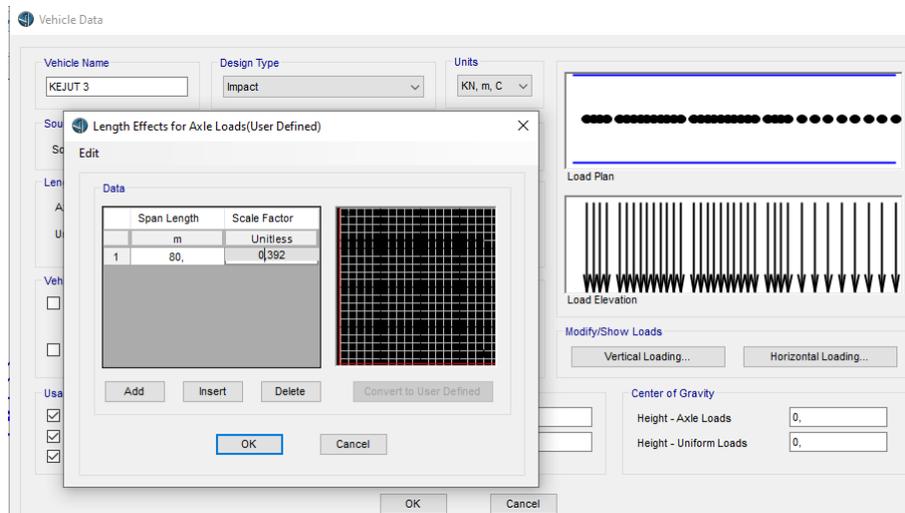
Susunan beban hidup 2 yaitu Lokomotif – Tender – Tender – Lokomotif – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon



Gambar 3.15: Input beban kejut kombinasi 2 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

3. Kombinasi 3

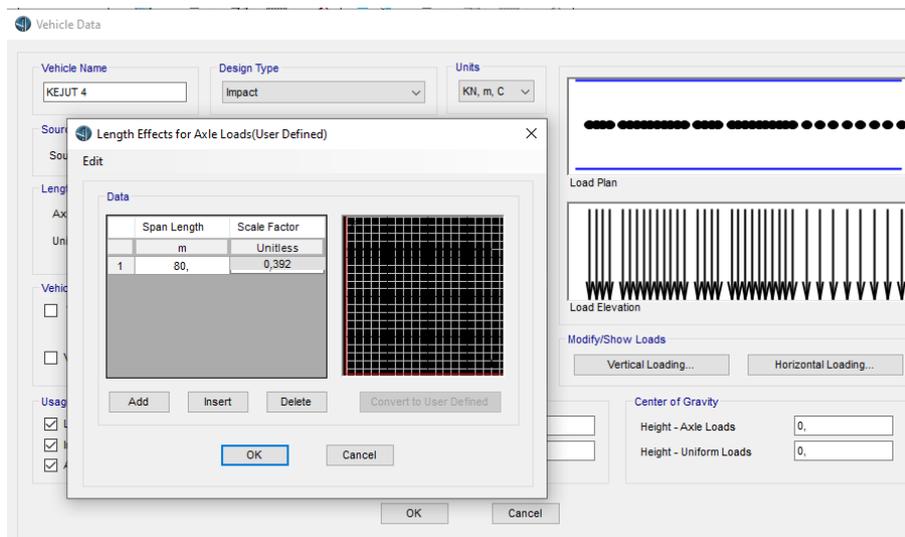
Susunan beban hidup 3 yaitu Tender – Lokomotif – Lokomotif – Tender – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon



Gambar 3.16: Input beban kejut kombinasi 3 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

4. Kombinasi 4

Susunan beban hidup 4 yaitu Tender – Lokomotif – Tender – Lokomotif – Wagon – Wagon – Wagon – Wagon



Gambar 3.17: Input beban kejut kombinasi 4 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*

3.4.4 Beban Lateral Kereta

Gaya lateral dapat menyebabkan tercabutnya penambat yang diakibatkan oleh gaya angkat (*uplift force*), pergeseran pelat andas dan memungkinkan terjadi keluarnya roda kereta dari rel (*derailment*). Untuk mencegah terjadinya itu perlu dihitung beban lateral agar supaya tidak terjadi *derailment*. Besar nilai beban lateral adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau tender.

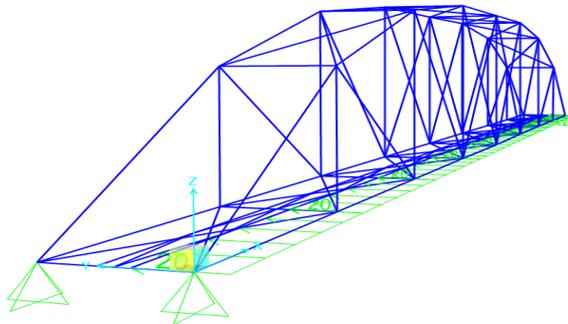
$$Q_{\text{kereta}} = \frac{12 \text{ ton}}{1,2 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{kereta}} = 10 \text{ Ton/m}$$

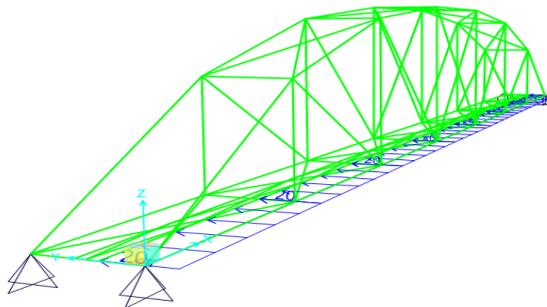
$$Q_{\text{kereta}} = 100 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban lateral} &= 20\% \times 100 \text{ kN/m} \\ &= 20 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

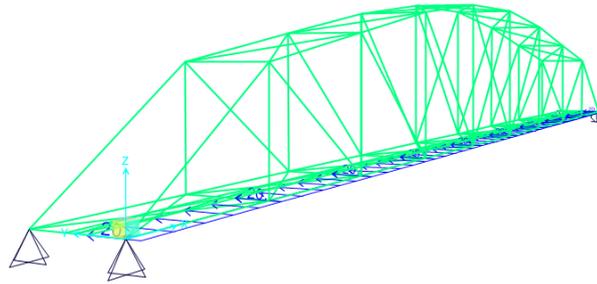
Pada perencanaan beban lateral yang terjadi pada struktur model 1, model 2 dan model 3 nilainya tidak ada perbedaan dikarenakan jumlah beban gandar yang direncanakan sama.



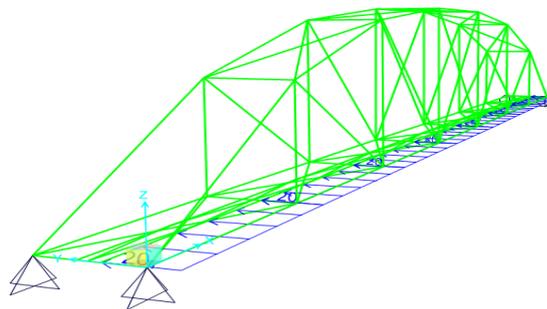
Gambar 3.18: Input beban lateral model 1 pada *software*



Gambar 3.19: Input beban lateral model 2 pada *software*



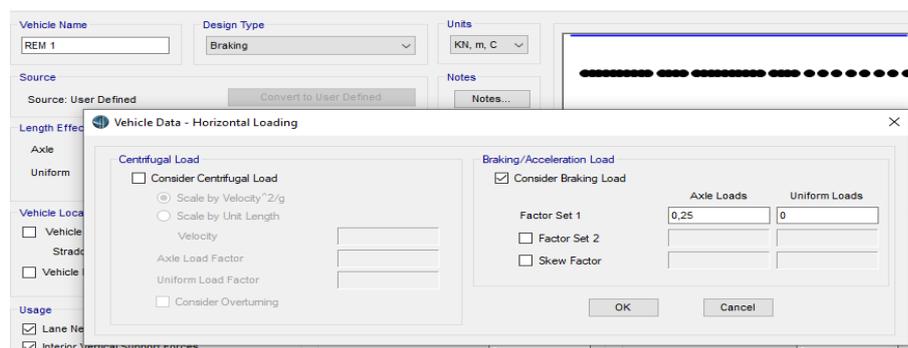
Gambar 3.20: Input beban lateral model 3 pada *software*



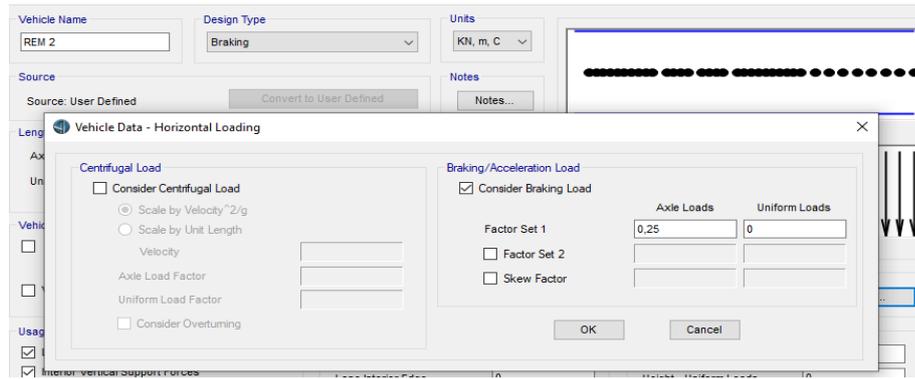
Gambar 3.21: Input beban lateral model 4 pada *software*

3.4.5 Beban Pengereman dan Traksi

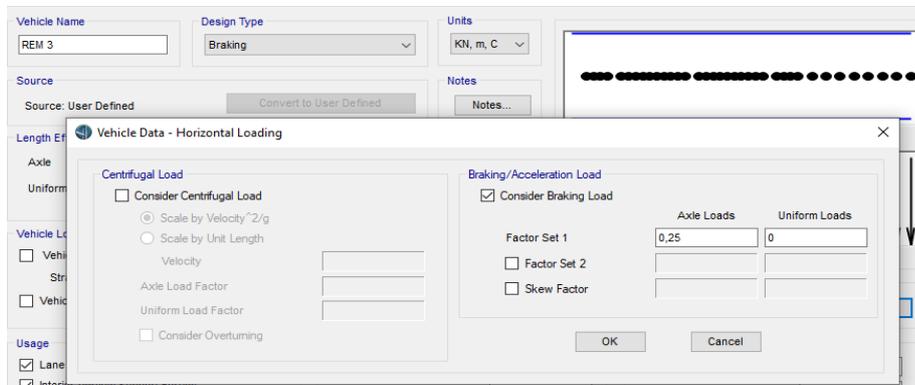
Beban pengereman dan traksi bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel secara longitudinal. Besar nilai beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta.



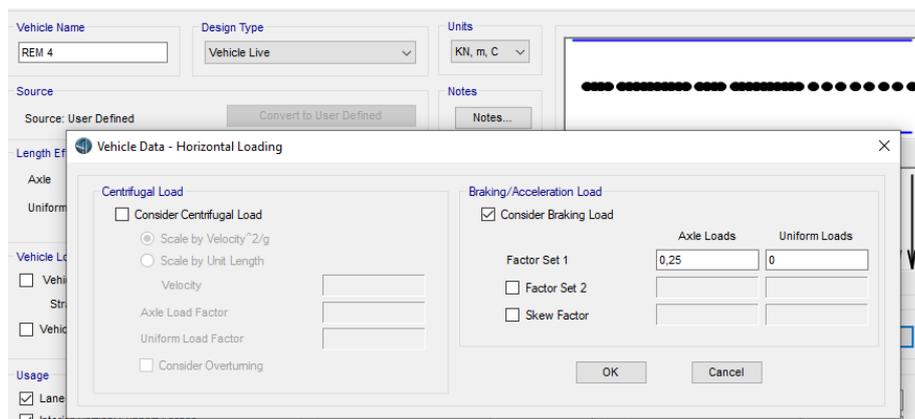
Gambar 3.22: Input beban rem dan traksi kombinasi 1 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada *software*



Gambar 3.23: Input beban rem dan traksi kombinasi 2 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada software



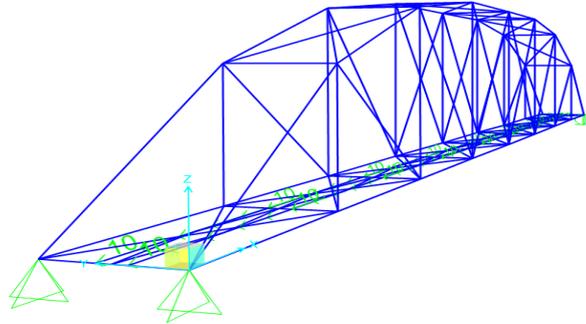
Gambar 3.24: Input beban rem dan traksi kombinasi 3 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada software



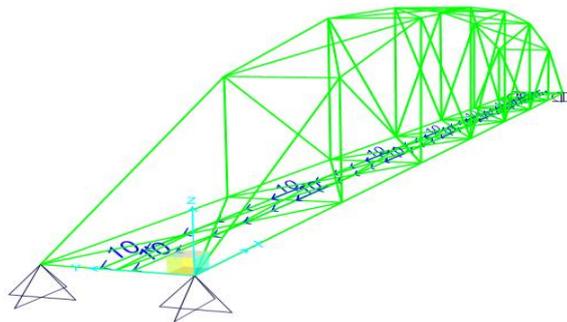
Gambar 3.25: Input beban rem dan traksi kombinasi 4 model 1, model 2, model 3 dan model 4 pada software

3.4.6 Beban Rel Panjang Longitudinal

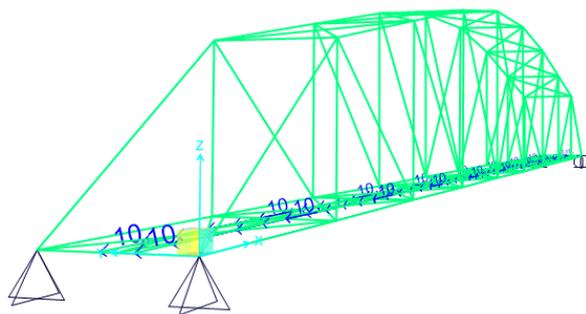
Gaya longitudinal merupakan gaya adhesi (akibat gesekan roda dan kepala rel) dan gaya akibat pengereman roda terhadap rel. Beban rel panjang longitudinal adalah 10 kN/m.



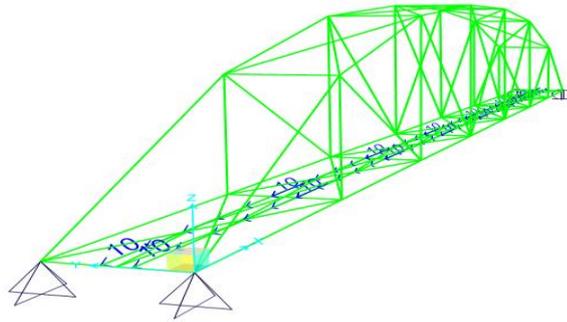
Gambar 3.26: Input beban longitudinal model 1 pada *software*



Gambar 3.27: Input beban longitudinal model 2 pada *software*



Gambar 3.28: Input beban longitudinal model 3 pada *software*



Gambar 3.29: Input beban longitudinal model 4 pada *software*

3.4.7 Beban Angin Pada Jembatan

Beban angin merupakan beban dengan arah melintang horizontal yang terjadi pada setiap batang jembatan. Besar beban yang bekerja pada setiap batang tergantung dari luasan profil yang digunakan.

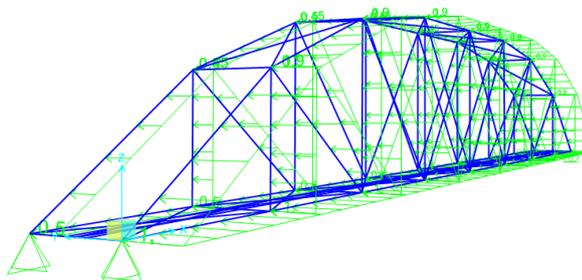
Koefisien beban angin tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012 sebagai berikut:

- a. 2,0 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya.
- b. 0,8 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya.

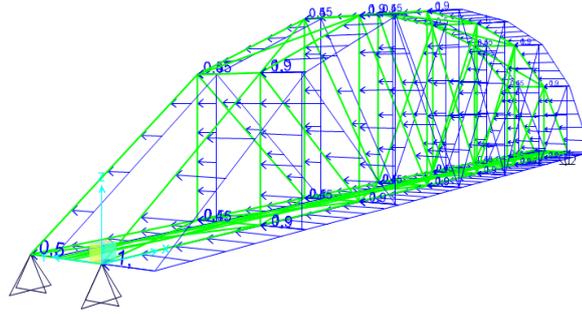
Beban angin yang direncanakan pada model 1, model 2 dan model 3 memiliki nilai yang sama.

$$\begin{aligned}
 \text{Angin datang} &= \text{luas profil} \times \text{koefisien angin} \\
 &= 0,5 \text{ m} \times 2 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

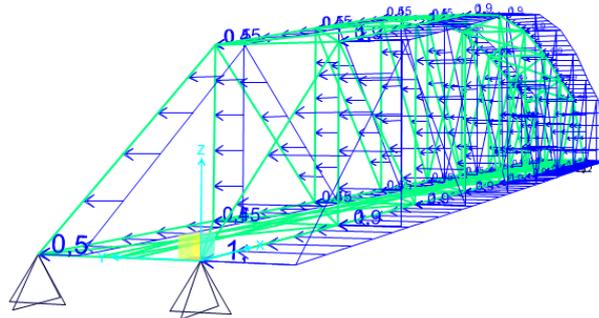
$$\begin{aligned}
 \text{Angin pergi} &= 0,5 \times \text{angin datang} \\
 &= 0,5 \times 1 \text{ kN/m} \\
 &= 0,5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



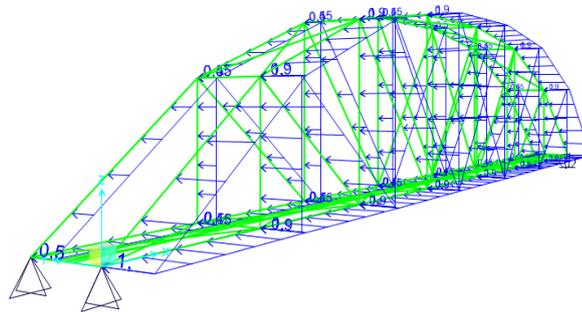
Gambar 3.30: Input beban angin struktur tanpa kereta model 1 pada *software*



Gambar 3.31: Input beban angin struktur tanpa kereta model 2 pada *software*



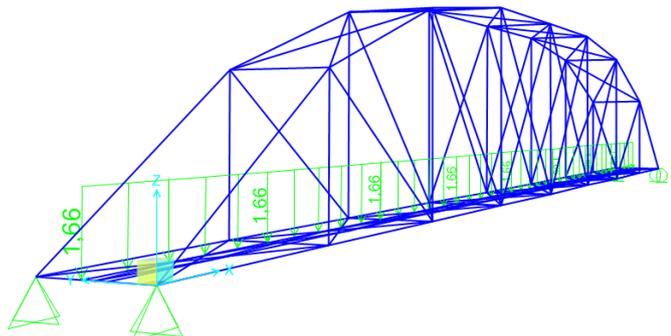
Gambar 3.32: Input beban angin struktur tanpa kereta model 3 pada *software*



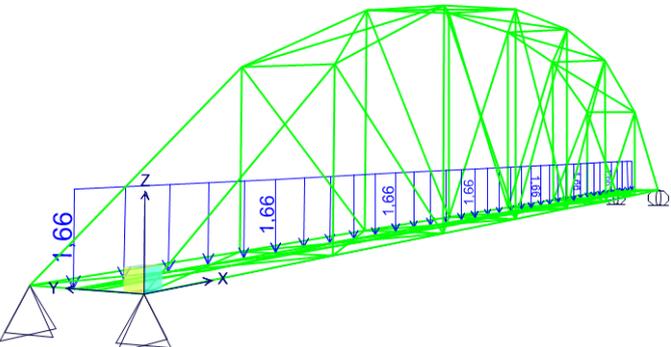
Gambar 3.33: Input beban angin struktur tanpa kereta model 4 pada *software*

Perhitungan beban angin pada struktur jembatan tanpa adanya kereta dengan adanya kereta saat melintas sedikit berbeda. Selain nilai koefisien angin, akibat dari beban angin yang mengenai kereta saat melintasi jembatan maka sebagian sisi kereta akan memberikan tekanan pada salah satu girder.

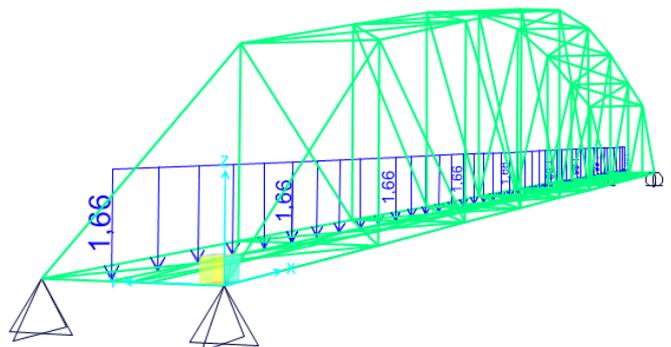
$$\begin{aligned}
 P_{ewt} &= T_{ew} \times \frac{(1,8 + tr + h/2)}{x} \times 0,45 \\
 &= 0,8 \times \frac{(1,8 + 0,159 + 0,5/2)}{1,067} \times 0,45 \\
 &= 1,66 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



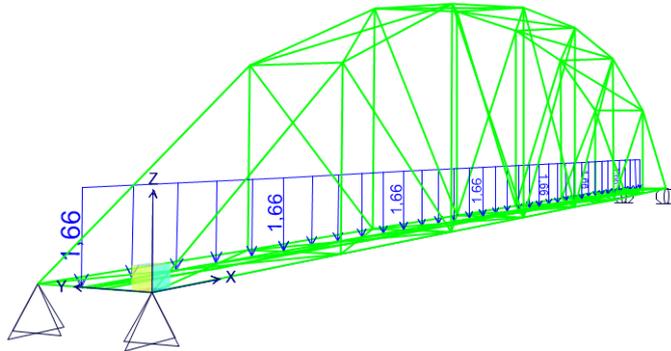
Gambar 3.34: Input beban angin struktur dengan kereta model 1 pada *software*



Gambar 3.35: Input beban angin struktur dengan kereta model 2 pada *software*



Gambar 3.36: Input beban angin struktur dengan kereta model 3 pada *software*



Gambar 3.37: Input beban angin struktur dengan kereta model 4 pada *software*

3.4.8 Beban Gempa

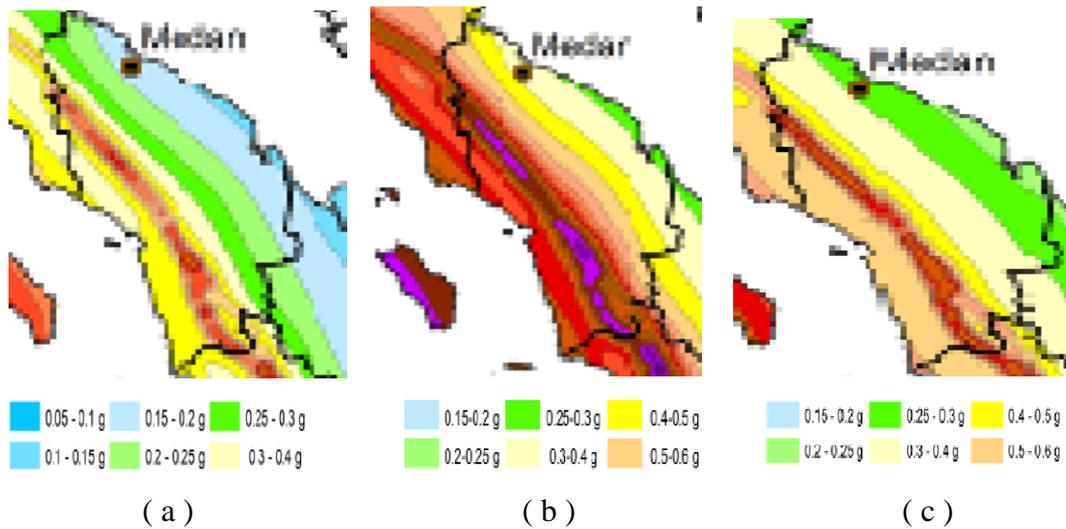
Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (CSM) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formula yang merujuk pada persamaan dalam SNI 2833-2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa.

Diketahui parameter gempa sebagai berikut:

- Lokasi : Medan
- Jenis tanah : Sedang

Maka dari peta gempa gambar 3.44 diperoleh:

- Percepatan puncak di batuan dasar
 $PGA = 0,2 \text{ g}$
- Respon percepatan gempa batuan dasar periode pendek 0,2 detik,
 $S_s = 0,4 \text{ g}$.
- Respon percepatan gempa batuan dasar periode pendek 1,0 detik,
 $S_1 = 0,3 \text{ g}$



Gambar 3.38: a) Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
 b) Peta respon percepatan gempa periode pendek 0,2 detik (Ss)
 c) Peta respon percepatan gempa periode 1 detik (S1).

Parameter untuk jembatan dengan jenis struktur bagian bawah direncanakan tiang baja komposit vertikal, maka dari Tabel 3.2 tentang faktor modifikasi respon bangunan bawah jembatan dalam SNI 2833-2016 diperoleh:

- Faktor reduksi gempa, $R = 1,0$
- Faktor kuat lebih, $\Omega = 1,25$

Parameter lainnya adalah kondisi tanah sedang, maka didalam SNI 2833-2016 tergolong lokasi kelas situs dengan kategori D. Dan kategori bangunan fasilitas publik kategori 3 dengan faktor keutamaan bangunan (I) adalah 1,25.

Tabel 3.2: Faktor modifikasi respon (R)

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan pondasi	1,0

Perhitungan beban gempa vertikal sebagai berikut.

Tabel 3.3: Perhitungan berat struktur model 1

No	Nama struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total
			m	Kg/m	Kg
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	45	361,37	16261,65
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	136,8912	136,25	18651,426
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	178,8848	136,25	24373,054
5	Batang atas	H 500.500.16.32	173,0312	307,93	53281,4974
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	155,6144	282,81	44009,3084
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	150	282,81	42421,5
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	160,9088	69,80	11231,4342
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	35	139,61	4886,35
Jumlah =					309634,62

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T}$$

$$= \frac{0,54}{2,148436289}$$

$$= 0,2513 \text{ detik}$$

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

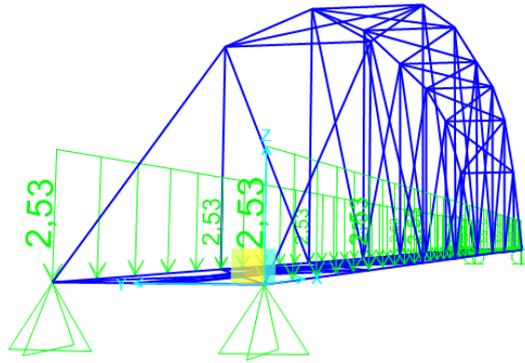
$$EQ = \frac{0,2513}{1,0} \times 40,1583$$

$$EQ = 10,09 \text{ Kn/m}$$

$$EQ_v = (50\% \times EQ)$$

$$= (0,5 \times 10,09)$$

$$= 5,05 \text{ kN/m}$$



Gambar 3.39: Input beban gempa vertikal model 1 pada *software*

Tabel 3.4: Perhitungan berat struktur model 2

No	Nama Struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total
			m	Kg/m	Kg
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	40	361,37	14454,8
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	127,941	136,25	17431,9612
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	160,7004	136,25	21895,4295
5	Batang atas	H 500.500.16.32	174,8992	307,93	53856,7106
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	199,144	282,81	56319,9146
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	142,868	282,81	40404,4990
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	160,7004	69,80	11216,8879
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	30	139,61	4188,3
Jumlah =					314286,903

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T}$$

$$= \frac{0,54}{2,163642761}$$

$$= 0,2496 \text{ detik}$$

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

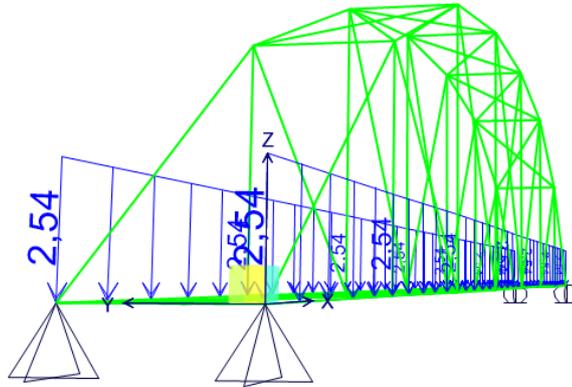
$$EQ = \frac{0,2496}{1,0} \times 40,7287$$

$$EQ = 10,17 \text{ kN/m}$$

$$EQ_v = (50\% \times EQ)$$

$$= (0,5 \times 10,17)$$

$$= 5,08 \text{ kN/m}$$



Gambar 3.40: Input beban gempa vertikal model 2 pada *software*

Tabel 3.5: Perhitungan berat struktur model 3

No	Nama struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total
			m	Kg/m	Kg
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	50	361,37	18068,5
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	143,9038	136,25	19606,8928
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	183,5766	136,25	25012,3118
5	Batang atas	H 500.500.16.32	170,4116	307,93	52474,844
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	203,6132	282,81	57583,8491
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	144,44	282,81	40849,0764
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	161,1504	69,80	11248,2979
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	40	139,61	5584,4
Jumlah =					324918,3038

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T}$$

$$= \frac{0,54}{2,198088373}$$

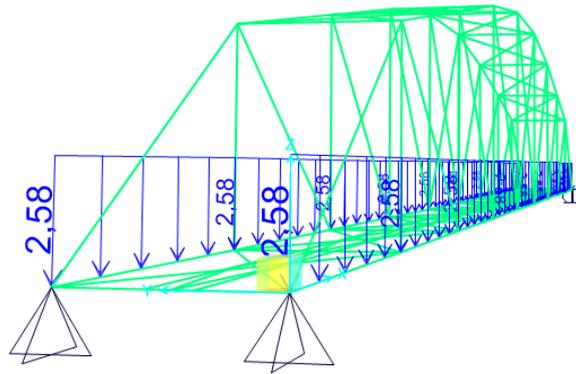
$$= 0,2457 \text{ detik}$$

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times Wt$$

$$EQ = \frac{0,2457}{1,0} \times 42,0359$$

$$EQ = 10,33 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} EQ_v &= (50\% \times EQ) \\ &= (0,5 \times 10,33) \\ &= 5,16 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

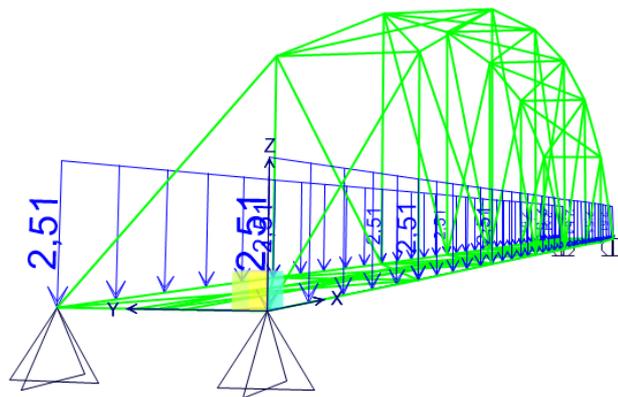


Gambar 3.41: Input beban gempa vertikal model 3 pada *software*

Tabel 3.6: Perhitungan berat struktur model 4

No	Nama Struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total
			m	Kg/m	Kg
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	40	361,37	14454,8
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	127,2042	136,25	17331,545
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	174,6486	136,25	23795,87175
5	Batang atas	H 500.500.16.32	171,6412	307,93	52853,47472
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	186,5776	282,81	52766,01106
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	125	282,81	35351,25
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	160,7004	69,80	11216,8879
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	30	139,61	4188,3
Jumlah =					306476,5404

$$\begin{aligned}
C_{sm} &= \frac{SD1}{T} \\
&= \frac{0,54}{2,13805215} \\
&= 0,2526 \text{ detik} \\
EQ &= \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \\
EQ &= \frac{0,2526}{1,0} \times 39,7710 \\
EQ &= 10,04 \text{ kN/m} \\
EQ_v &= (50\% \times EQ) \\
&= (0,5 \times 10,04) \\
&= 5,02 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$



Gambar 3.42: Input beban gempa vertikal model 4 pada *software*

3.4.9 Beban Temperatur

Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang dan bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Besar nilai temperatur dapat dihitung sebagai berikut.

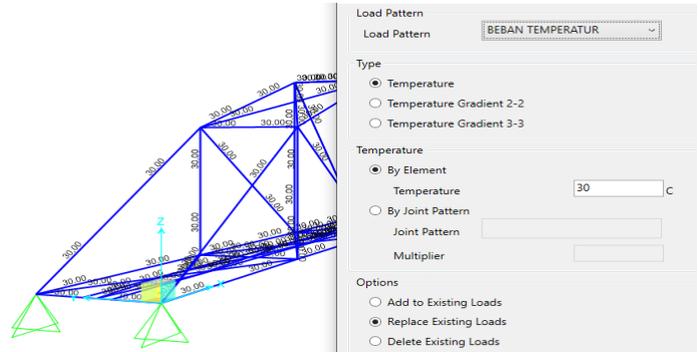
$$\begin{aligned}
T_{desain} &= T_{max} - T_{min} \\
T_{desain} &= 45^{\circ} - 15^{\circ} \\
&= 30^{\circ} \text{ C} \\
\Delta T &= \alpha L \times (T_{max} - T_{min})
\end{aligned}$$

$$= 0,000012 \times 80000 \times 30$$

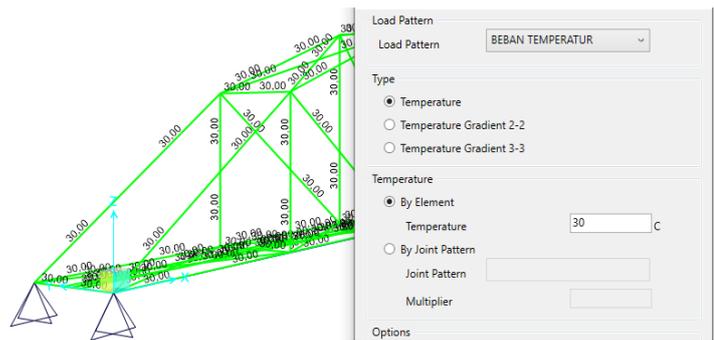
$$= 28,8 \text{ mm}$$

$$= 0,0288 \text{ m}$$

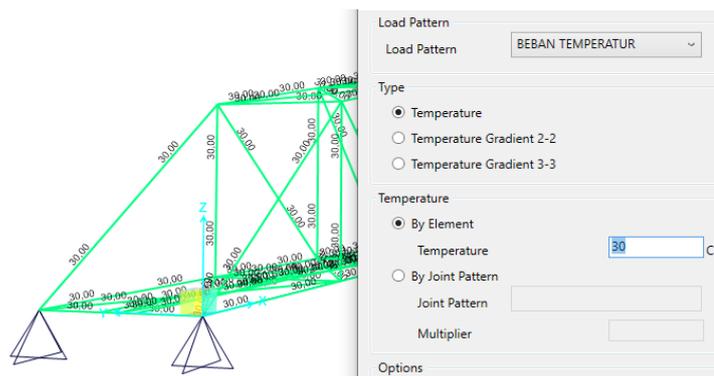
Perencanaan beban temperatur pada model 1, model 2 dan model 3 sama.



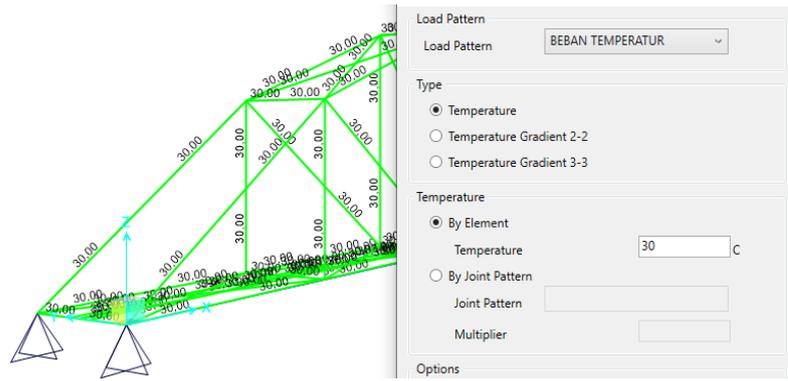
Gambar 3.43: Input beban temperatur model 1 pada *software*



Gambar 3.44: Input beban temperatur model 2 pada *software*



Gambar 3.45: Input beban temperatur model 3 pada *software*



Gambar 3.46: Input beban temperatur model 4 pada *software*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan membahas tentang hasil studi dan membandingkan hasil analisis struktur atas jembatan *camel back truss* dari *software* dengan perbandingan model 1 dengan model 2 yang memiliki jumlah segmen dan tinggi yang berbeda dengan bentang 80 m.

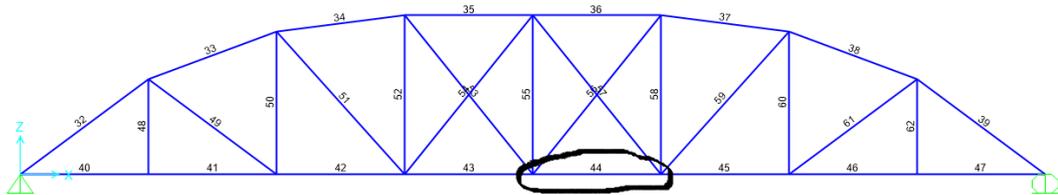
4.2 Hasil Analisis Gaya Aksial dan Garis Pengaruh (*Influence*)

Gaya aksial merupakan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap batang secara vertikal. Gaya aksial yang bekerja akan menghasilkan gaya tarik dan gaya tekan pada suatu batang.

Garis pengaruh merupakan suatu garis yang menunjukkan besarnya pengaruh dari suatu muatan untuk setiap perubahan reaksi, momen ataupun gaya lintang akibat gaya terpusat yang bekerja pada titik tertentu dalam sebuah struktur.

4.2.1 Hasil Analisis Model 1

Gaya aksial tarik maksimum akibat kombinasi kuat I terjadi pada batang 44. Besar nilai aksial tarik adalah 4415,28 kN. Letak posisi gaya aksial Tarik maksimum dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1: Letak posisi gaya aksial tarik model 1

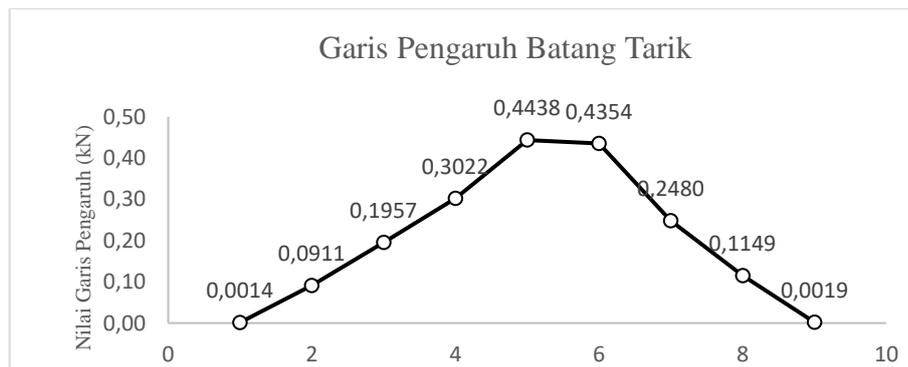
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.1 dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1: Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 1

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0	0,0014
2	10	0,0911
3	20	0,1957
4	30	0,3022
5	40	0,4438
6	50	0,4354
7	60	0,2480
8	70	0,1149
9	80	0,0019

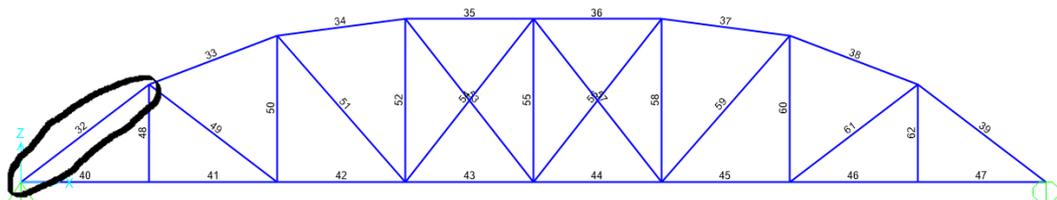
Garis pengaruh terbesar terjadi di station 5 pada jarak 40 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah 0,4438 kN.

Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tarik dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2: Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 1

Sedangkan aksial tekan maksimum akibat kombinasi kuat 1 terjadi pada batang 32. Besar nilai aksial tekan adalah -6958,37 kN. Letak posisi gaya aksial tekan maksimum dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3: Letak posisi gaya aksial tekan model 1

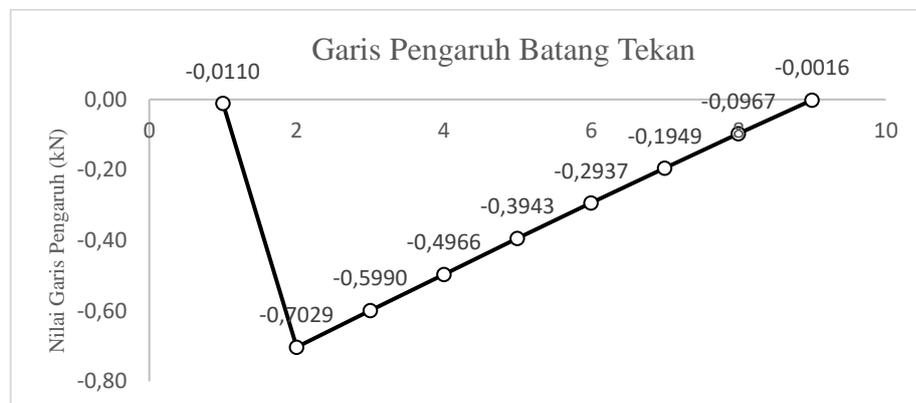
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.3 dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2: Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 1

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0	-0,0110
2	10	-0,7029
3	20	-0,5990
4	30	-0,4966
5	40	-0,3943
6	50	-0,2937
7	60	-0,1949
8	70	-0,0967
9	80	-0,0016

Garis pengaruh terbesar terjadi di station 2 pada jarak 10 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah -0,7029 kN.

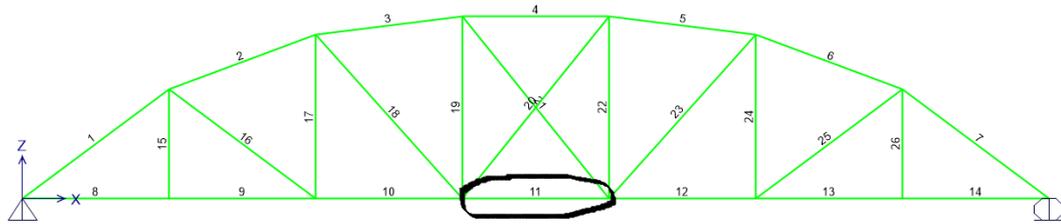
Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tekan dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4: Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 1

4.2.2 Hasil Analisis Model 2

Gaya aksial tarik maksimum terjadi pada batang 11. Besar nilai aksial tarik adalah 3782,63 kN. Letak posisi gaya aksial tarik maksimum dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5: Letak posisi gaya aksial tarik model 2

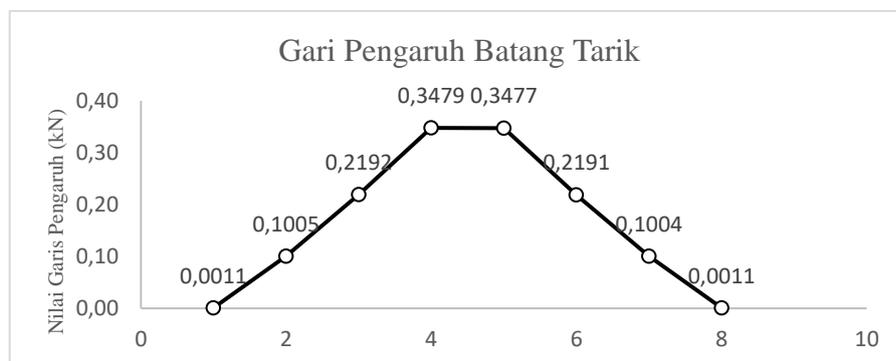
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.5 dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3: Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 2

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0,000	0,0011
2	11,429	0,1005
3	22,858	0,2192
4	34,287	0,3479
5	45,716	0,3477
6	57,145	0,2191
7	68,574	0,1004
8	80,000	0,0011

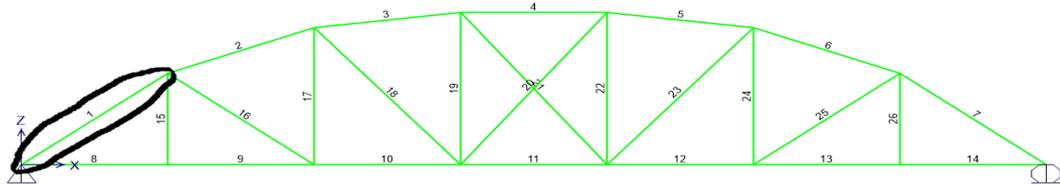
Garis pengaruh terbesar terjadi di station 4 pada jarak 34,287 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah 0,3479 kN.

Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tarik dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6: Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 2

Sedangkan aksial tekan maksimum akibat kombinasi kuat I terjadi pada batang 1. Besar nilai aksial tekan adalah -6739,26 kN. Letak posisi gaya aksial tekan maksimum dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7: Letak posisi gaya aksial tekan model 2

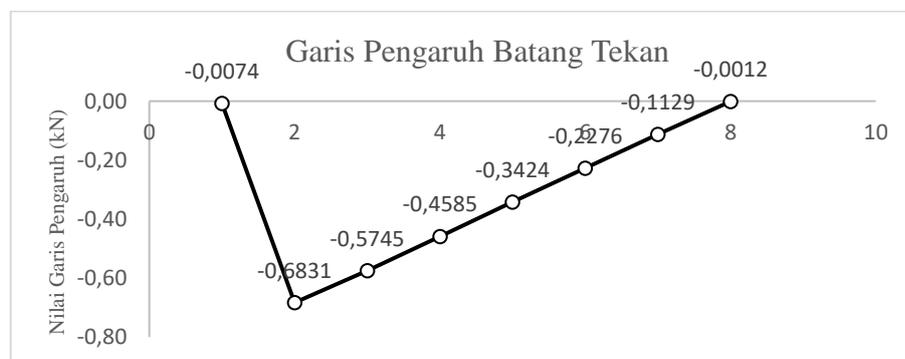
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.7 dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4: Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 2

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0,000	-0,0074
2	11,429	-0,6831
3	22,858	-0,5745
4	34,287	-0,4585
5	45,716	-0,3424
6	57,145	-0,2276
7	68,574	-0,1129
8	80,000	-0,0012

Garis pengaruh terbesar terjadi di station 2 pada jarak 11,429 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah -0,6831 kN.

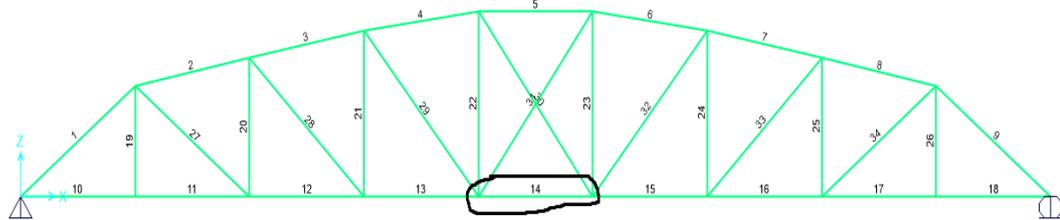
Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tekan dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8: Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 2

4.2.3 Hasil Analisis Model 3

Gaya aksial tarik maksimum akibat kombinasi kuat I terjadi pada batang 14. Besar nilai aksial tarik adalah 4876,53 kN. Letak posisi gaya aksial tarik maksimum dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9: Letak posisi gaya aksial tarik model 3

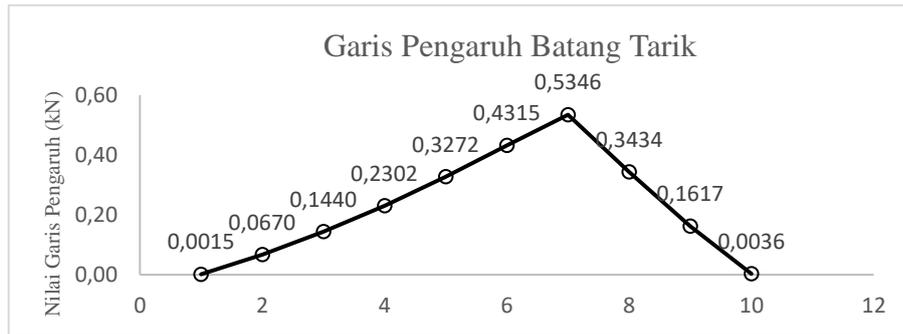
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.9 dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5: Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 3

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0	0,0015
2	8,889	0,0670
3	17,778	0,1440
4	26,667	0,2302
5	35,556	0,3272
6	44,445	0,4315
7	53,334	0,5346
8	62,223	0,3434
9	71,112	0,1617
10	80,000	0,0036

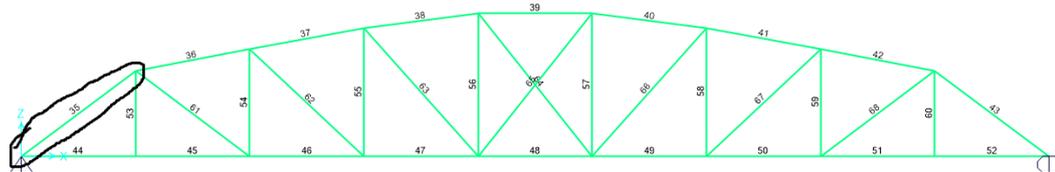
Garis pengaruh terbesar terjadi di station 7 pada jarak 53,334 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah 0,5346 kN.

Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tarik dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10: Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 3

Sedangkan aksial tekan maksimum akibat kombinasi kuat I terjadi pada batang 35. Besar nilai aksial tekan adalah -6725,66 kN. Letak posisi gaya aksial tekan maksimum dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11: Letak posisi gaya aksial tekan model 3

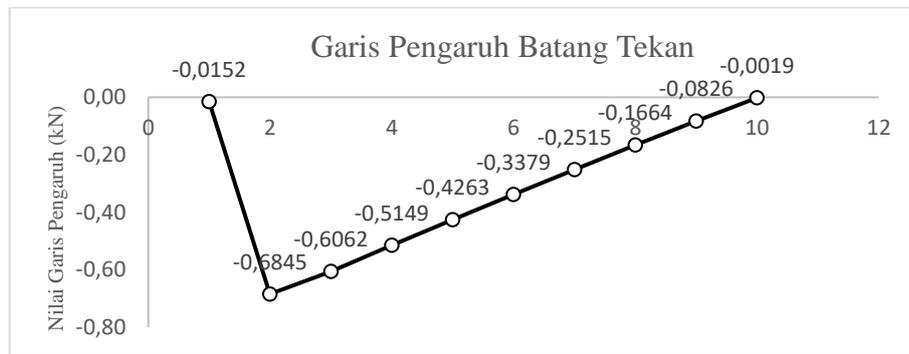
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.11 dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6: Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 3

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0	-0,0152
2	8,889	-0,6845
3	17,778	-0,6062
4	26,667	-0,5149
5	35,556	-0,4263
6	44,445	-0,3379
7	53,334	-0,2515
8	62,223	-0,1664
9	71,112	-0,0826
10	80,000	-0,0019

Garis pengaruh terbesar terjadi di station 2 pada jarak 8,889 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah -0,6845 kN.

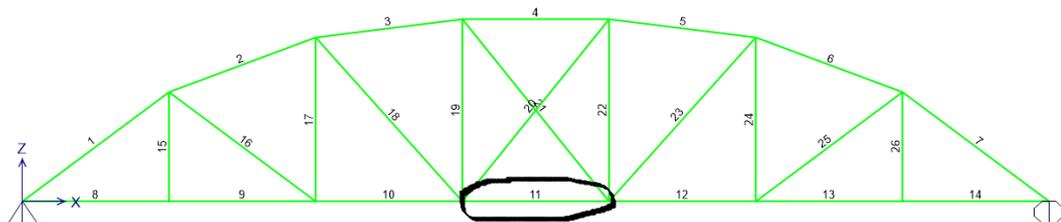
Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tekan dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12: Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 3

4.2.4 Hasil Analisis Model 4

Gaya aksial tarik maksimum akibat kombinasi kuat I terjadi pada batang 11. Besar nilai aksial tarik adalah 4041,68 kN. Letak posisi gaya aksial tarik maksimum dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13: Letak posisi gaya aksial tarik model 4

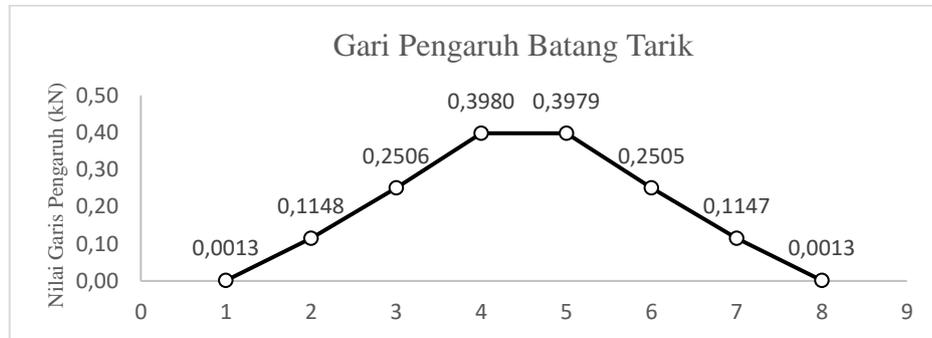
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.13 dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7: Nilai garis pengaruh pada batang tarik model 4

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0,000	0,0013
2	11,429	0,1148
3	22,858	0,2506
4	34,287	0,3980
5	45,716	0,3979
6	57,145	0,2505
7	68,574	0,1147
8	80,000	0,0013

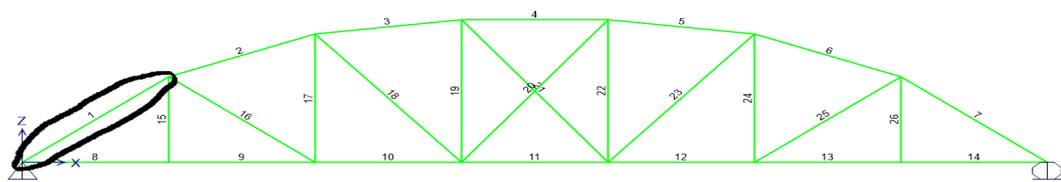
Garis pengaruh terbesar terjadi di station 4 pada jarak 34,287 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah 0,3980 kN.

Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tarik dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14: Grafik garis pengaruh pada batang tarik model 4

Sedangkan aksial tekan maksimum akibat kombinasi kuat I terjadi pada batang 1. Besar nilai aksial tekan adalah -7153,1 kN. Letak posisi gaya aksial tekan maksimum dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15: Letak posisi gaya aksial tekan model 4

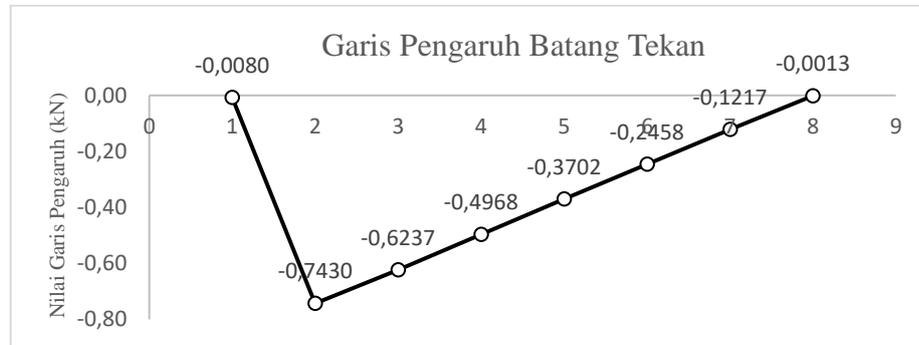
Untuk mengetahui nilai garis pengaruh yang terjadi pada gambar 4.15 dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8: Nilai garis pengaruh pada batang tekan model 4

Station	Jarak (m)	Garis Pengaruh (kN)
1	0,000	-0,0080
2	11,429	-0,7430
3	22,858	-0,6237
4	34,287	-0,4968
5	45,716	-0,3702
6	57,145	-0,2458
7	68,574	-0,1217
8	80,000	-0,0013

Garis pengaruh terbesar terjadi di station 2 pada jarak 11,429 m. Besarnya nilai garis pengaruh adalah -0,7430 kN.

Grafik garis pengaruh yang terjadi pada batang tekan dapat dilihat pada gambar 4.16.



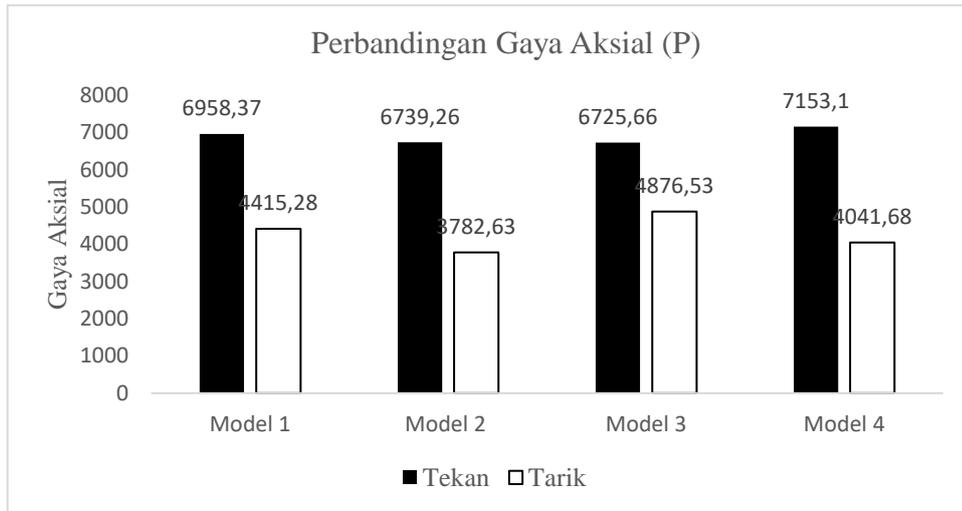
Gambar 4.16: Grafik garis pengaruh pada batang tekan model 4

Hasil analisis gaya aksial yang terjadi pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9: Nilai gaya aksial akibat kombinasi kuat I

Struktur	Gaya Aksial (P)	
	Tekan	Tarik
Model 1	6958,37	4415,28
Model 2	6739,26	3782,63
Model 3	6725,66	4876,53
Model 4	7153,10	4041,68

Perbandingan nilai gaya aksial tekan dan gaya aksial tarik model 1, model 2, model 3 dan model 4 dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17: Grafik nilai gaya aksial (P) akibat kombinasi kuat 1

Gaya aksial tekan terbesar terjadi pada model 4 yaitu 7153,1 kN. Sedangkan gaya aksial tarik terbesar terjadi pada model 3 yaitu 4876,53 kN. Hal ini dikarenakan pengaruh dari tinggi struktur jembatan dan pembagian segmen yang dilakukan.

4.3 Hasil Analisis Lendutan Akibat Kombinasi Daya Layan I

Syarat lendutan yang harus dipenuhi adalah lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan batas izin. Persyaratan lendutan yang terjadi pada rangka jembatan dan gelagar jembatan tidak boleh melebihi syarat yang terdapat pada PM.60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api, dimana lendutan yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui syarat lendutan ijin seperti berikut.

$$1. \text{ Lendutan gelagar, } \delta = \frac{L}{700}$$

$$\delta = \frac{8000}{700}$$

$$\delta = 11,428 \text{ cm}$$

$$2. \text{ Lendutan rangka, } \delta = \frac{L}{1000}$$

$$\delta = \frac{8000}{1000}$$

$$\delta = 8 \text{ cm}$$

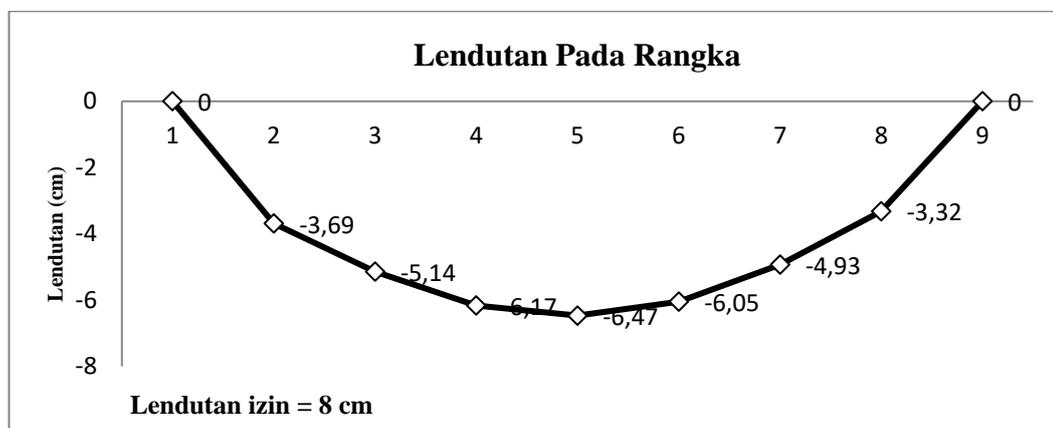
4.6.1 Hasil Analisis Model 1

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 1 dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 1

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,25	
2	-3,69	-3,71	
3	-5,14	-5,16	
4	-6,17	-6,28	
5	-6,47	-6,66	Maksimum
6	-6,05	-6,29	
7	-4,93	-5,18	
8	-3,32	-3,61	
9	0,00	-0,25	

Nilai lendutan maksimum pada model 1 dapat dilihat pada tabel 4.10. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I terjadi pada titik 5. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -6,47 cm.



Gambar 4.18: Grafik lendutan rangka pada model 1

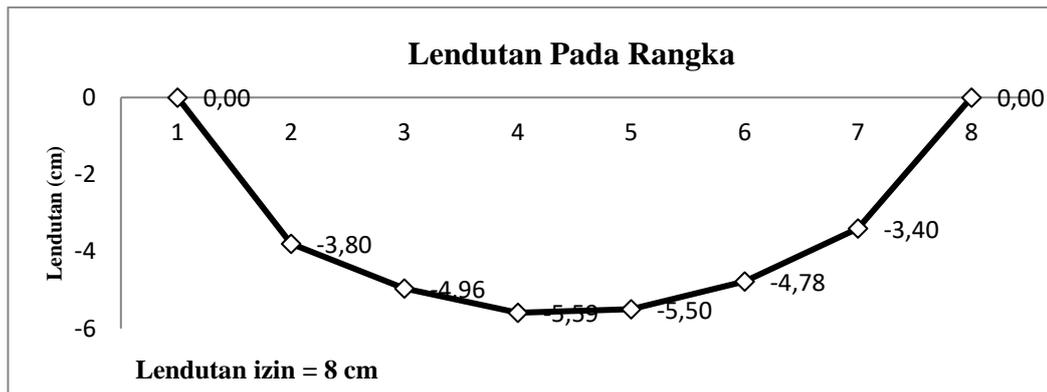
4.6.2 Hasil Analisis Model 2

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 2 dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 2

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,26	
2	-3,80	-3,73	
3	-4,96	-5,11	
4	-5,59	-5,81	Maksimum
5	-5,50	-5,81	
6	-4,78	-5,10	
7	-3,40	-3,73	
8	0,00	-0,26	

Nilai lendutan maksimum pada model 2 dapat dilihat pada tabel 4.11. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I terjadi pada titik 4. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -5,59 cm.



Gambar 4.12: Grafik lendutan rangka pada model 2

4.6.3 Hasil Analisis Model 3

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 3 dapat dilihat pada tabel 4.12.

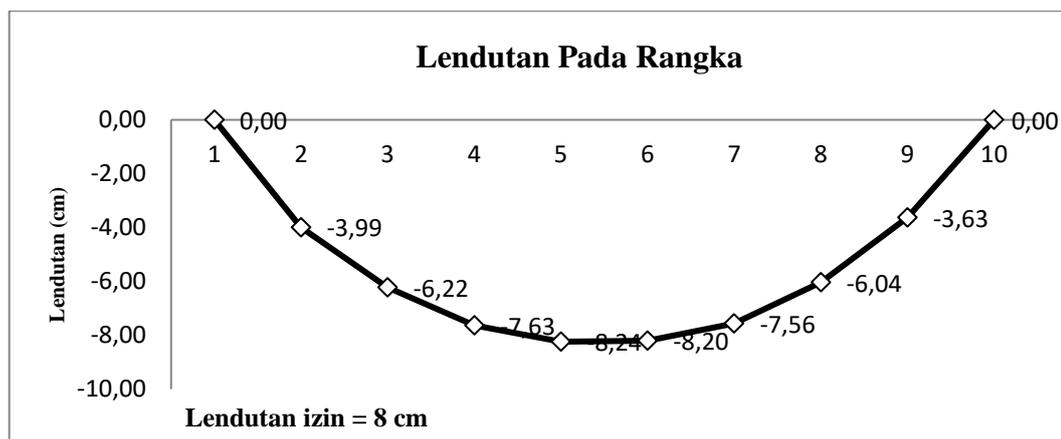
Tabel 4.12: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 3

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,26	
2	-3,99	-3,85	
3	-6,22	-6,29	

Tabel 4.12: Lanjutan

4	-7,63	-7,79	
5	-8,24	-8,45	Maksimum
6	-8,20	-8,46	
7	-7,56	-7,80	
8	-6,04	-6,30	
9	-3,87	-3,87	
10	0,00	-0,26	

Nilai lendutan maksimum pada model 3 dapat dilihat pada tabel 4.12. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I terjadi pada titik 5. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -8,24 cm.



Gambar 4.20: Grafik lendutan rangka pada model 3

4.6.4 Hasil Analisis Model 4

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 2 dapat dilihat pada tabel 4.13.

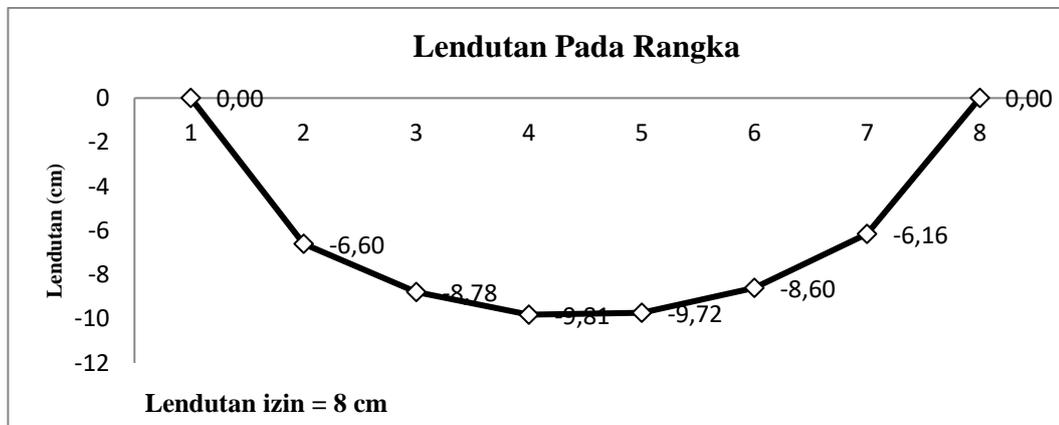
Tabel 4.13: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 4

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,29	
2	-6,60	-6,49	
3	-8,78	-8,93	

Tabel 4.13: *Lanjutan*

4	-9,81	-10,01	Maksimum
5	-9,72	-10,03	
6	-8,60	-8,92	
7	-6,16	-6,47	
8	0,00	-0,29	

Nilai lendutan maksimum pada model 4 dapat dilihat pada tabel 4.13. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I terjadi pada titik 4. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -9,81 cm.



Gambar 4.21: Grafik lendutan rangka pada model 4

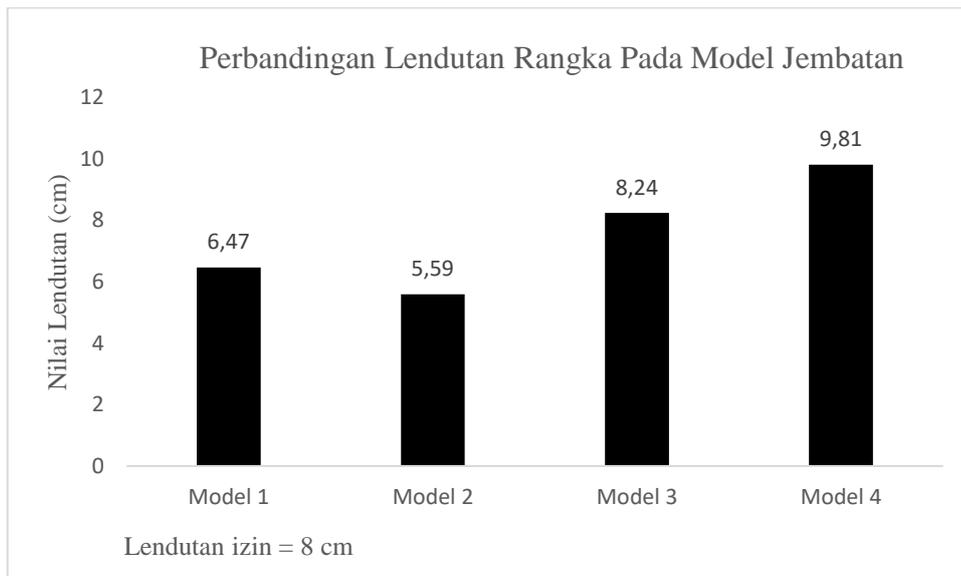
Perbandingan nilai lendutan maksimum pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dapat dilihat pada tabel 4.14.

Table 4.14: Lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I

Jenis Model	Lendutan maksimum (cm)		Lendutan izin (cm)		keterangan	
	Gelagar	Rangka	Gelagar	Rangka	Gelagar	Rangka
Model 1	6,66	6,47	11,428	8,00	OK	OK
Model 2	5,81	5,59	11,428	8,00	OK	OK
Model 3	8,45	8,24	11,428	8,00	OK	NO OK
Model 4	10,01	9,81	11,428	8,00	OK	NO OK

Dari tabel 4.14 diketahui nilai lendutan maksimum yang diperoleh bervariasi. Nilai lendutan gelagar yang terjadi pada semua model lebih kecil dari lendutan izin maka syarat pada semua model telah terpenuhi. Sedangkan nilai lendutan rangka pada model 3 dan model 4 lebih besar dari lendutan izin maka syarat pada kedua model belum terpenuhi.

Untuk memperjelas perbandingan lendutan rangka yang terjadi pada model jembatan dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22: Perbandingan lendutan rangka pada model jembatan akibat daya layan I

4.4 Hasil Analisis Lendutan Akibat Kombinasi Daya Layan II

Syarat lendutan yang harus dipenuhi adalah lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan batas izin. Persyaratan lendutan yang terjadi pada rangka jembatan dan gelagar jembatan tidak boleh melebihi syarat yang terdapat pada PM.60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api, dimana lendutan yang terjadi akibat kombinasi daya layan tidak boleh melampaui syarat lendutan ijin seperti berikut.

$$1. \text{ Lendutan gelagar, } \delta = \frac{L}{700}$$

$$\delta = \frac{8000}{700}$$

$$\delta = 11,428 \text{ cm}$$

$$2. \text{ Lendutan rangka, } \delta = \frac{L}{1000}$$

$$\delta = \frac{8000}{1000}$$

$$\delta = 8 \text{ cm}$$

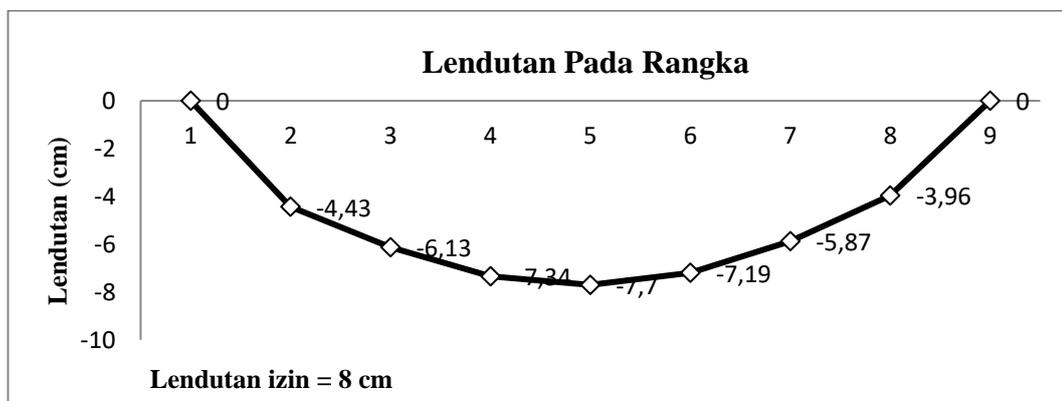
4.4.1 Hasil Analisis Model 1

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 1 dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 1

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,31	
2	-4,43	-4,45	
3	-6,13	-6,15	
4	-7,34	-7,47	
5	-7,70	-7,93	Maksimum
6	-7,19	-7,49	
7	-5,87	-6,18	
8	-3,96	-4,32	
9	0,00	-0,31	

Nilai lendutan maksimum pada model 1 dapat dilihat pada tabel 4.15. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II terjadi pada titik 5. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -7,70 cm.



Gambar 4.23: Grafik lendutan rangka pada model 1

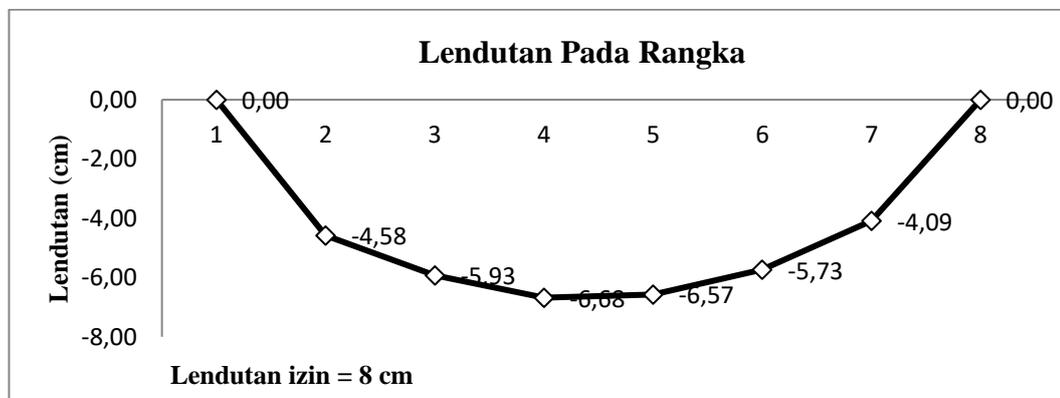
4.4.2 Hasil Analisis Model 2

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 2 dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 2

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,33	
2	-4,58	-4,47	
3	-5,93	-6,11	
4	-6,68	-6,95	Maksimum
5	-6,57	-6,96	
6	-5,73	-6,13	
7	-4,09	-4,50	
8	0,00	-0,33	

Nilai lendutan maksimum pada model 2 dapat dilihat pada tabel 4.16. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II terjadi pada titik 4. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -6,68 cm.



Gambar 4.24: Grafik lendutan rangka pada model 2

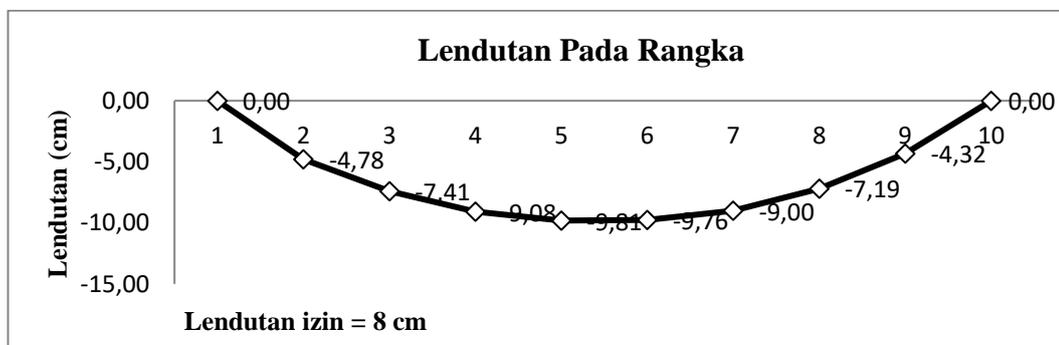
4.4.3 Hasil Analisis Model 3

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 3 dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 3

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,32	
2	-4,78	-4,58	
3	-7,41	-7,50	
4	-9,08	-9,28	
5	-9,81	-10,07	Maksimum
6	-9,76	-10,08	
7	-9,00	-9,30	
8	-7,19	-7,53	
9	-4,32	-4,63	
10	0,00	-0,32	

Nilai lendutan maksimum pada model 3 dapat dilihat pada tabel 4.17. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II terjadi pada titik 5. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -9,81 cm.



Gambar 4.25: Grafik lendutan rangka pada model 3

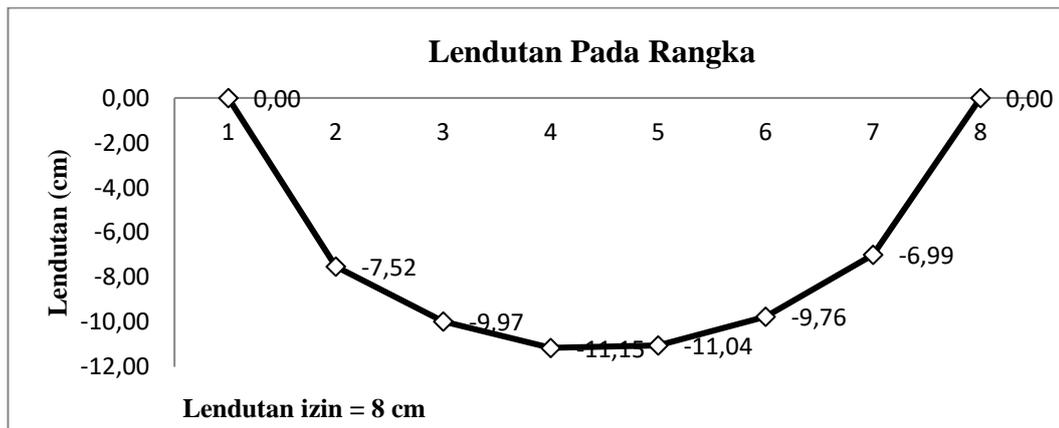
4.4.4 Hasil Analisis Model 4

Nilai lendutan yang terjadi pada setiap titik model 2 dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18: Lendutan yang terjadi di setiap titik pada model 4

Titik	Lendutan (cm)		Keterangan
	Rangka	Gelagar	
1	0,00	-0,36	
2	-7,52	-7,36	
3	-9,97	-10,15	
4	-11,15	-11,42	Maksimum
5	-11,04	-11,43	
6	-9,76	-10,16	
7	-6,99	-7,37	
8	0,00	-0,36	

Nilai lendutan maksimum pada model 4 dapat dilihat pada tabel 4.18. Nilai lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II terjadi pada titik 4. Besar lendutan pada struktur rangka adalah -11,15 cm.



Gambar 4.26: Grafik lendutan rangka pada model 4

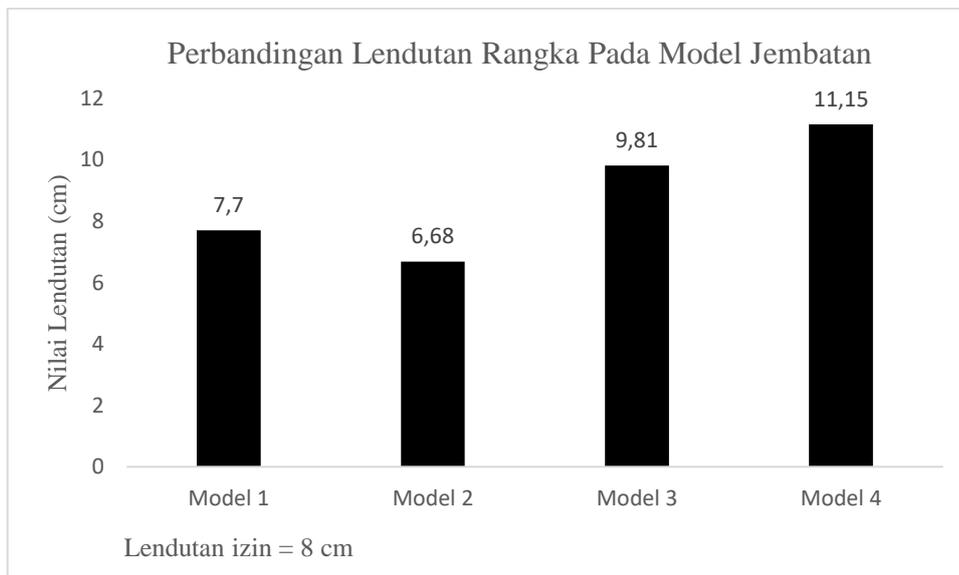
Perbandingan nilai lendutan maksimum pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dapat dilihat pada tabel 4.19.

Table 4.19: Lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II

Jenis Model	Lendutan maksimum (cm)		Lendutan izin (cm)		keterangan	
	Gelagar	Rangka	Gelagar	Rangka	Gelagar	Rangka
Model 1	7,93	7,70	11,428	8,00	OK	OK
Model 2	6,95	6,68	11,428	8,00	OK	OK
Model 3	10,07	9,81	11,428	8,00	OK	NO OK
Model 4	11,42	11,15	11,428	8,00	NO OK	NO OK

Dari tabel 4.19 diketahui nilai lendutan maksimum yang diperoleh bervariasi. Nilai lendutan gelagar pada model 1, model 2 dan model 3 lebih kecil dari lendutan izin maka syarat pada ketiga model telah terpenuhi. Sedangkan pada model 4 belum memenuhi lendutan izin. Nilai lendutan rangka pada model 1 dan model 2 lebih kecil dari lendutan izin maka syarat pada kedua model sudah terpenuhi. Sedangkan pada model 3 dan model 4 lendutan pada rangka belum memenuhi syarat izin.

Untuk memperjelas perbandingan lendutan rangka yang terjadi pada model jembatan dapat dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.27: Perbandingan lendutan rangka pada model jembatan akibat daya layan II

4.5 Hasil Analisis Volume Jembatan

4.6.1 Hasil Analisis Model 1

Berat struktur model 1 dapat dilihat pada tabel 4.20. Pada tabel tersebut akan ditampilkan rekapitulasi perhitungan berat struktur jembatan.

Tabel 4.20: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 1

No	Nama Struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total	Volume = berat/7850
			m	Kg/m		Kg
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	45	361,37	16261,65	2,0715
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6	5,7643
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	136,8912	136,25	18651,426	2,3760
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	178,8848	136,25	24373,054	3,1048
5	Batang atas	H 500.500.16.32	173,0312	307,93	53281,4974	6,7875
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8	6,2763
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	155,6144	282,81	44009,3084	5,6063
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	150	282,81	42421,5	5,4040
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	160,9088	69,80	11231,4342	1,4308
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	35	139,61	4886,35	0,6225
Jumlah =					309634,62	39,4439

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.20 model 1 diperoleh berat strukturnya sebesar 309634,62 Kg atau 3096,3462kN dan memiliki volume sebesar 39,4439 m³.

4.6.2 Hasil Analisis Model 2

Berat struktur model 2 dapat dilihat pada tabel 4.21. Pada tabel tersebut akan ditampilkan rekapitulasi perhitungan berat struktur jembatan.

Tabel 4.21: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 2

No	Nama Struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total	Volume = berat/7850
			m	Kg/m	Kg	kg/m ³ m ³
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	40	361,37	14454,8	1,8414
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6	5,7643
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	127,941	136,25	17431,9612	2,2206
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	160,7004	136,25	21895,4295	2,7892
5	Batang atas	H 500.500.16.32	174,8992	307,93	53856,7106	6,8607
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8	6,2763
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	199,144	282,81	56319,9146	7,1745
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	142,868	282,81	40404,4990	5,1471
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	160,7004	69,80	11216,8879	1,4289
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	30	139,61	4188,3	0,5335
Jumlah =					314286,9028	40,0365

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.21 model 2 diperoleh berat strukturnya sebesar 314286,9028 Kg atau 3142,869 kN dan memiliki volume sebesar 40,0365 m³.

4.6.3 Hasil Analisis Model 3

Berat struktur model 3 dapat dilihat pada tabel 4.22. Pada tabel tersebut akan ditampilkan rekapitulasi perhitungan berat struktur jembatan.

Tabel 4.22: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 3

No	Nama struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total	Volume = berat/7850
			m	Kg/m	Kg	m ³
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	50	361,37	18068,5	2,3017
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6	5,7643
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	143,7038	136,25	19606,8928	2,4942
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	183,5766	136,25	25012,3118	3,1863
5	Batang atas	H 500.500.16.32	170,4116	307,93	52474,844	6,6847
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8	6,2763
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	203,6096	282,81	57582,8309	7,3355
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	144,44	282,81	40849,0764	5,2037
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	161,1504	69,80	11248,2979	1,4329
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	40	139,61	5584,4	0,7114
Jumlah =					324918,3038	41,3945

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.22 model 3 diperoleh berat strukturnya sebesar 324918,3038 Kg atau 3249, 183 kN dan memiliki volume sebesar 41,3945 m³.

4.6.4 Hasil Analisis Model 4

Berat struktur model 4 dapat dilihat pada tabel 4.23. Pada tabel tersebut akan ditampilkan rekapitulasi perhitungan berat struktur jembatan.

Tabel 4.23: Rekapitulasi berat struktur jembatan model 4

No	Nama Struktur	Profil	Panjang total	Berat per meter	Berat total	Volume = berat/7850
			m	Kg/m	Kg	m ³
1	Gelagar melintang	WF 800.450.16.38	40	361,37	14454,8	1,8414
2	Gelagar memanjang	WF 500.450.16.32	160	282,81	45249,6	5,7643
3	Ikatan angin atas	H 400.400.12.19	127,2042	136,25	17331,5723	2,2078
4	Ikatan angin bawah	H 400.400.12.19	174,6486	136,25	23795,8718	3,0313
5	Batang atas	H 500.500.16.32	171,6412	307,93	52853,4747	6,7329
6	Batang bawah	H 500.500.16.32	160	307,93	49268,8	6,2763
7	Batang diagonal	WF 500.450.16.32	186,5776	282,81	52766,0111	6,7218
8	Batang vertikal	WF 500.450.16.32	125	282,81	35351,25	4,5033
9	Bracing bawah	WF 300.200.9.16	160,7004	69,80	11216,8879	1,4289
10	Batang melintang atas	WF 400.350.12.19	30	139,61	4188,3	0,5335
Jumlah =					306476,5404	39,0416

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.23 model 4 diperoleh berat strukturnya sebesar 306476,5404 Kg atau 3064,7654 kN dan memiliki volume sebesar 39,0416 m³.

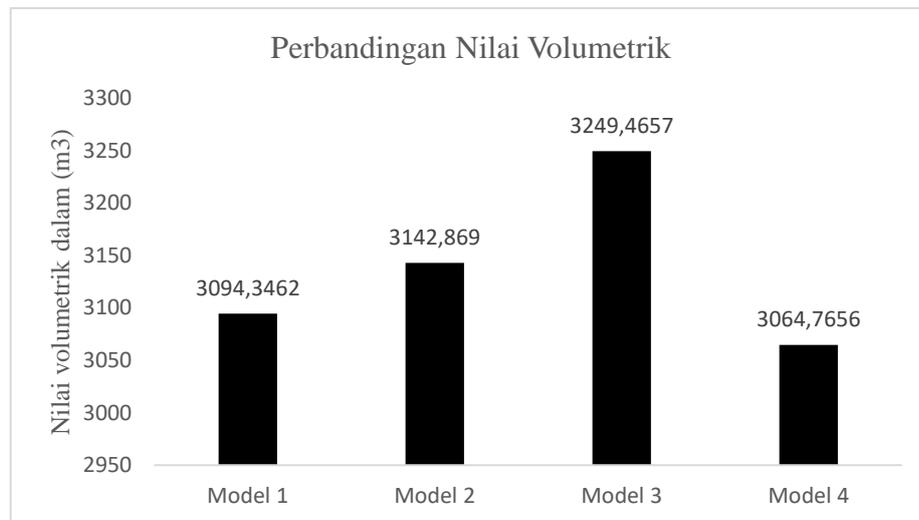
Untuk memperjelas perbandingan berat dan volume struktur pada semua model dapat dilihat pada tabel 4.24

Tabel 4.24: Perbandingan berat dan volume struktur

Nama	Berat Struktur (Kg)	Volume Struktur (m ³)
Model 1	309634,6201	39,4439
Model 2	314286,9030	40,0365
Model 3	324946,5719	41,3945
Model 4	306476,5677	39,0416

Berdasarkan tabel 4.24 dapat dilihat berat dan volume struktur pada model 3 memiliki nilai yang paling besar. Hal ini dikarenakan pada model 3 memiliki rangka yang lebih banyak dibandingkan dengan model 1, model 2 dan model 4.

Perbandingan nilai volumetrik maksimum pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.28: Grafik nilai volumetrik pada model jembatan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada jembatan *camel back truss* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai-nilai gaya aksial dan garis pengaruh yang terjadi pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dari hasil analisis didapat sebagai berikut:
 - Model 1 memiliki gaya aksial tekan maksimum sebesar 6958,37 kN dan memiliki nilai garis pengaruh maksimum sebesar 0,7029 kN. Gaya aksial tarik maksimumnya sebesar 4415,28 kN dan memiliki garis pengaruh maksimum sebesar 0,4438 kN.
 - Model 2 memiliki gaya aksial tekan maksimum sebesar 6739,26 kN dan memiliki nilai garis pengaruh maksimum sebesar 0,6831 kN. Gaya aksial tarik maksimumnya sebesar 3782,63 kN dan memiliki garis pengaruh maksimum sebesar 0,3479 kN.
 - Model 3 memiliki gaya aksial tekan maksimum sebesar 6725,66 kN dan memiliki nilai garis pengaruh maksimum sebesar 0,6845 kN. Gaya aksial tarik maksimumnya sebesar 4876,53 kN dan memiliki garis pengaruh maksimum sebesar 0,5346 kN.
 - Model 4 memiliki gaya aksial tekan maksimum sebesar 7153,10 kN dan memiliki nilai garis pengaruh maksimum sebesar 0,7430 kN. Gaya aksial tarik maksimumnya sebesar 4041,68 kN dan memiliki garis pengaruh maksimum sebesar 0,3980 kN.
 - Gaya aksial tekan terbesar terjadi pada model 4 yaitu 7153,10 kN dan gaya tarik terbesar terjadi pada model 3 yaitu 4876,53 kN.
2. Lendutan yang terjadi pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dari hasil analisis didapat sebagai berikut:
 - Lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan I
 - o Model 1 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 6,47 cm dan pada gelagar sebesar 6,66 cm.

- Model 2 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 5,59 cm dan pada gelagar sebesar 5,81 cm.
- Model 3 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 8,24 cm dan pada gelagar sebesar 8,45 cm.
- Model 4 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 9,81 cm dan pada gelagar sebesar 10,01 cm.
- Lendutan pada rangka terbesar terjadi pada model 4 yaitu 9,81 cm.
- Lendutan maksimum akibat kombinasi daya layan II
 - Model 1 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 7,70 cm dan pada gelagar sebesar 7,93 cm.
 - Model 2 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 6,68 cm dan pada gelagar sebesar 6,95 cm.
 - Model 3 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 9,81 cm dan pada gelagar sebesar 10,07 cm.
 - Model 4 memiliki lendutan maksimum pada rangka sebesar 11,15 cm dan pada gelagar sebesar 11,42 cm.
 - Lendutan pada rangka terbesar terjadi pada model 4 yaitu 11,15
- 3. Volumetrik yang diperoleh pada model 1, model 2, model 3 dan model 4 dari hasil analisis didapat sebagai berikut:
 - Model 1 memiliki berat sebesar 3096,3462 kN dan volumetrik sebesar 39,4439 m³.
 - Model 2 memiliki berat sebesar 3142,869 kN dan volumetrik sebesar 40,0365 m³.
 - Model 3 memiliki berat sebesar 3249,4657 kN dan volumetrik sebesar 41,3945 m³.
 - Model 4 memiliki berat sebesar 3064,7656 kN dan volumetrik sebesar 39,0416 m³.
 - Volumetrik terbesar terjadi pada model 3 yaitu 41,3945 m³.

5.2 Saran

Dalam laporan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dalam pengerjaannya. Berikut merupakan saran untuk memperbaiki perencanaan

jembatan kereta api sehingga kedepannya didapatkan hasil yang lebih baik dan maksimal.

1. Untuk analisa jembatan kereta api tipe *camel back truss* selanjutnya diharapkan menganalisis lebih dari 1 jalur kereta. Disini penulis hanya menganalisis 1 jalur kereta.
2. Melakukan analisa dan perbandingan terhadap tipe jembatan selain *camel back truss* untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam perencanaan konstruksi jembatan kereta api.

Pentingnya mengikuti seminar atau pelatihan mengenai analisis dan perencanaan jembatan agar dapat memahami standar ataupun peraturan-peraturan yang berkaitan dengan desain jembatan kereta api.

DAFTAR PUSTAKA

- Syamsudin.Andi Darma.Eko Azis Aminudin.2015.*Perencanaan Struktur Bangunan Atas jembatan Rangka Baja A-60 M Di Kabupaten Supiori Provinsi Papua.*
- Hikma Dewita. B, Linda Supriantini, Harry Wibisono.2016.*Perencanaan Struktur Atas Jembatan Kedaung-Jenggot Di Kabupaten Tangerang Dengan Menggunakan Rangka Baja.*
- Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833:2016).*
- Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016).*
- Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (RSNI T-03-2005).*
- Reissa Rachmania.2017.*Perencanaan Struktur Atas Jembatan Trough Pratt Truss Tiga Tumpuan.* Rekayasa Teknik.Sipil.Vol 3.
- Muhammad Ridha, Khairul Miswar.2016.*Perencanaan Struktur Rangka Atas Jembatan Rangka Baja Pada Gampong Leubok Pempeng Kecamatan Peureulak Kabupaten Aceh Timur.*
- Siswo Hadi Murdoko, Karyoto.2017. *Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan Busur Rangka Baja.*
- Aditya Wahyu Erlangga.Dadang Sanjaya Atmaja.Puspita Dewi.2017. *Perancangan Superstructure Jembatan Kereta Api Bentang 100 Meter Tipe Rangka Baja.*Jurnal Perkeretaapian Indonesia.Vol I.
- Persyaratan Teknis Jalur Kereta.*Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm. 60 Tahun 2012 Tentang.

LAMPIRAN



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor/1835/IL3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Sipil Pada Tanggal 11 November 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN
NPM : 1607210143
Program Studi : TEKNIK Sipil
Semester : VII (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN
RANGKA BAJA DENGAN BENTANG 80 METER TIPE CAMEL
BACK TRUSS

Pembimbing -I : TONDI AMIRSYAH PUTERA ST. MT
Pembimbing II :

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Sipil
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 14 Rabiul Awal 1441 H
11 Nopember 2019 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar ST. MT
NIDN : 0101017202

Cc. File



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 Jl. Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN
 NPM : 1607210143
 Jurusan : Teknik Sipil
 Judul TA : Analisa Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang 80 Meter Tipe Camel Back Truss (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	20/12-2019	- Buat Model Struktur - Buat Draft Analisis Sambungan moment (software)	
2	1/02-2020	- Definisi pembebanan	
3	24/1-2020	- Beban gandar - Beban yang diinput sepanjang jembatan	
4	7/3-2020	- Beban ram dan Ardi - Beban lejit - Beban lateral - Penginputan beban	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putra, ST, MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN
 NPM : 1607210143
 Jurusan : Teknik Sipil
 Judul TA : Analisa Perencanaan Struktuk Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang 80 Meter Tipe Camel Back Truss (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
5	02/11-2020	<ul style="list-style-type: none"> - Beban laferal - Beban Kereta - Beban longitudinal - Beban Angin - Beban gempa - Input Pembebanan 	
6	11/11-2020	<ul style="list-style-type: none"> - tjuuan diperbesar - Lembar Bal - IV - Bal III → perbaiki 	
7	11/11-2020	<p>Seminan profeso</p> <p>Au</p>	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putra, ST, MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Mughtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN

NPM : 1607210143

Jurusan : Teknik Sipil

Judul TA : Analisa Perencanaan Struktuk Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang
80 Meter Tipe *Camel Back Truss* (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	26/11-2020	- Tambah per modelan - Coba model yang lain	
2	9/2-2021	- Analisis Space Frame - Batang di pisah - Lendutan - Analisis Space Truss	
3	25/2-2021	- Kombinasi - Input beban	
4	3/3-2021	- Kombi Pembebanan - Input Pembebanan	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putra, ST, MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN
 NPM : 1607210143
 Jurusan : Teknik Sipil
 Judul TA : Analisa Perencanaan Struktuk Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang
 80 Meter Tipe *Camel Back Truss* (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	5/3 - 2021	Pengaktifan beban rem dan kejut Profil	
	12/3 - 2021	Release profil Beban Angin Sumbu Minor Lanjut Bab <u>IV</u>	
	6/4 - 2021		
	20/4 - 2021	- Perbaiki Caporan - Perbaiki penyimpukan beban	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putra, ST, MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN
 NPM : 1607210143
 Jurusan : Teknik Sipil
 Judul TA : Analisa Perencanaan Struktuk Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang
 80 Meter Tipe *Camel Back Truss* (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	4/05 - 2021	- Garis pengaruh - Lengkapi Laporan	
	28/05 - 2021	- Perbaiki Laporan	
	29/5 - 2021	Ace Seminar Hasil	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putra, ST, MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN

NPM : 1607210143

Jurusan : Teknik Sipil

Judul TA : Analisa Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang
80 Meter Tipe *Camel Back Truss* (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
①	7/9-2021	Aa mont Dordenglem	

DOSEN PEMBIMBING

(Tondi Amirsyah Putra, ST, MT)



FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan Kapten Muchtar Basri, BA No. 3 20238 Telp (061)6619056
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rector@umsu.ac.id

NAMA : ANDRI FAUZI HASIBUAN
NPM : 1607210143
JUDUL : ANALISA PERERENCANAAN STRUKTUR ATAS
JEMBATANRANGKA BAJA DENGAN BENTANG 80 METER
TIPE CAMEL BACK TRUSS (STUDI LITERATUR)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		<i>Doc telah dikoreksi & diperbaiki!</i>	<i>adp</i> 24

DOSEN PENGUJI - I,

(Dr. ADE FAISAL, S.T., M.Sc.)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : ANDRI FAUZI HASIBUAN
NPM : 1607210143
Jurusan : Teknik Sipil
Judul TA : Analisa Perencanaan Struktuk Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Bentang
80 Meter Tipe *Camel Back Truss* (Studi Literatur)

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.			
2.			
3.		<i>Ace Maku Redang</i>	
4	<i>9/9</i>	<i>Fahrizal 9/9/2014</i>	

DOSEN PENGUJI-II

(Dr. FAHRIZAL ZULKARNAIN)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Andri Fauzi Hasibuan
Tempat, Tanggal Lahir : Tanjungbalai, 06 Juni 1998
Alamat : Jl. Cimuk LK IV, Kel. Sei Merbau, Kec. Teluk Nibung, Kota Tanjungbalai, Prov. Sumatera Utara
Agama : Islam
No. Telp : 0853-6220-0853
E-mail : andrihasibuan98@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1607210143
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No 3 Medan 20238

No	Tingkat	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD 137697 Tanjungbalai	2010
2	SMP	SMP N 10 Tanjungbalai	2013
3	SMA	SMA N 4 Tanjungbalai	2016
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2016 sampai selesai		

