

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN JEMBATAN RANGKA BAJA KERETA API DENGAN SISTEM BUSUR ATAS DAN BAWAH

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

Oleh:

TEGUH JAYA

NPM : 1307210039



FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2018

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Teguh Jaya
NPM : 1307210039
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : **Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api
Dengan Sistem Busur Atas Dan Bawah**
Bidang Ilmu : Struktur

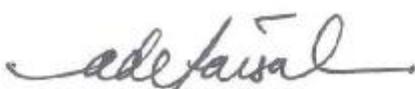
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2019

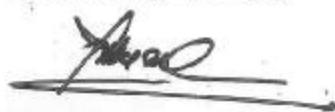
Mengetahui dan menyetujui :

Pembimbing I/ Penguji


Tondil Amirsyah P, S.T., M.T.
Pembimbing I/ Penguji


Dr. Ade Faisal, M.Sc

Pembimbing II/ Penguji


Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc
Pembimbing II/ Penguji


Rhini Wulan Dary, S.T., M.T



Prodi Teknik Sipil


Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Teguh Jaya
Tempat/ Tanggal Lahir : Kutacane, 08 Mei 1995
NPM : 1307210039
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya berjudul :

“Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api Dengan Sistem Busur Atas Dan Bawah”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal 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, Februari 2019

Saya yang menyatakan,



Teguh Jaya
Teguh Jaya

ABSTRAK

PERBANDINGAN JEMBATAN RANGKA BAJA KERETA API DENGAN SISTEM BUSUR ATAS DAN BAWAH

Teguh Jaya
1307210039

Tondi Amirsyah P, S.T.,MT
Dr. Fahrizal Zulkarnain, M.Sc

Dalam perencanaan jalur kereta api seringkali harus berhadapan dengan pembangunan jalur jembatan kereta api pada lokasi tertentu. Perencanaan jembatan rel kereta api sangat diperlukan dalam pemilihan desain dan analisa struktur yang baik karena bentang yang cenderung panjang dan beban yang besar apalagi untuk dua jalur kereta. Desain jembatan dengan bentang panjang biasanya menggunakan pilihan jembatan busur yang secara umum ada dua tipe, yaitu busur atas (*Through Arch Bridge*) dan busur bawah (*Deck Arch Bridge*). Dalam tugas akhir ini, akan menganalisa antara jembatan busur atas dan busur bawah dengan bentang yang sama untuk dua jalur kereta, sehingga diperoleh pilihan jembatan yang lebih efektif dan efisien secara kekuatan dan pembiayaan. Dari hasil analisa, diperoleh bahwa struktur jembatan *Through Arch* memiliki periode alami struktur (T_1) yang lebih besar yaitu 0,647 detik dibandingkan struktur jembatan *Deck Arch* yang hanya memiliki periode struktur (T_1) 0,555 detik. Dengan desain kondisi aman, lendutan gelagar jembatan *Through Arch* adalah 7,417 cm, lebih besar dibandingkan lendutan yang terjadi pada jembatan *Deck Arch* dengan nilai 0,555 cm. Lendutan kedua jembatan masih berada dibawah lendutan ijin sebesar 11 cm. Sedangkan dari segi pembiayaan, volume jembatan kereta api tipe *Through Arch* adalah 880.704,85 Kg dan volume jembatan *Deck Arch* adalah 724.090,41 kg, artinya jembatan *Deck Arch* lebih ekonomis dibandingkan tipe *Through Arch* sekitar 17,783%.

Kata kunci: Jembatan kereta api, jembatan busur atas (*Through Arch*), jembatan busur bawah (*Deck Arch*)

ABSTRACT

A COMPARISON OF THE STEEL BRIDGE TRAIN WITH A SYSTEM OF A BOW UPPER AND LOWER

Teguh Jaya
1307210039

Tondi Amirsyah P, S.T.,MT
Dr. Fahrizal Zulkarnain, M.Sc

In planning a railroad track often must face with the construction of a train bridge on a certain location. Bridge planning railroads needed in election design and analysis of structure good because landscapes of that tends to long and the load that large let alone two the new railway track. Design bridges by landscapes of long usually use choice bridge a bow which is in general there are two types of, that is a bow over (through arch bridge) and the bow bottom of (decks arch bridge). In duty end of this, will analyzes between the bridge a bow over and the bow down with landscapes of equal to two the new railway track, so obtained choice bridge more effective and efficient in strength and financing. From the result analysis of the, esults showed that the structure of the bridge through arch having a period of natural a structure (T_1 which is most of the city local 0,647 seconds compared the structure of the bridge decks arch that only having a period of a structure (T_1) 0,555 seconds .With a design safe , bridge girder deflection through arch is 7,417 cm , is greater than the deflection that occurs at the bridge of decks arch with a value of 0,555 cm .Two bridges deflection is still under deflection from 11 cm a seal of approval .While in terms of financing , the volume of a train bridge type through arch is 880.704,85 kg and volume bridge decks arch adalah724.090,41 kg , it means arch bridge decks more economical than type through arch about 17,783 % .

Keywords: a train bridge, bridge a bow over (through arch), bridge a bow bottom of (decks arch).

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api Dengan Sistem Busur Atas Dan Bawah” 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 laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

Penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2. Bapak Dr. Ade Faisal, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Tondi Amirsyah Putera P, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Irma Dewi, S.T., M.Sc, selaku sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilankepadapenulis.

7. Orang tua penulis: Tomson dan Lela Wati yang telah bersusah payah membesarkan dan mendidik penulis.
8. Saudara-saudara yang mendukung dan membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Unit Kegiatan Mahasiswa Bola Basket sebagai wadah berorganisasi dan berolahraga yang banyak memberikan pengalaman bagi penulis.
10. Seluruh teman Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dikarenakan keterbatasan waktu serta kemampuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya.

Medan, Februari 2019

Penulis

Teguh Jaya

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Manfaat Secara Teoritis	4
1.5.2 Manfaat Praktis	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Jenis-Jenis Jembatan Berdasarkan Struktur dan Modelnya	7
2.2.1 Menurut Jenis Material Penyusunannya	7
2.2.2 Menurut Fungsinya	7
2.2.3 Menurut Bentangnya	7
2.2.4 Menurut Sistem Strukturnya	7
2.3 Jembatan Busur (<i>Arch Bridge</i>)	8
2.3.1 Jenis-Jenis Jembatan Busur	9
2.3.2 Bentuk-Bentuk Jembatan Busur	10
2.3.3 Pemilihan Bentuk Jembatan Busur	11
2.4 Material Jembatan	12
2.5 Persyaratan Teknis Jembatan Kereta Api	13
2.5.1 Kelas Jalan Rel	14
2.5.2 Ruang Bebas	15
2.5.3 Bantalan	16
2.5.4 Rel	18

	2.5.5 Sambungan	18
2.6	Struktur Bangun Bawah Jembatan	19
	2.6.1 <i>Abutment</i>	19
	2.6.2 Pilar Jembatan (<i>Pier</i>)	20
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir	21
3.2	Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	22
	3.2.1 Pengumpulan Data	22
	3.2.2 Studi Literatur	22
	3.2.3 <i>Pradesign/ Preliminary Design</i> (<i>Thought Arch</i>)	23
	3.2.4 <i>Pradesign/ Preliminary Design</i> (<i>Deck Arch</i>)	28
3.3	Perhitungan Kekuatan Jembatan Rel Ganda	31
	3.3.1 Perhitungan Beban Mati	31
	3.3.2 Perhitungan Beban Hidup	31
	3.3.3 Perhitungan Beban Kejut	33
	3.3.4 Perhitungan Beban Horizontal	33
	3.3.5 Perhitungan Beban Angin	35
	3.3.6 Perhitungan Beban Gempa	35
	3.3.7 Perhitungan Beban Temperatur	36
	3.3.8 Kombinasi Pembebanan	37
3.4	Perhitungan Lendutan Jembatan	37
3.5	Perhitungan	38
3.6	Pemodelan dan Analisa Struktur dengan SAP 2000	38
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Perencanaan Struktur Gelagar	39
	4.1.1 Perancangan Gelagar Memanjang dan Melintang Jembatan	39
	4.1.2 Pembebanan Gelagar Memanjang dan Melintang Jembatan	39
	4.1.3 Pemodelan Gelagar Jembatan dan Beban Kereta Api	43
4.2	Design dan Perencanaan Struktur Utama Jembatan Busur <i>Thought Arch</i>	45
	4.2.1 Perancangan Batang Struktur Busur <i>Thought Arch</i>	45
	4.2.2 Pemodelan Struktur Busur <i>Thought Arch</i>	46
4.3	Design dan Perencanaan Struktur Utama Jembatan Busur <i>Deck Arch</i>	55
	4.3.1 Perancangan Batang Struktur Busur <i>Deck Arch</i>	55
	4.3.2 Pemodelan Struktur Busur	

	<i>Deck Arch</i>	56
4.4	Hasil Design Jembatan Busur Thought Arch Dan Deck Arch	66
4.4.1	Periode Alami Struktur	66
4.4.2	Lendutan Struktur Jembatan	67
4.4.3	Kekuatan Struktur Jembatan	69
4.4.4	Volume Struktur Jembatan	73
BAB 5.	KESIMPULAN	
5.1.	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75
	DAFTAR PUSTAKA	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Sifat mekanis baja struktural	12
Tabel 2.2	: Tipe jembatan baja	13
Tabel 2.3	: Lebar jalan rel 1067	15
Tabel 2.4	: Jarak ruang bangun	15
Tabel 2.5	: Dimensi penampang rel	18
Tabel 3.1	: Nilai batang tepi atas (<i>Through Arch</i>)	25
Tabel 3.2	: Nilai batang tepi bawah (<i>Through Arch</i>)	26
Tabel 3.3	: Nilai batang tepi atas (<i>Deck Arch</i>)	30
Tabel 3.4	: Nilai batang tepi bawah (<i>Deck Arch</i>)	30
Tabel 3.5	: Berat jenis beban mati	31
Tabel 3.6	: Temperatur jembatan rata-rata nominal	36
Tabel 3.7	: Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	36
Tabel 3.8	: Faktor beban	37
Tabel 3.9	: Koefisien lendutan maksimum jembatan baja	38
Tabel 4.1	: Tipe rel	40
Tabel 4.2	: Gaya angin pada jembatan <i>Through Arch</i>	50
Tabel 4.3	: Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah.	53
Tabel 4.4	: Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur.	54
Tabel 4.5	: Beban angin pada jembatan <i>Deck Arch</i>	61
Tabel 4.6	: Faktor modifikasi respon (R) untuk bangun bawah	64
Tabel 4.7	: Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur	64
Tabel 4.8	: Perbandingan periode alami struktur jembatan <i>Through Arch</i> dan <i>Deck Arch</i>	67
Tabel 4.9	: Lendutan maksimum yang terjadi pada jembatan <i>Through Arch</i> dan <i>Deck Arch</i>	69
Tabel 4.10	: Perbandingan lendutan maksimum yang terjadi di setiap Titik gelagar jembatan <i>Through Arch</i> dan <i>Deck Arch</i>	70
Tabel 4.11	: Rekapitulasi volume dan berat struktur jembatan <i>Through Arch</i>	73
Tabel 4.12	: Rekapitulasi volume dan berat struktur jembatan <i>Deck Arch</i>	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Jembatan busur tiga sendi (jembatan sei ular)	9
Gambar 2.2	: Jenis-jenis jembatan busur berdasarkan lantai kendaraan	10
Gambar 2.3	: Ruang bebas kereta api	16
Gambar 3.1	: Diagram alir penelitian	21
Gambar 3.2	: Penentuan dimensi rangka busur	23
Gambar 3.3	: Sketsa busur <i>Throught Arch</i>	26
Gambar 3.4	: Sketsa busur <i>Deck Arch</i>	31
Gambar 3.5	: Rencana muatan beban hidup	32
Gambar 3.6	: Beban lateral kereta	34
Gambar 4.1	: Jalur kereta api dalam SAP 2000	44
Gambar 4.2	: Beban hidup kereta api	44
Gambar 4.3	: Beban kejut kereta api	45
Gambar 4.4	: Model 3D jembatan <i>Throught Arch</i>	46
Gambar 4.5	: Model 3D jembatan <i>Deck Arch</i>	47
Gambar 4.6	: Beban hidup (<i>moving load</i>) pada Jembatan <i>Throught Arch</i>	47
Gambar 4.7	: Beban kejut (<i>moving load</i>) pada jembatan <i>Throught Arch</i>	48
Gambar 4.8	: Beban lateral pada jembatan <i>Throught Arch</i>	48
Gambar 4.9	: Beban traksi pada jembatan <i>Throught Arch</i>	49
Gambar 4.10	: Penamaan titik simpul pada jembatan <i>Throught Arch</i>	49
Gambar 4.11	: (a) Pembebanan gaya angin tanpa kereta (W1) pada jembatan <i>Throught Arch</i> ; (b) Pembebanan gaya angin dengan kereta (W2) pada jembatan <i>Throught Arch</i>	52
Gambar 4.12	: a) Peta respon percepatan gempa periode pendek, Ss b) Peta respon percepatan periode 1 detik, S1	53
Gambar 4.13	: Parameter gempa statik pada SAP 2000 dengan metode IBC 2006	54
Gambar 4.14	: Beban temperatur/ suhu pada jembatan	55
Gambar 4.15	: Model 3D jembatan <i>Deck Arch</i>	56
Gambar 4.16	: Beban mati pada jembatan <i>Deck Arch</i>	57
Gambar 4.17	: Beban hidup (<i>moving load</i>) pada Jembatan <i>Deck Arch</i>	57
Gambar 4.18	: Beban kejut (<i>moving load</i>) pada jembatan <i>Deck Arch</i>	58
Gambar 4.19	: Beban lateral pada jembatan <i>Deck Arch</i>	58
Gambar 4.20	: Beban traksi pada jembatan <i>Deck Arch</i>	59
Gambar 4.21	: Penamaan titik simpul pada jembatan <i>Deck Arch</i>	60
Gambar 4.22	: (a) Pembebanan gaya angin tanpa kereta (W1) pada jembatan <i>Deck Arch</i> ; (b) Pembebanan	

	gaya angin dengan kereta (W2) pada jembatan <i>Deck Arch</i>	62
Gambar 4.23	: a) Peta respon percepatan gempa periode pendek, Ss b) Peta respon percepatan periode 1 detik, S1	63
Gambar 4.24	: Parameter gempa statik pada SAP 2000 dengan metode IBC 2006	65
Gambar 4.25	: Beban temperatur/ suhu pada jembatan	65
Gambar 4.26	: (a) Periode alami struktur T1 jembatan <i>Through Arch</i> ; (b) Periode alami struktur T1 jembatan <i>Deck Arch</i>	66
Gambar 4.27	: Gaya dalam akibat beban garis pengaruh pada ujung batang balok girder 1 pada jembatan <i>Through Arch</i> : (a) Gaya aksial, (b) Gaya geser, (c) Momen, dan (d) Torsi	68
Gambar 4.28	: Gaya dalam akibat beban garis pengaruh pada ujung batang balok girder 1 pada jembatan <i>Deck Arch</i> : (a) Gaya aksial, (b) Gaya geser, (c) Momen, dan (d) Torsi	68
Gambar 4.29	: (a) Deformasi lendutan pada jembatan <i>Through Arch</i> dan (b) deformasi lendutan pada jembatan <i>Deck Arch</i>	70
Gambar 4.30	: Deformasi lendutan dan perbandingan lendutan di setiap titik pada jembatan <i>Through Arch</i> dan jembatan <i>Deck Arch</i>	71
Gambar 4.31	: Hasil desain kekuatan pada jembatan <i>Through Arch</i>	72
Gambar 4.32	: Hasil desain kekuatan pada jembatan <i>Deck Arch</i>	72

DAFTAR NOTASI

f_u	= Tegangan putus minimum (Mpa)
f_y	= Tegangan leleh minimum (Mpa)
V	= Kecepatan (km/jam)
P	= Beban gandar (Ton)
E	= Modulus elastisitas (Kg/cm^2)
L	= Panjang jembatan (m)
n	= Jumlah medan ekonomis
v_1	= Tinggi vertikal portal ujung (m)
f	= Tinggi busur (m)
Y_n	= Panjang penggantung busur (m)
X	= Jarak horizontal penggantung dari penggantung ujung (m)
i	= Faktor kejut (Ton)
a	= Koefisien beban sentrifugal
R	= Radius tikungan (m)
L_R	= Beban lateral kereta
E_Q	= Gaya gempa horizontal statis (kN)
C_{sm}	= Koefisien respon gempa
R_d	= Faktor modifikasi respon
W_t	= Berat total struktur
Δ_T	= Beban temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
	= koefisien muai temperatur
D	= Beban Mati (kg/m^2)
L_F	= Beban lateral
L	= Beban hidup (kg/m^2)
C	= Beban sentrifugal
W_1	= Beban angin (Tanpa kereta) (kN)
W_2	= Beban angin (Dengan kereta) (kN)
B	= Beban pengereman dan traksi
E	= Beban gempa
σ	= Lendutan (cm)
A	= Luas penampang (cm^2)
W	= Berat rel per meter (Kg/m)
I_x	= Momen inersia terhadap sumbu x (cm^4)
Y_b	= Jarak tepi bawah rel ke garis netral (mm)
R	= Faktor reduksi gempa
Ω	= Faktor kuat lebih
C_d	= Faktor pembesaran defleksi

DAFTAR SINGKATAN

PM	= Peraturan Menteri
SNI	= Standar Nasional Indonesia
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
RSNI	= Rancangan Standar Nasional Indonesia
PPBBI	= Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia
IBC	= <i>Intermediate Bulk Container</i>
AISC	= <i>American Institute of Steel Construction</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Proyek pembuatan jalur kereta api umumnya memakan waktu yang relatif lama serta memakan biaya yang cukup besar. Salah satu sektor yang memakan biaya cukup besar dalam pengerjaan jalur kereta api adalah dalam hal pengerjaan jembatan. Hal ini wajar karena jembatan kereta api haruslah memiliki struktur yang kokoh yang mampu menahan bobot kereta api yang sangat berat. Untuk dapat melakukan hal tersebut dibutuhkan desain yang baik serta perhitungan yang akurat terhadap daya tahan dari jembatan itu sendiri.

Salah satu desain jembatan kereta yang kerap di pilih kontraktor untuk memenuhi persyaratan di atas adalah dengan menggunakan jembatan baja tipe pelengkung/ busur (*arch*) dengan struktur materialnya adalah rangka baja. Pemilihan material baja dipilih karena secara struktur, baja mempunyai kuat tarik dan kuat tekan yang tinggi, sehingga material yang sedikit bisa memenuhi kebutuhan struktur, 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 (Frans, 2006).

Jembatan busur adalah jembatan yang konstruksinya berbentuk setengah lingkaran atau parabola dengan abutmen di kedua sisinya dimana pemakaian desain berupa busur ini secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak kesamping (Supriyadi, 2007).

Dalam pengerjaan proyek jembatan kereta api, terdapat beberapa persyaratan harus dipenuhi oleh pemegang proyek hal tersebut antara lain seperti uji ketahanan/ kekuatan yang meliputi; beban mati, beban hidup, beban kejut, beban horizontal (beban sentrifugal, beban lateral kereta, beban rem dan traksi,

dan beban rel panjang longitudinal), beban angin, beban gempa, beban air; dan beban tanah aktif. Uji ketahanan diperlukan untuk mengetahui beban maksimum yang mampu ditopang oleh jembatan tersebut (Dwiatmoko, 2013).

Selain ketahanan jembatan kereta api juga 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 dengan panjang bentang rangka baja tersebut, artinya semakin panjang bentangan yang ada maka akan semakin mengurangi keamanan struktur (Wahyudi dkk, 2014).

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 busur *through arch* dan *deck arch* tentunya akan berpengaruh terhadap volumetrik material baja yang digunakan.

Berdasarkan uraian di atas maka peneliti tertarik untuk membandingkan antara jembatan busur rangka baja *through arch* dan jembatan busur rangka baja *deck arch* terhadap kekuatan, lendutan, serta volumetrik baja yang digunakan untuk mengetahui keefektifan serta nilai ekonomis dari pembangunan kedua jenis jembatan ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas, masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana perilaku jembatan busur atas (*Through arch*) dan jembatan busur bawah (*Deck Arch*) berdasarkan periode alami struktur akibat beban yang terjadi, seperti berat sendiri, beban hidup, angin dan gempa?
- b. Bagaimana perbandingan kekuatan dan lendutan antara jembatan busur atas (*Through arch*) dan jembatan busur bawah (*Deck Arch*)?
- c. Bagaimana perbandingan volumetrik material baja antara jembatan busur atas (*Through arch*) dan jembatan busur bawah (*Deck arch*)?

1.3. Batasan Masalah

- a. Analisis dilakukan untuk jembatan rangka baja kereta api rel ganda dengan model *Through arch* dan *Deck arch*.
- b. Kajian yang dilakukan adalah kajian tentang kekuatan dan ledutan terhadap kedua model jembatan serta volumetrik material baja yang digunakan.
- c. Konsep perancangan jembatan mengacu kepada standar yang ditetapkan pemerintah Indonesia dalam PM. 28 Tahun 2011 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, SNI T-03-2005, SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, dan SNI 03-1729-2002.
- d. Bentangan jembatan yang ditentukan adalah 80 m.
- e. Perhitungan lendutan dan kekuatan dilakukan dengan mengikuti standar yang ditetapkan pemerintah Indonesia.
- f. Analisis dilakukan dengan menggunakan software komputer pendukung SAP 2000 dan jembatan dimodelkan dalam bentuk 3D.

1.4. Tujuan Penelitian

Dalam hal penulisan tugas akhir ini, ada beberapa tujuan penulis yang ingin dicapai antara lain:

- a. Untuk mengetahui periode alami struktur dan kekakuan antara jembatan *Through arch* dan *Deck arch*.

- b. Untuk mengetahui kekuatan dan lendutan yang terjadi antara jembatan *Through arch* dan *Deck arch* pada kondisi panjang jembatan yang sama.
- c. Untuk menganalisa efisiensi penggunaan jembatan penghubung rel kereta api dari segi volumetrik material baja yang digunakan, sehingga diperoleh jenis jembatan yang paling ekonomis.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat antara lain:

1.5.1. Manfaat secara teoritis

- a. Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang konstruksi jembatan baja serta bahan acuan bagi peneliti selanjutnya.

1.5.2. Manfaat praktis

- a. Dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui keunggulan serta kekurangan dari kedua jenis jembatan baik dari segi kekuatan, lendutan maupun dari segi volumetrik material baja yang digunakan.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika pembahasan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan, serta *time schedule*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai teori dan konsep tentang jembatan struktur baja, jenis-jenis jembatan struktur baja, teknik perencanaan biaya pembuatan jembatan struktur baja.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menyajikan tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir, lokasi pengumpulan data, software pendukung yang digunakan, serta teknik perhitungan beban mati jembatan dengan menggunakan SAP 2000.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisa, serta perbandingan antara kedua model jembatan baik dari segi daya tahan terhadap beban mati maupun dari segi besarnya anggaran yang diperlukan dalam membuat jembatan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang tidak sebidang dan berada lebih rendah (Struyk dan Veen, 1984). Rintangan ini biasanya berupa sungai, laut, atau jalan lalu lintas biasa. Jika jembatan itu berada di atas jalan lalu lintas biasa maka biasanya dinamakan *viaduct*.

Dalam merencanakan sebuah jembatan terdapat beberapa pertimbangan dalam segi ekonomis maupun teknis yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan. 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 baja yang pertama kali dibangun di dunia adalah jembatan *Coalbrookdale* yang melintasi sungai *Sevren*, Inggris pada tahun 1776 yang dibuat dengan menggunakan model jembatan lengkung/busur bawah (*deck arch*) dan masih berdiri hingga saat ini (Supriyadi dan Agus, 2007). Berdasarkan uraian ini diketahui bahwa penggunaan jembatan baja telah berlangsung sejak lama dan memiliki daya tahan yang luar biasa, serta memiliki keunggulan dibandingkan

dengan konstruksi jembatan lainnya, sehingga wajar apabila para engineer saat ini lebih menyukai menggunakan jembatan tipe ini dibandingkan dengan tipe lainnya.

2.2. Jenis-jenis Jembatan Berdasarkan Struktur dan Modelnya

Dalam merencanakan sebuah jembatan terdapat beberapa pertimbangan dalam segi ekonomis maupun teknis yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan. Pada perkembangannya, berbagai macam dan bentuk serta material jembatan mengalami perubahan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi terkini.

Berikut ini beberapa klasifikasi jembatan:

2.2.1. Menurut jenis material penyusunnya

- a. Jembatan baja
- b. Jembatan beton bertulang
- c. Jembatan beton pretekan
- d. Jembatan komposit
- e. Jembatan kayu

2.2.2. Menurut fungsinya

- a. Jembatan kereta api
- b. Jembatan khusus (jembatan untuk jalur pipa irigasi)
- c. Jembatan jalan raya
- d. Jembatan penyeberangan atau jembatan pejalan kaki

2.2.3. Menurut bentangnya

- a. *Small span bridge*, dengan panjang bentang hingga 15 meter
- b. *Medium span bridge*, dengan panjang hingga 75 meter
- c. *Large span bridge*, dengan panjang antara 50-150 meter
- d. *Extra large span bridge*, dengan panjang lebih dari 150 meter

2.2.4. Menurut sistem strukturnya

- a. Jembatan gelagar (*Girder Bridge*)
- b. Jembatan pelat (*Slab Bridge*)

- c. Jembatan rangka batang (*Truss Bridge*)
- d. Jembatan busur (*Arch Bridge*)
- e. Jembatan gantung (*Suspension Bridge*)
- f. Jembatan kabel (*Cable Stayed Bridge*)

2.3. Jembatan Busur (*Arch Bridge*)

Secara umum jembatan busur adalah sebuah jembatan yang mempunyai struktur tengah berbentuk pelengkung atau busur dengan abutmen di kedua sisi jembatan. Struktur berbentuk pelengkung tersebut merupakan rangka utama dari jembatan yang fungsinya menerima semua gaya-gaya yang bekerja pada jembatan.

Pada prinsipnya, konstruksi dari jembatan busur dapat memberikan reaksi horizontal akibat beban vertikal yang bekerja. Desain lengkung akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergeser ke samping. Selain itu, bentuk busur dimaksudkan untuk memungkinkan konstruksi tersebut dapat menerima momen lentur lebih efisien bila dibandingkan dengan gelagar paralel (Irawan, 2007).

Secara struktural, jembatan busur merupakan jenis jembatan yang mengandalkan batang lengkung (busur) dan kabel penggantung antara busur jembatan dengan dek jembatan untuk memikul beban yang terjadi. Lengkungan dapat digunakan untuk mengurangi momen tekuk pada struktur-struktur bentang panjang. Jika lengkungan memiliki bentuk parabolik dan dibebani oleh beban vertikal yang terdistribusi merata secara horizontal, maka dari analisis kabel hanya mengikuti gaya-gaya mampatan yang akan ditahan oleh lengkungan (Hibbeler, 2002). Untuk jembatan dengan jenis jembatan pelengkung/busur sendiri memiliki dapat dibagi menjadi beberapa katagori berdasarkan letak busurnya seperti *deck arch*, *through arch*, *tied*, dan *half-through arch* (Qosim dkk, 2012). Dari ke empat jenis jembatan struktur baja ini, yang paling banyak terdapat di Indonesia adalah jembatan baja busur atas (*through arch*) dan busur bawah (*deck arch*).

Jembatan busur sangat cocok untuk lintasan yang dalam dengan tebing curam berbatu, yang dapat berfungsi sebagai tembok pangkal alami yang efisien,

terutama dalam menerima komponen horizontal dari reaksi busur. Menurut Hidayat Soegihardjo (2016), di dalam diktatnya disebutkan bahwa jembatan busur banyak dipergunakan sebagai jembatan bentang panjang karena bentuk busur pada struktur pemikul utama mampu mengurangi nilai momen lapangan yang terjadi akibat beban luar.

2.3.1. Jenis -jenis jembatan busur

Jembatan busur sendiri dapat dibagi menjadi beberapa kategori seperti menurut peletakannya, menurut sifat gaya horizontal pada busurnya, menurut jenis gelagar pemikul utamanya, serta menurut kedudukan lantai kendaraannya. Berdasarkan ke-4 kategori ini nantinya dapat dilakukan pemilihan bentuk busur yang tepat sesuai dengan medan yang akan dihubungkan oleh jembatan yang akan dibangun tersebut.

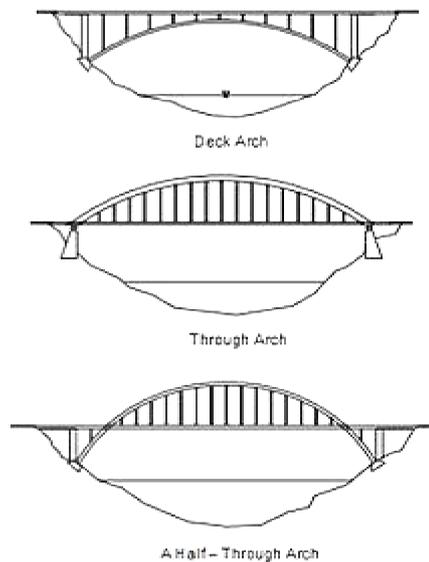
Berikut ini adalah contoh gambar yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan penjelasan secara rinci mengenai masing masing kategori jembatan tersebut.

- a. Menurut peletakannya
 - Ø Jembatan busur terjepit
 - Ø Jembatan busur dua sendi
 - Ø Jembatan busur tiga sendi



Gambar 2.1: Jembatan busur tiga sendi (jembatan sei ular).

- b. Menurut sifat gaya horizontal pada busur
 - Ø Busur asli: reaksi horizontal (juga komponen reaksi vertikal dan momen) diterima oleh peletakan, diteruskan ke pangkal jembatan atau pilar.
 - Ø Busur dengan batang tarik: gaya horizontal pada busur diterima oleh bagian konstruksi busur, yaitu batang tarik.
- c. Menurut jenis gelagar pemikul utama
 - Ø Busur dinding penuh
 - Ø Busur rangka batang
- d. Menurut kedudukan lantai kendaraan
 - Ø Jembatan busur dengan lantai kendaraan di atas (*deck arch*)
 - Ø Jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah (*a half-through arch*)
 - Ø Jembatan busur dengan lantai kendaraan di bawah (*through arch*)



Gambar 2.2: Jenis-jenis jembatan busur berdasarkan lantai kendaraan.

2.3.2. Bentuk- bentuk jembatan busur

Seperti yang diketahui jembatan busur adalah jembatan yang memiliki penampang parabola yang digunakan untuk mendistribusikan berat secara merata. Bentuk dari jembatan ini tentunya sangat mudah dikenali karena jembatan jenis

ini tentunya memiliki bagian yang menyerupai busur. Akan tetapi ternyata jembatan busur memiliki bentuk yang lebih kompleks dari kelihatannya. Berikut adalah penjabaran mengenai bentuk-bentuk dari jembatan busur tersebut.

- a. Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal, umumnya untuk busur terjepit.
- b. Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur, umumnya busur dinding penuh, termasuk bentuk box.
- c. Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal, umumnya untuk busur dua sendi.

Khusus untuk busur dengan batang tarik, bentuk busur ditentukan juga oleh pembagian beban antara busur dengan batang tariknya:

- a. Busur sangat kaku, dibanding dengan batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul oleh busur, bentuk busur umumnya penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal.
- b. Busur sangat lemah, dibandingkan dengan batang tarik yang sangat kaku, sehingga batang tarik memikul sebagian besar momen. Bentuk busur umumnya tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur.

2.3.3. Pemilihan bentuk jembatan busur

Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan jenis konstruksi dan bentuk busur, antara lain sebagai berikut:

- a. Kondisi tanah dasar
 - Ø Tebing yang curam, kokoh, dan tinggi sangat cocok untuk tipe jembatan busur dengan lantai kendaraan di atas.
 - Ø Bila kaki busur terendam air bisa menggunakan jenis jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah.
 - Ø Bila tanah kurang baik untuk menerima gaya horizontal maka bisa menggunakan jenis jembatan busur dengan batang tarik.
- b. Besarnya beban
 - Ø Bila beban yang dipikul tergolong berat, dapat menggunakan tipe busur rangka batang.

Ø Bila beban yang dipikul tidak terlalu berat, dapat menggunakan tipe busur dinding penuh atau *box*.

c. Panjang bentang

Ø Untuk bentang jembatan antara 60-250 meter dapat menggunakan busur dinding penuh atau rangka batang.

Ø Untuk bentang jembatan antara 250-500 meter dapat menggunakan busur rangka batang.

2.4. Material Jembatan

Jembatan besi dan baja pertama kali di bangun di Inggris, yaitu sekitar tahun 1781, konstruksinya masih menirukan konstruksi jembatan batu yang bentuknya melengkung. Dengan perkembangan teknologi peleburan besi dan baja, maka kekuatan baja dapat ditingkatkan dan disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan pemakaian baja, seperti tahan karat ataupun pelapukan.

Baja untuk jembatan tersedia dalam berbagai tingkatan kekuatan yang berbeda, masing-masing ditetapkan di bawah ASTM A709, Spesifikasi Standard untuk baja struktural untuk jembatan.

Di Indonesia sendiri penetapan sifat mekanis baja telah diatur dalam RSNI T-03-2005. Adapun penetapan tersebut dapat dilihat melalui Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1: Sifat mekanis baja struktural.

Jenis baja	Tegangan putus minimum, f_u (Mpa)	Tegangan leleh minimum, f_y (Mpa)	Tegangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Menurut Pasaribu (1994), mutu baja yang digunakan dalam pembangunan jembatan sebaiknya terlebih dahulu disesuaikan dengan PPBBI 1983 selaku pedoman yang telah ditetapkan di Indonesia.

2.5. Persyaratan Teknis Jembatan Kereta Api

Dasar regulasi yang terkait dengan jalur dan bangunan kereta api, baik yang terkait dengan standar teknis, pengujian, pemeriksaan, dan perawatannya telah diatur dalam peraturan Menteri Perhubungan, tidak terkecuali dengan pembangunan jembatan. Hal ini diatur didalam Peraturan Menteri Perhubungan nomor PM 28 Tahun 2011 tentang persyaratan teknis bangunan kereta api adalah sebagai berikut :

a. Persyaratan sistem

Berdasarkan material untuk struktur jembatan, dibagi menjadi :

- Ø Jembatan baja
- Ø Jembatan beton
- Ø Jembatan komposit

Tipe jembatan secara umum dibagi menjadi beberapa kelompok seperti yang tertera pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 : Tipe jembatan baja.

Tipe	Gelagar	Rangka
Dinding	Gelagar Dinding	Rangka dinding
Rasuk	Gelagar Rasuk	Rangka rasuk

Sistem jembatan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Ø Beban gandar
- Ø Lendutan
- Ø Stabilitas konstruksi
- Ø Ruang bebas

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

Jembatan harus didesain untuk menahan jenis beban sebagai berikut :

- 1) Beban mati
- 2) Beban hidup
- 3) Beban kejut
- 4) Beban horizontal

- Ø Beban sentrifugal
 - Ø Beban lateral kereta
 - Ø Beban rem dan traksi
 - Ø Beban rel panjang longitudinal
- 5) Beban angin
 - 6) Beban gempa
 - 7) Kombinasi pembebanan

Adapun penjelasan mengenai jenis pembebanan ini akan dibahas pada bab selanjutnya.

b. Persyaratan komponen

Komponen jembatan terdiri dari konstruksi jembatan bagian atas, konstruksi jembatan bagian bawah, dan konstruksi pelindung. Persyaratan untuk ke-tiga komponen jembatan ini disesuaikan dengan material pembentuk konstruksinya : baja, beton, dan komposit.

Konstruksi jembatan bagian atas dengan material baja harus memenuhi persyaratan seperti :

- Ø Tegangan (*stress*) dan tegangan lelah (*fatigue*) yang timbul pada baja struktural lebih kecil dari pada tegangan yang diizinkan.
- Ø Tegangan (*stress*) yang timbul pada baut dan paku keling/ sumbat (*rivet*) lebih kecil dari tegangan yang diizinkan.
- Ø Tegangan tarik material las minimal sama atau lebih besar dari material yang disambung.

2.5.1. Kelas jalan rel

Dalam Persyaratan Teknis Jalur Kereta api No. PM 60 Tahun 2012 dimuat beberapa jenis kelas jalan untuk jalur kereta api seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 : Lebar jalan rel 1067.

Kelas jalan	Daya angkut lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe rel	Jenis bantalan Jarak antar sumbu (cm)	Jenis penambat	Tebal balas atas (cm)	Lebar bahu balas (cm)
1	>20.10 ⁶	120	18	R.60/R.54	<u>Beton</u> 60	Elastis ganda	30	60
2	10. 10 ⁶ - 20.10 ⁶	110	18	R.54/R.50	<u>Beton/ Kayu</u> 60	Elastis ganda	30	50
3	5.10 ⁶ - 10. 10 ⁶	100	18	R.54/R.50/R.4 2	<u>Beton/ Kayu/ Baja</u> 60	Elastis ganda	30	40
4	2,5. 10 ⁶ - 5. 10 ⁶	90	18	R.54/R.50/R.4 2	<u>Beton/ Kayu/ Baja</u> 60	Elastis ganda/Tunggal	25	40
5	<2,5. 10 ⁶	80	18	R.42	<u>Kayu/ Baja</u> 60	Elastis tunggal	25	35

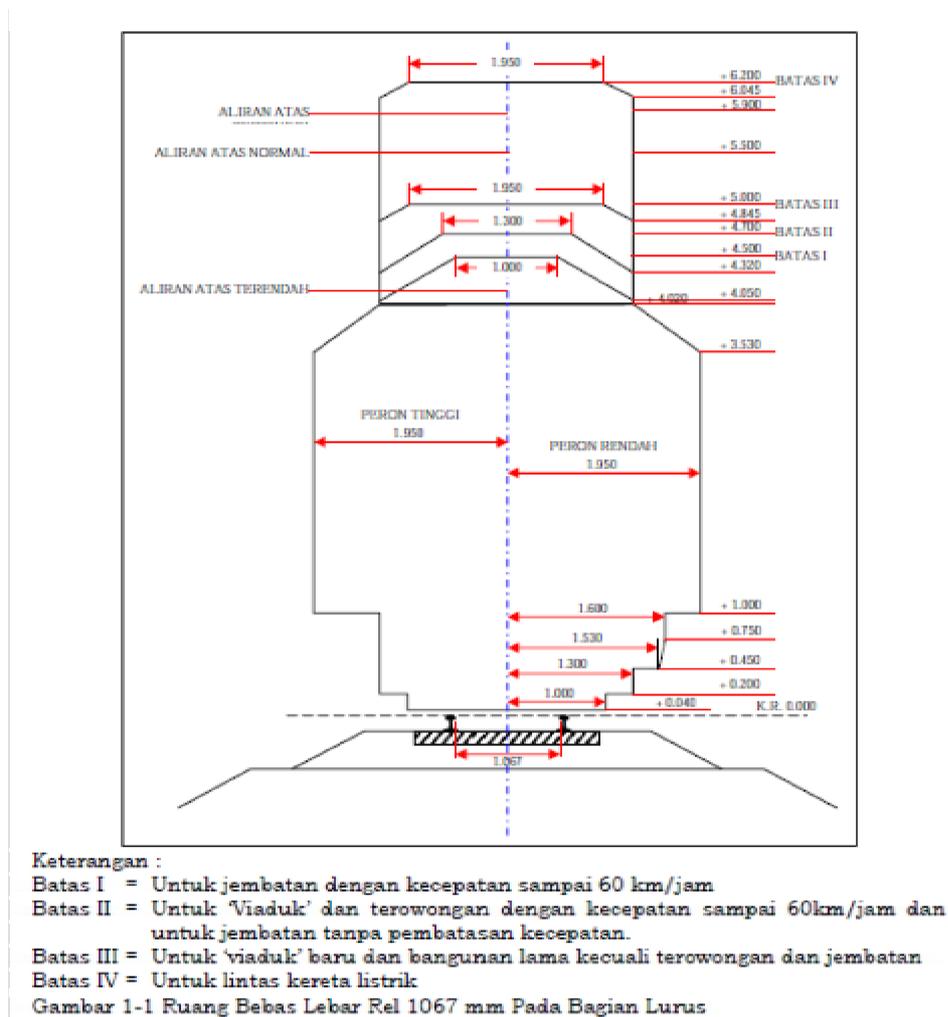
2.5.2. Ruang bebas

Ruang bebas adalah ruang diatas jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang, ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api. Ukuran ruang bebas untuk jaur tunggal, baik pada lintasan lurus maupun melengkung, untuk lintasan elektrifikasi dan non elektrifikasi, adalah seperti yang tertera pada Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.4 : Jarak ruang bangun.

Segmen Jalur	Lebar jalan rel 1064 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung
Lintas bebas	Minimal 2,35 m di kiri-kanan as jalan rel	R ≤ 300, minimal 2,55 m
Emplasemen	R > 300, minimal 2,45 m di kiri-kanan as jalan rel	Minimal 1,95 m di kiri-kanan as jalan rel
Jembatan/ Terowongan	Minimal 2,35 m di kiri-kanan as jalan rel	2,15 m di kiri-kanan as jalan rel

Gambaran ruang bebas dalam Peraturan Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api No. PM 60 Tahun 2012 ditunjukkan seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Ruang bebas kereta api.

2.5.3. Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke balas, mempertahankan lebar jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan didasarkan pada kelas dan kondisi lapangan serta ketersediaan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu kepada persyaratan teknis yang berlaku sebagai berikut.

a. Bantalan beton

Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian dudukan rel dan -930 kgm pada bagian tengah bantalan. Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1067 mm adalah sebagai berikut.

- Panjang : 2000 mm
- Lebar Maksimum : 260 mm
- Tinggi Maksimum : 220 mm

Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan. Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1435 mm adalah sebagai berikut.

- Panjang : 2440 mm untuk beban gandar sampai 22,5 ton;
2740 mm untuk beban gandar diatas 22,5 ton.
- Lebar Maksimum : 330 mm
- Tinggi Maksimum : 220 mm

b. Bantalan kayu

Bantalan kayu, harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan modulus elastisitas (E) minimum 125.000 kg/cm^2 . Harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kg-m, lentur absolute tidak boleh kurang dari 46 kg/cm^2 Berat jenis kayu minimum = 0,9, kadar air maksimum 15%, tanpa mata kayu, retak tidak boleh sepanjang 230 mm dari ujung kayu.

c. Bantalan besi

Bantalan besi harus memiliki kandungan *Carbon Manganese Steel Grade* 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rei, mampu

menahan momen maksimum sebesar 650 kg m, tegangan tarik 88-103 kg m. *Elongation* A1 > 10%.

2.5.4. Rel

Rel harus memenuhi persyaratan berikut :

- Minimum perpanjangan (longitudinal) 10%.
- Kekuatan tarik (tensile strength) minimum 1175 N/mm².
- Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN.

Penampang rel dalam Peraturan Persyaratan Teknis Jalur Kereta api No. PM 60 Tahun 2012 harus memenuhi ketentuan dimensi rel seperti ditunjukkan Tabel 2.5.

Tabel 2.5: Dimensi penampang rel.

Besaran geometri rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138	153	159	172
B (mm)	110	127	140	150
C (mm)	68.50	65	70	74.30
D (mm)	13.50	15	16	16.50
E (mm)	40.50	49	49.40	51.00
F (mm)	23.50	30	30.20	31.50
G (mm)	72	76	74.79	80.95
R (mm)	320	500	508	120
A (cm ²)	54.26	64.20	69.34	76.86
W (Kg/m)	42.59	50.40	54.43	60.34
I _x (Cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68.50	71.60	76.20	80.95
A = Luas penampang				
W = berat rel per meter				
I _x = momen inersia terhadap sumbu x				
Y _b = jarak tepi bawah rel ke garis netral				

2.5.5. Sambungan

Sambungan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sebuah struktur baja. Sambungan berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya dalam (momen, lintang/geser, dan/atau aksial) antar komponen-komponen struktur yang disambung, sesuai dengan perilaku struktur yang direncanakan. Keandalan sebuah struktur baja untuk bekerja dengan mekanisme yang direncanakan sangat tergantung oleh keandalan sambungan.

Suatu sistem sambungan terdiri dari:

- a. Komponen struktur yang disambung, dapat berupa balok, kolom, batang tarik, atau batang tekan.
- b. Alat penyambung, dapat berupa pengencang, baut biasa, baut mutu tinggi, dan paku keling, atau sambungan las seperti las tumpul, las sudut, dan las pengisi.
- c. Elemen penyambung, berupa plat buhul atau plat penyambung.

Filosofi dasar perencanaan sambungan adalah suatu sistem sambungan harus direncanakan lebih kuat daripada komponen struktur yang disambungkan dan deformasi yang terjadi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan. Dengan demikian, keandalan struktur akan ditentukan oleh kekuatan elemen-elemennya.

2.6. Struktur Bangun Bawah Jembatan

Struktur bangunan bawah jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi untuk menerima dan memikul beban dari bangunan atas agar dapat disalurkan kepada pondasi. Bangunan bawah dibagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu kepala jembatan (*abutment*) atau pilar (*pier*) dan pondasi untuk kepala jembatan atau pilar. Struktur bangunan bawah perlu didesain khusus sesuai dengan jenis kekuatan tanah dasar dan elevasi jembatan.

2.6.1. Abutment

Abutment adalah suatu bangunan yang meneruskan semua beban baik beban hidup maupun beban mati dari bangunan atas dan tekanan tanah ke tanah pondasi. Seperti yang telah disebutkan beban yang diterima kepala jembatan antara lain beban bangunan atas dan tekanan tanah. Tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang membebani dinding penahan tanah dengan arah horizontal, apabila dinding penahan tanah digerakkan ke arah tanah irisan bagian belakang maka tekanan tanah akan meningkat perlahan-lahan sampai mencapai suatu harga tetap. Tekanan tanah pasif mempunyai tegangan horizontal yang arahnya berlawanan dengan tekanan tanah aktif.

2.6.2. Pilar jembatan (*Pier*)

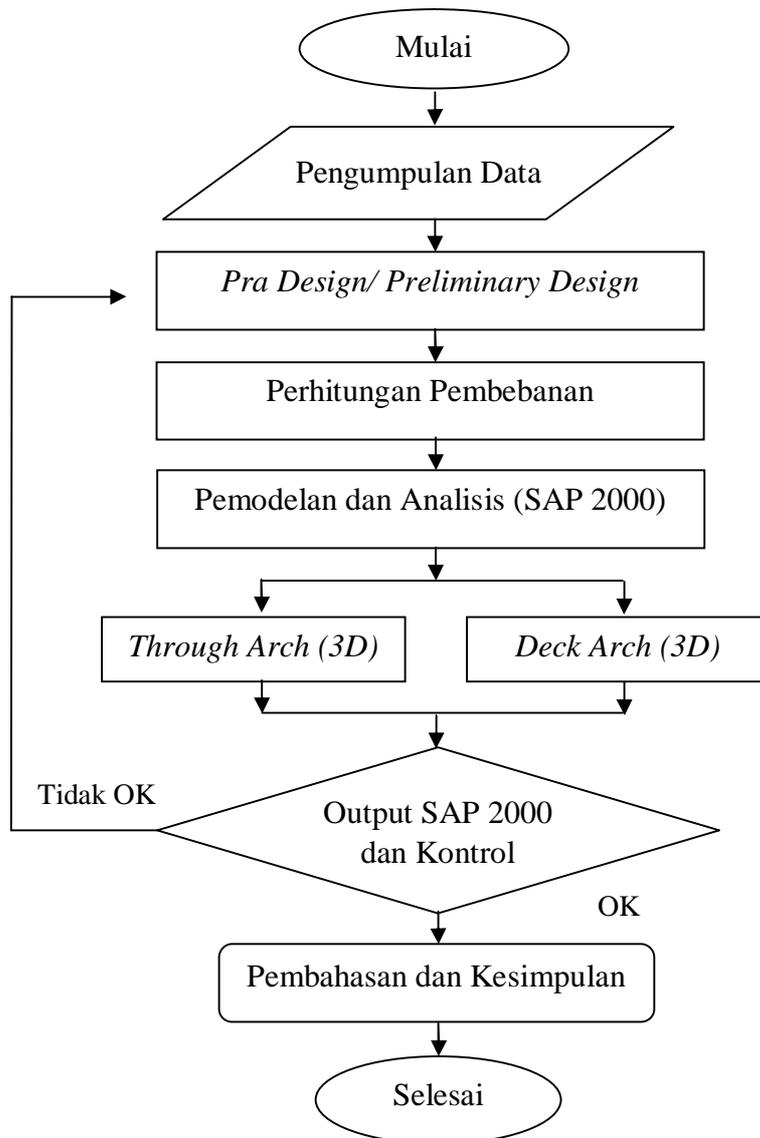
Berbeda dengan abutment, yang selalu ada di setiap jembatan, maka pilar belum tentu ada di suatu konstruksi jembatan. Pilar merupakan suatu struktur yang berfungsi untuk membagi bentang suatu jembatan dan meneruskan beban struktur atas kepada pondasi.

Pada umumnya, pilar diletakkan ditengah bentang jembatan sehingga terkena pengaruh aliran sungai. Untuk menanggulangi masalah tersebut maka pada perencanaannya, direncanakan selain segi kekuatannya juga di lihat pula dari segi keamanannya.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Adapun langkah-langkah yang dilakukan oleh peneliti dalam penyelesaian tugas akhir seperti pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 : Diagram alir penelitian.

3.2. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Dari diagram alir di atas dapat dijelaskan metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut :

3.2.1. Pengumpulan data

a. Jembatan *Through Arch*

1) Tipe Jembatan: *Through Arch*

2) Tipe kelengkungan: Parabola

3) Persamaan kelengkungan: $y = -\frac{4fx}{l} \left[\frac{x}{l} - 1 \right]$ (3.1)

4) Jumlah bentang: 1 bentang

5) Panjang bentang: 80 m

6) Lebar sepur (jalan rel) masing-masing: 1067 mm

7) Mutu baja yang digunakan adalah BJ 41

b. Jembatan *Deck Arch*

1) Tipe Jembatan: *Deck Arch*

2) Tipe kelengkungan: Parabola

3) Persamaan kelengkungan: $y = -\frac{4fx}{l} \left[\frac{x}{l} - 1 \right]$ (3.2)

4) Jumlah bentang: 1 bentang

5) Panjang bentang: 80 m

6) Lebar sepur (jalan rel) masing-masing: 1067 mm

7) Mutu baja yang digunakan adalah BJ 41

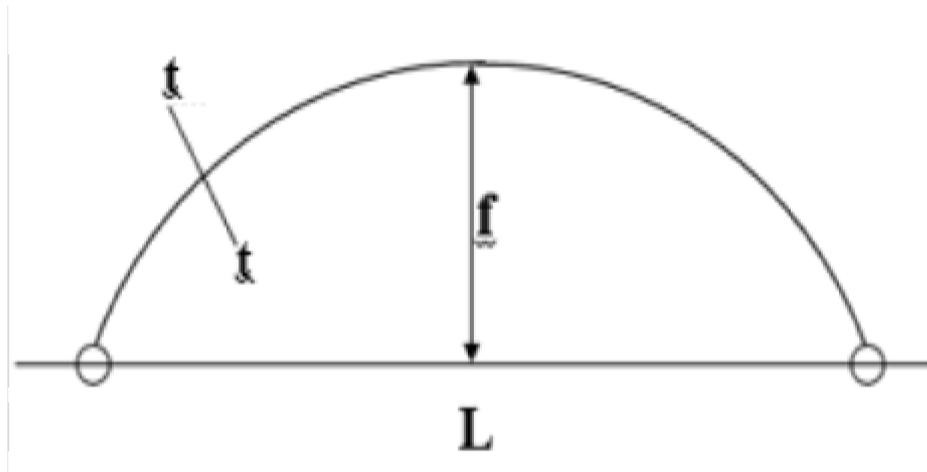
3.2.2. Studi literatur

Melakukan studi literatur yang terkait dengan pengerjaan tugas akhir ini. Adapun studi literatur yang dilakukan seperti mencari data primer seperti referensi buku, serta jurnal terkait. Sedangkan dalam mencari data skunder peneliti melakukan observasi ke PT KAI Kota Medan untuk mendapatkan data lainnya.

3.2.3. Pradesign/ Preliminary Design

Melakukan perhitungan terhadap dimensi busur yang telah terdapat pada jembatan serta melakukan perkiraan dimensi profil yang dipakai dalam jenis jembatan pembandingnya.

a. Penentuan dimensi busur rangka



Gambar 3.2: Penentuan dimensi rangka busur.

Dalam menentukan dimensi rangka busur maka dilakukan perancangan dengan menggunakan ketentuan nilai sebagai berikut:

Panjang jembatan (L)	: 80 m
Jumlah medan ekonomis (n)	: 20 buah
Tinggi vertikal portal ujung (v1)	: 5,5 m

Berdasarkan ketentuan ini, maka dapat diperoleh:

Panjang satu medan dengan menggunakan Pers. 3.3 dimana:

$$\lambda = L/n \quad (3.3)$$

$$\lambda = 80/20 = 4 \text{ m}$$

Panjang jembatan dari parabola bawah dengan Pers. 3.4 dimana:

$$L_a = L - (2\lambda) \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 L_a &= 80 - (2 \cdot 4) \\
 &= 80 - 8 \\
 &= 72 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang jembatan dari tepi para bola bawah dengan Pers 3.5 dimana:

$$L_b = L - (6\lambda) \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned}
 L_b &= 80 - (6 \cdot 4) \\
 &= 80 - 24 \\
 &= 56 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Tinggi busur

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat: } \quad \frac{1}{8} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad \text{atau} \\
 0.125 \leq \frac{f}{L} \leq 0.200 \quad (3.6)
 \end{aligned}$$

Dimana:

f : Tinggi busur (m)

L : Bentang busur (m)

Berdasarkan Pers. 3.6 ini dapat kita lakukan perencanaan dengan menggunakan nilai $1/5$ (L_a) maka diperoleh nilai

$$\begin{aligned}
 F_a &= 1/5 (L_a) \\
 &= 1/5 (72) \\
 &= 14,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai F (tinggi batang tepi atas (parabolis)) dapat diperoleh dengan menggunakan Pers 3.7 dimana :

$$f = f_a + v_1 \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned}
 &= 14,4 + 5,5 \\
 &= 19,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk jarak busur atas dan busur bawah diasumsikan dengan nilai $t = 3\text{m}$

Sedangkan untuk nilai tinggi batang dari tepi bawah digunakan Pers. 3.8

dimana:

$$f_b = f_a - t \quad (3.8)$$

$$= 14,4 - 3$$

$$= 11,4 \text{ m}$$

c. Panjang penggantung busur

$$Y_n = \frac{4Fn(L-x)x}{Ln^2} \quad (3.9)$$

Dimana:

Y_n : Panjang penggantung busur (m)

F : Tinggi busur (m)

X : Jarak horizontal penggantung dari penggantung ujung (m)

L : Panjang bentang busur (m)

Berdasarkan Pers 3.9 di atas dapat diketahui :

1) Batang tepi atas

$$Y_a = (4 \cdot f_a (L_a - x) \cdot x) / (L_a^2)$$

Tabel 3.1: Nilai batang tepi atas.

No titik	X	Ya
A	-	-
1	0	0,000
2	4	3,022
3	8	5,689
4	12	8,000
5	16	9,956
6	20	11,556
7	24	12,800
8	28	13,689
9	32	14,222
10	36	14,400
11	40	14,222

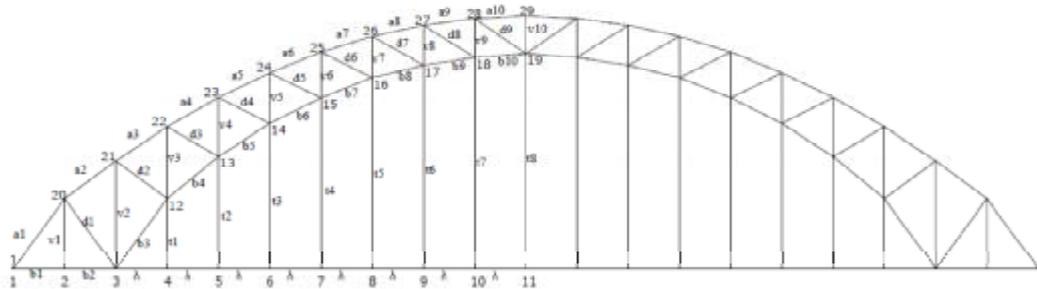
2) Batang tepi bawah

$$Y_b = (4 \cdot f_b (L_b - x) \cdot x) / (L_b^2)$$

Tabel 3.2: Nilai batang tepi bawah.

No titik	X	Yb
A	-	-
1	-	-
2	-	-
3	0	0,000
4	4	3,024
5	8	5,584
6	12	7,678
7	16	9,306
8	20	10,469
9	24	11,167
10	28	11,400
11	32	11,167

Melalui perhitungan di atas dapat dilakukan perancangan busur jembatan sebagai berikut :



Gambar 3.3 : Sketsa busur *through arch*.

Dimana :

1. Batang vertikal :

v1 =		=	5,5	M
v2 =	3,022	+	5,5	= 8,522 M
v3 =		=	5,689	M
v4 =	8,000	-	3,024	= 4,976 M
v5 =	9,956	-	5,584	= 4,372 M
v6 =	11,556	-	7,678	= 3,878 M
v7 =	12,800	-	9,306	= 3,494 M
v8 =	13,689	-	10,469	= 3,220 M
v9 =	14,222	-	11,167	= 3,055 M
v10 =	14,400	-	11,400	= 3,000 M

2. Batang tepi bawah

B1 =					=	4	M	
B2 =					=	4,000	M	
B3 =	4,000	+	5,500		=	6,801	M	
B4 =	4,000	+	3,024		=	5,015	M	
B5 =	4,000	+	5,584	-	3,024	=	4,749	M
B6 =	4,000	+	7,678	-	5,584	=	4,515	M
B7 =	4,000	+	9,306	-	7,678	=	4,319	M
B8 =	4,000	+	10,469	-	9,306	=	4,166	M
B9 =	4,000	+	11,167	-	10,469	=	4,060	M
B10 =	4,000	+	11,400	-	11,167	=	4,007	M

3. Batang tepi atas

A1 =	4,000	+	5,5		=	6,801	M	
A2 =	4,000	+	3,022		=	5,013	M	
A3 =	4,000	+	5,689	-	3,022	=	4,807	M
A4 =	4,000	+	8,000	-	5,689	=	4,620	M
A5 =	4,000	+	9,956	-	8,000	=	4,452	M
A6 =	4,000	+	11,556	-	9,956	=	4,308	M
A7 =	4,000	+	12,800	-	11,556	=	4,189	M
A8 =	4,000	+	13,689	-	12,800	=	4,098	M
A9 =	4,000	+	14,222	-	13,689	=	4,035	M
A10 =	4,000	+	14,400	-	14,222	=	4,004	M
A11 =	4,000	+	14,356	-	14,400	=	2,000	M

4. Batang diagonal

D1 =	4,000	+	5,5		=	6,801	M	
D2 =	4,000	+	3,022		=	5,013	M	
D3 =	4,000	+	5,689	-	3,024	=	4,806	M
D4 =	4,000	+	8,000	-	5,584	=	4,673	M
D5 =	4,000	+	9,956	-	7,678	=	4,603	M
D6 =	4,000	+	11,556	-	9,306	=	4,589	M
D7 =	4,000	+	12,800	-	10,469	=	4,629	M
D8 =	4,000	+	13,689	-	11,167	=	4,728	M
D9 =	4,000	+	14,222	-	11,400	=	4,895	M
D10 =	4,000	+	3,000		=	3,606	M	

5. Batang penggantung

T1 =					=	5,500	m
T2 =	5,500	+	3,024		=	8,524	m
T3 =	5,500	+	5,584		=	11,084	m

T4 =	5,500	+	7,678	=	13,178	m
T5 =	5,500	+	9,306	=	14,806	m
T6 =	5,500	+	10,469	=	15,969	m
T7 =	5,500	+	11,167	=	16,667	m
T8 =	5,500	+	11,400	=	16,900	m

3.2.4. Pradesign/preliminary design (*Deck Arch*)

Dalam menentukan dimensi rangka busur maka dilakukan perancangan dengan menggunakan ketentuan nilai sebagai berikut:

Mutu Baja	: BJ 41
Panjang jembatan (L)	: 80 m
Jumlah medan ekonomis (n)	: 20 buah
Tinggi busur bawah busur atas tepi (v)	: 7 m
Tinggi tampang busur (bagian atas) (t)	: 3 m
Tinggi busur atas dengan gelagar (t ₁)	: 3 m
Tinggi total jembatan dari dasar (h)	: 19 m

Berdasarkan ketentuan ini, maka dapat diperoleh :

Panjang satu medan dengan menggunakan Pers. 3.3 dimana:

$$\lambda = L/n$$

$$\lambda = 80/20 = 4 \text{ m}$$

Panjang jembatan dari parabola bawah dengan Pers. 3.10 dimana:

$$L_a = L - \lambda - \lambda \tag{3.10}$$

$$L_a = 72 \text{ m}$$

Panjang jembatan dari tepi parabola bawah dengan Pers 3.11 dimana:

$$L_b = L - \lambda - \lambda \tag{3.11}$$

$$L_b = 72 \text{ m}$$

Untuk jarak busur atas dan busur bawah diasumsikan dengan nilai

$$F = 16 \text{ m}$$

Dimana syarat: $1/40 \leq t/L \leq 1/25$

Berdasarkan hal ini diperoleh:

$$\text{Syarat bawah} : 1/40 L = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Syarat atas} : 1/25 L = 3 \text{ m}$$

a. Tinggi busur atas

Nilai F_a yang direncanakan adalah 11 m

Dimana syarat: $1/8 \leq f_a \leq 1/5$

Maka:

Syarat maximum: $1/5 L_a = 14,4$ m

Syarat minimum : $1/8 L_a = 9$ m

Maka berdasarkan data yang telah diperoleh didapatkan nilai tinggi batang dari tepi bawah dimana:

$$\begin{aligned} f_a &= f - v \\ &= 16 - 7 \\ &= 9 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Tinggi busur bawah

Nilai F_b yang direncanakan adalah 13 m

Dimana syarat: $1/8 \leq f_a \leq 1/5$

Maka:

Syarat maximum: $1/5 L_a = 14,4$ m

Syarat minimum : $1/8 L_a = 9$ m

c. Panjang penggantung busur digunakan perhitungan dengan menggunakan Pers. 3.9

$$Y_n = \frac{4fn(L-x)x}{Ln^2}$$

Dimana:

Y_n : Panjang Penggantung Busur (m)

F : Tinggi Busur (m)

X : Jarak Horizontal Penggantung dari Penggantung Ujung (m)

L : Panjang Bentang Busur (m)

Berdasarkan pers 3.9 di atas dapat diketahui :

a. Batang tepi atas

$$Y_a = (4 \cdot f_a (L_a - x) \cdot x) / (L_a^2)$$

Tabel 3.3: Nilai batang tepi atas.

No titik	X	Ya
A	-	-
1	0	0,0
2	4	1,9
3	8	3,6
4	12	5,0
5	16	6,2
6	20	7,2
7	24	8,0
8	28	8,6
9	32	8,9
10	36	9,0
11	40	8,9

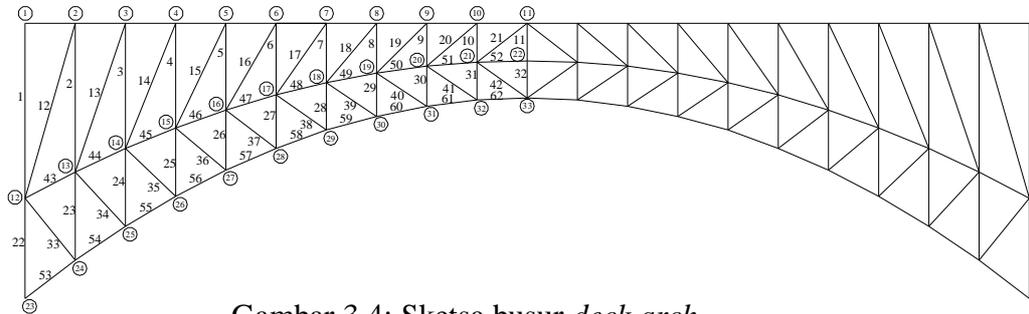
b. Batang tepi bawah

$$Y_b = (4 \cdot f_b (L_b - x) \cdot x) / (L_b^2)$$

Tabel 3.4: Nilai batang tepi bawah

No titik	X	Ya
A	-	-
1	0	0,0
2	4	2,7
3	8	5,1
4	12	7,2
5	16	9,0
6	20	10,4
7	24	11,6
8	28	12,4
9	32	12,8
10	36	13,0
11	40	12,8

Melalui perhitungan di atas dapat dilakukan perancangan busur jembatan sebagai berikut :



Gambar 3.4: Sketsa busur *deck arch*.

3.3. Perhitungan Kekuatan Jembatan Rel Ganda

3.3.1. Perhitungan beban mati

Berat jenis yang digunakan dalam perhitungan beban mati telah diatur dalam PM No 60 Tahun 2012 sebagai berikut :

Tabel 3.5 : Berat jenis beban mati.

Bahan	Berat Jenis Bahan
Baja, Baja cor	78.50KN/m ³
Besi cor	72.50 KN/m ³
Kayu	8 KN/m ³
Beton	24 KN/m ³
Aspal anti air	11 KN/m ³
Ballast Gravel (batu pecah)	19 KN/m ³

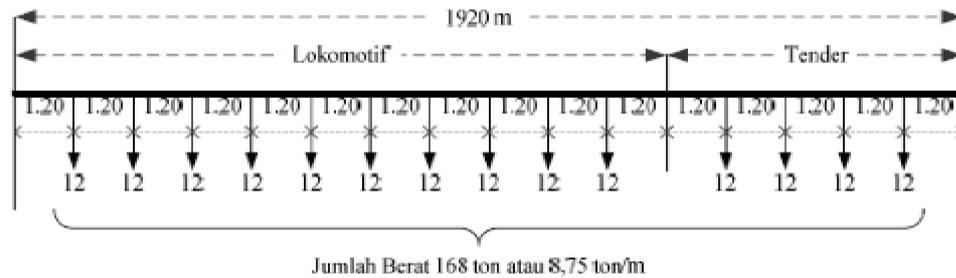
3.3.2. Perhitungan Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuairencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Adapun rencana muatan yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 3.5. di bawah ini.

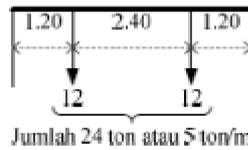
RENCANA MUATAN 1921

MUATAN GERAK

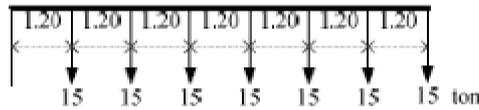
Sebagai muatan gerak dianggap suatu susunan kereta api terdiri dari 2 Lokomotif pakai tender, serupa demikian:



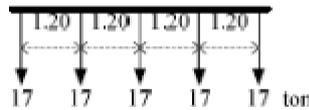
Bila dengan kereta / gerobak yang banyaknya tidak tertentu, serupa demikian:



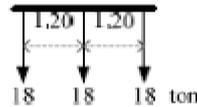
Susunan kereta itu selalu dibikin sehingga bagi bagian yang harus dihitung kekuatannya paling berbahaya. Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 15 ton.



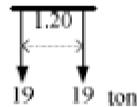
Jika hanya ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 17 ton.



Jika hanya ada 3 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 18 ton.



Jika hanya ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 19 ton.



Jika hanya ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 20 ton.



Dari rencana-rencana muatan tersebut, selalu yang dipilih itu rencana yang pendapatannya paling berbahaya bagi yang dihitungnya.

Gambar 3.5 : Rencana muatan beban hidup.

3.3.3. Perhitungan beban kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor i adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$1. \text{ Untuk rel pada alas balas } i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L} \quad (3.12)$$

$$2. \text{ Untuk rel pada peletakan kayu } i = 0,2 + \frac{22,5}{50+L} \quad (3.13)$$

$$3. \text{ Untuk rel secara langsung pada baja } i = 0,3 + \frac{22,5}{50+L} \quad (3.14)$$

Dimana :

I = faktor kejut

L = panjang bentang

Maka berdasarkan penjabaran persamaan di atas, dalam penelitian ini digunakan Pers. 3.13, sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$i = 0,2 + \frac{22,5}{50+L}$$

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

$$= \frac{0,2 (50+30)}{50+30} + \frac{22,5}{50+30}$$

$$= \frac{39+22,5}{2(50+80)}$$

$$= \frac{61,5}{260}$$

$$i = 0,236$$

3.3.4. Perhitungan beban horisontal

a. Beban sentrifugal

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor a terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horisontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 R} \quad (3.15)$$

Dimana:

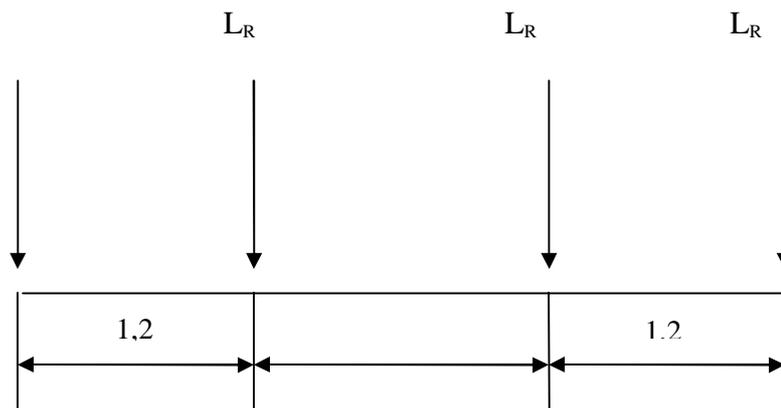
α : Koefisien Beban Sentrifugal

V : Kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam)

R : Radius tikungan (m)

b. Beban lateral kereta

Beban lateral kereta adalah sebagaimana ditunjukkan padagambar di bawah. 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 3.6 : Beban lateral kereta.

Dimana :

L_R = Beban Lateral kereta

c. Beban rem dan beban traksi

Beban Pengereman dan Traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

d. Beban rel panjang longitudinal

Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 KN/m dan maksimum 2000 KN/m.

3.3.5. Perhitungan beban angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horisontal, tipikal nilainya adalah:

- a. 3,0 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2,0 kN/m², pada areal proyeksi rangkabatang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal system lantai.
- b. 1,5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1,2 kN/m² untuk jembatan selain gelagar, dek, rasuk atau jembatan komposit, sedangkan 0,8 kN/m² untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

3.3.6. Perhitungan beban gempa

Perhitungan beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (CSM) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (Rd) dengan formula yang merujuk pada persamaan dalam SNI 1725-2016 tentang pembebanan gempa untuk jembatan, sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (3.16)$$

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 respon elastic (CSM) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektrum percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan.

3.3.7. Perhitungan Beban Temperatur

Beban temperatur pada jembatan sesuai dengan yang disyaratkan dalam peraturan Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725:2016 adalah sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 : Temperatur jembatan rata-rata nominal.

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum (1)	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 temperaturmaksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut :

$$\Delta_T = \alpha L (T_{max} - T_{min}) \quad (3.17)$$

Dimana :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

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

Untuk koefisien muai temperatur dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 : Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur.

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

3.3.8. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 60 Tahun 2012 tentang jembatan kereta api. Perhitungan konstruksi dari sebuah jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar sesuai dengan Tabel 3.8 faktor beban berikut.

Tabel 3.8 : Faktor beban.

No Kombinasi pembebanan	Faktor									
	Beban tetap	Beban transien								
		D	L	I (Lxi)	C (Lxα)	L _R	L _F	B	W ₁	W ₂
1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0					
2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0			1.0	
3	1.0	1.1			1.0		1.0		1.0	
4	1.0							1.2		
5					1.0		1.1			
6						1.1			1.0	
7							1.1		1.0	
8	1.0	1.0		1.0						1.0
9										1.0
10	1.0	1.0		1.0						

Dimana:

- | | | | |
|----------------|-------------------------------|----------------|----------------------------------|
| D | : Beban Mati | L | : Beban Hidup |
| I | : (L x i) = Beban kejut | C | : (L x α) = Beban sentrifugal |
| L _F | : Beban Lateral | L _R | : Beban rel panjang longitudinal |
| W ₁ | : Beban angin (Tanpa kereta) | B | : Beban pengereman dan traksi |
| W ₂ | : Beban angin (Dengan Kereta) | E | : Beban Gempa |

3.4. Perhitungan Lendutan Jembatan

Lendutan didefinisikan sebagai besaran penyimpangan (*deflection*) yang tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis. Adapun persyaratan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.9 dibawah ini.

Tabel 3.9 : Koefisien lendutan maksimum jembatan baja.

Jenis -Jenis kereta	Gelagar			Rangka batang	
	L (m)	L<50	L≥50	Seluruh rangka	
Lokomotif		L/800	L/700	L/1000	
Kereta listrik dan/ atau Kereta	V(km/h)	V<100	L/700		
		100<V≤130	L/800		L/700
		100<V≤130	L/1100		L/900

Perhitungan lendutan dapat dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.18 berikut ini:

$$\sigma = \frac{L}{700} \quad (3.18)$$

Dimana:

σ = Lendutan

L = Panjang bentang gelagar melintang

Setelah besar dari nilai lendutan jembatan berhasil didapatkan maka langkah selanjutnya adalah membandingkan dengan lendutan izin, apabila lendutan yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan besar lendutan yang telah ditetapkan, maka profil baja layak digunakan. Adapun persamaan yang digunakan untuk perhitungan perbandingan lendutan jembatan dan lendutan yang ditetapkan dapat dilihat pada Pers. 3.19 di bawah ini:

$$\sigma (y) = \frac{1 \times \text{beban gandar} \times L}{48 \times E \times I} + \frac{5 \times DL \times L}{243 \times E \times I} \quad (3.19)$$

3.5. Perhitungan

Perhitungan volumetrik material baja yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan aplikasi SAP2000.

3.6. Pemodelan dan Analisa Struktur dengan SAP 2000

Melakukan pemodelan struktur jembatan busur rangka baja serta melakukan analisis gaya-gaya dalam dan lendutan yang terjadi pada struktur jembatan busur rangka baja dengan program bantu SAP 2000.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan Struktur Gelagar

4.1.1. Perancangan gelagar memanjang dan melintang jembatan

Untuk perencanaan balok memanjang dan melintang ini menggunakan baja dengan mutu BJ 41 dengan ketentuan sebagai berikut:

Tegangan leleh (f_y) : 250 Mpa = 2500 Kg/cm²

Tegangan Ultimate : 410 Mpa = 4100 Kg/cm²

Modulus elastisitas : 200000 MPa

Profil yang digunakan adalah profil WF 1200 x 450 x 16 x 38. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$d = 1200 \text{ mm}$	$i_x = 16,79 \text{ cm}$
$bf = 450 \text{ mm}$	$i_y = 4,71 \text{ cm}$
$tw = 16 \text{ cm}$	$I_x = 23700 \text{ cm}^4$
$tf = 38 \text{ cm}$	$I_y = 1740 \text{ cm}^4$
$A = 84,12 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1185 \text{ cm}^3$
$g = 66,03 \text{ kg/m}$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$

4.1.2. Pembebanan gelagar memanjang dan melintang jembatan

a. Beban mati

1) Bantalan rel

Dimensi bantalan rel mengacu pada ketentuan yang berlaku dengan bantalan terbuat dari kayu. Dimensi bantalan rel untuk lebar jalan rel 1067 adalah Panjang = 2 m, Lebar maksimum = 0,26 m Tinggi maksimum = 0,22 m, maka berlaku:

$$W = 2 \times 0,26 \times 0,22 \times 1000 = 114,40 \text{ kg/ buah}$$

$$\text{Jarak antar bantalan} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Panjang jembatan} = 80 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ bantalan} &= \frac{w \times \text{jumlah bantalan}}{L \text{ jembatan}} \\ &= \frac{114,4 \times 80/0,6}{80} \\ &= 191,62 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Pada perencanaan ini, jembatan kereta yang dimaksud adalah jembatan rel ganda yang berarti pada jembatan terdapat dua jalur kereta.

$$\begin{aligned} \text{Maka, } Q \text{ bantalan total} &= Q \text{ bantalan} \times \text{jumlah jalur} \\ &= 191,62 \times 2 \\ &= 383,24 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2) Rel Kereta

Untuk perencanaan ini digunakan rel dengan tipe R 60 dengan data yang terlampir pada Tabel 4.1. tipe rel :

Tabel 4.1: Tipe rel.

Besaran geometri rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138	153	159	172
B (mm)	110	127	140	150
C (mm)	68.50	65	70	74.30
D (mm)	13.50	15	16	16.50
E (mm)	40.50	49	49.40	51.00
F (mm)	23.50	30	30.20	31.50
G (mm)	72	76	74.79	80.95
R (mm)	320	500	508	120
A (cm ²)	54.26	64.20	69.34	76.86
W (Kg/m)	42.59	50.40	54.43	60.34
I _x (Cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68.50	71.60	76.20	80.95
A = Luas penampang				
W = berat rel per meter				
I _x = momen inersia terhadap sumbu x				
Y _b = jarak tepi bawah rel ke garis netral				

Berdasarkan Tabel 4.1 maka Q rel sebesar 60,34 kg/m.

$$\begin{aligned}\text{Beban rel untuk 2 jalur} &= 60,34 \times 2 \text{ jalur} \times 2 \text{ rel} \\ &= 482,72 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Dari perhitungan beban di atas, maka dapat dirangkum total beban mati menjadi :

$$\begin{aligned}\text{Beban mati total,} \quad QD &= Q \text{ bantalan} + Q \text{ rel} \\ &= 383,24 + 482,72 \\ &= 865,96 \text{ kg/m.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati untuk 1 rel} &= Q \text{ bantalan}/4 + Q \text{ rel}/4 \\ &= 383,24/2 + 482,72/4 \\ &= 95,81 + 60,34 \text{ kg/m} \\ &= 156,15 \text{ kg/m (input SAP 2000)}\end{aligned}$$

b. Beban hidup gandar

Pada perencanaan ini digunakan beban berjalan berupa beban gandar kereta yang terdiri dari beban gandar lokomotif dan beban gandar gerbong. Besaran beban dan jarak antar beban yang digunakan seperti yang tercantum di gambar dibawah ini. Sedangkan jumlah gerbong digunakan dalam perhitungan yaitu sebanyak 8 buah gerbong.

Dari konfigurasi lokomotif ditambang dengan 8 rangkaian gerbong, maka didapat panjang total rangkaian kereta adalah 57,6m. Lalu didapat total beban kereta sebesar:

$$Q \text{ kereta} = \frac{12 \text{ ton} \times 30 \text{ gandar}}{\text{panjang bentang kereta}} = 6.25 \text{ ton/m.}$$

Apabila diasumsikan pada saat yang bersamaan terdapat dua buah kereta yang melintasi jembatan maka total beban kereta menjadi $6.25 \times 2 = 12.5 \text{ ton/m}$.

c. Beban Kejut

Beban kejut merupakan beban yang bekerja pada rel dan sejalan dengan beban gandar. Beban kejut didapat dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor i adalah dengan menggunakan rumus yang telah dinyatakan pada Pers. 3.13.

Adapun rumus yang dimaksud adalah sebagai berikut :

$$\text{Untuk rel secara langsung pada kayu, } i = 0,2 + \frac{25}{50+L}$$

Dimana:

i = faktor kejut

L = panjang bentang

Maka berdasarkan persamaan di atas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Beban kereta (lokomotif dan gerbong) = 12 ton. Diasumsikan terdapat dua kereta yang terdapat di atas jembatan.

$$\begin{aligned} \text{Beban kereta} &= 12 \text{ ton} \times \text{jumlah kereta} \\ &= 12 \times 2 = 24 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor } i = 0,2 + \frac{25}{50+L} = 0,2 + \frac{25}{50+80} = 0,392$$

$$\begin{aligned} \text{Beban kejut} &= i \times \text{beban kereta} \\ &= 24 \text{ Ton} \times 0,392 \\ &= 9,415 \text{ ton} \end{aligned}$$

Beban kejut yang bekerja dalam satu rel = 9,415ton/4 rel

$$= 2,354 \text{ ton (input SAP 2000)}$$

d. Beban lateral

Beban lateral merupakan beban berjalan sejalan dengan kereta yang bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel secara horizontal. Besarannya adalah sebesar 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau gerbong. Sesuai perancangan, maka diasumsikan terdapat dua buah kereta yang bekerja pada bagian atas sehingga.

$$Q \text{ rangkaian kereta} = 12.5 \text{ ton/m}$$

$$\text{Beban lateral} = 20\% \times 12,5 = 2,5 \text{ ton/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban lateral untuk 1 jalur kereta} &= 2,5/2 \text{ jalur} \\ &= 1,25 \text{ ton/m (input SAP 2000)} \end{aligned}$$

e. Beban pengereman dan traksi

Beban pengereman dan traksi adalah sebesar 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta kearah rel (secara longitudinal).

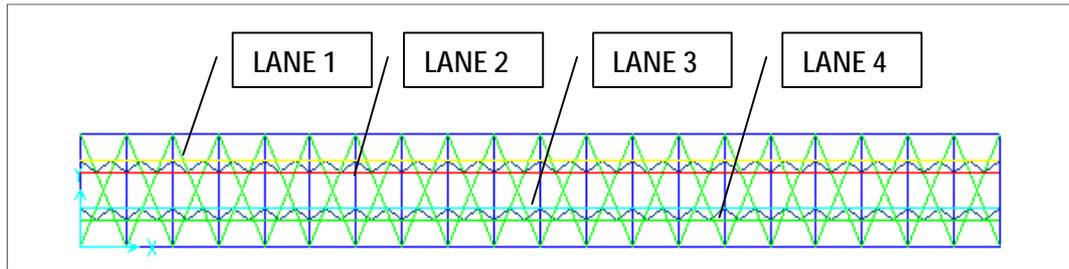
$$Q \text{ rangkaian kereta} = 12.5 \text{ ton/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Lateral} &= 25\% \times 12,5 \% \\ &= 3,125 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban traksi untuk setiap rel adalah} &= 3,125/4 \text{ rel} \\ &= 0,78 \text{ ton/m}^2 \text{ (input SAP 2000)} \end{aligned}$$

4.1.3. Pemodelan gelagar jembatandan beban kereta api

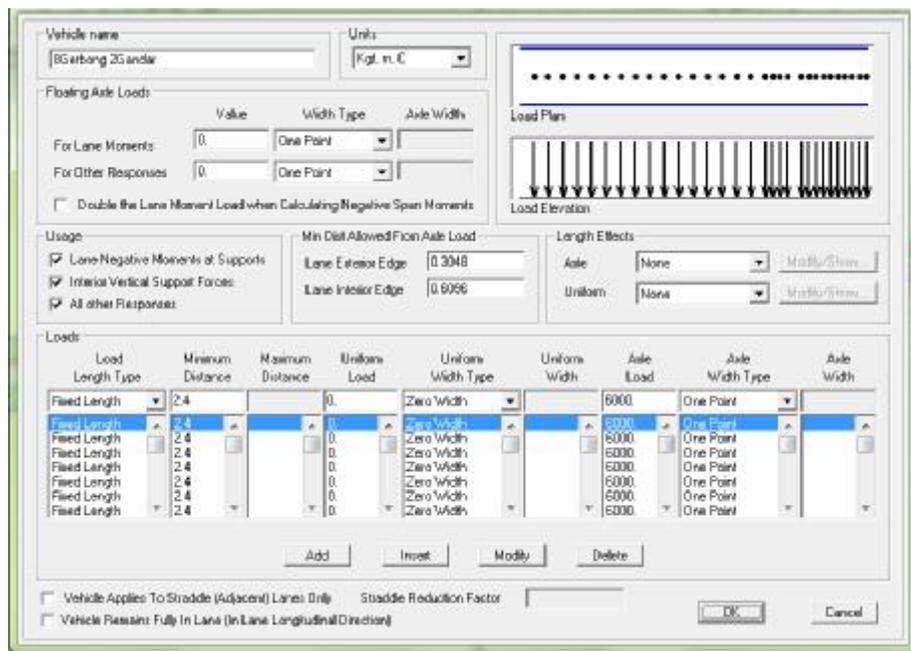
Gelagar memanjang dan melintang didefinisikan dalam pemodelan program SAP 2000 bentuk 3D sesuai dengan jalur kereta api yang berada di atasnya. Jalur lintasan kereta api kemudian didefinisikan menjadi LANE 1, LANE 2, LANE 3, dan LANE 4 untuk masing-masing rel kereta seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Jalur kereta api dalam SAP 2000.

Dalam program SAP 2000, beban kereta api dimodelkan sebagai kendaraan dengan beban-beban sesuai dengan beban roda untuk setiap relnya. Sehingga beban total kereta api dibagi menjadi dua untuk setiap relnya.

Beban hidup kendaraan atau beban kereta api dapat dilihat pada Gambar 4.2 sesuai dengan yang didefinisikan didalam SAP 2000 dengan kriteria beban lokomotif, tender dan 8 buah gerbong.



Gambar 4.2: Beban hidup kereta api.

Demikian juga beban kejut kereta api dedefinisikan berdasarkan setiap beban jalur rel seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.3.

b. Batang penggantung *Through Arch*

Profil WF 450 x 450 x 39 x 45. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$d = 450 \text{ mm}$	$i_x = 16,79 \text{ cm}$
$bf = 450 \text{ mm}$	$i_y = 4,71 \text{ cm}$
$tw = 39 \text{ cm}$	$I_x = 23700 \text{ cm}^4$
$tf = 45 \text{ cm}$	$I_y = 1740 \text{ cm}^4$
$A = 84,12 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1185 \text{ cm}^3$
$g = 66,03 \text{ kg/m}$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$

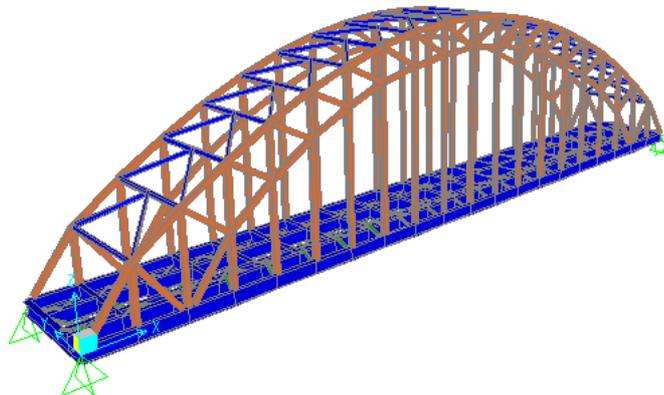
c. Ikatan angin *Through Arch*

Profil WF 400 x 200 x 8 x 13. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$d = 400 \text{ mm}$	$i_x = 16,79 \text{ cm}$
$bf = 200 \text{ mm}$	$i_y = 4,71 \text{ cm}$
$tw = 8 \text{ cm}$	$I_x = 23700 \text{ cm}^4$
$tf = 13 \text{ cm}$	$I_y = 1740 \text{ cm}^4$
$A = 84,12 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1185 \text{ cm}^3$
$g = 66,03 \text{ kg/m}$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$

4.2.2. Pemodelan struktur busur *Through Arch*

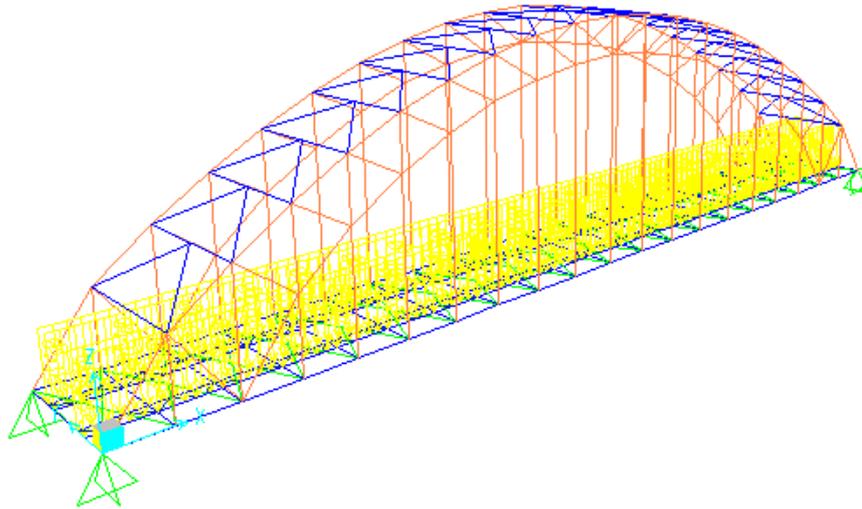
Pemodelan struktur dimodelkan menggunakan program SAP 2000 dengan model 3D dan pembebanan sesuai dengan yang telah diperhitungkan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Model 3D jembatan *Through Arch*.

a. Beban mati pada jembatan *Through Arch*

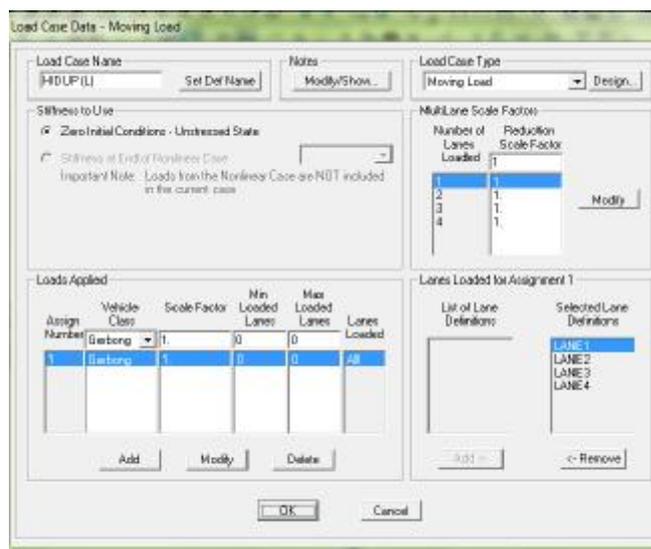
Beban mati merupakan beban bantalan rel dan rel yang berada diatas gelagar memanjang dan melintang. Beban mati dimodelkan dalam SAP 2000 seperti Gambar 4.5.



Gambar 4.5: Beban mati pada jembatan *Through Arch*.

b. Beban hidup pada jembatan *Through Arch*

Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar berjalan sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000 seperti Gambar 4.6.

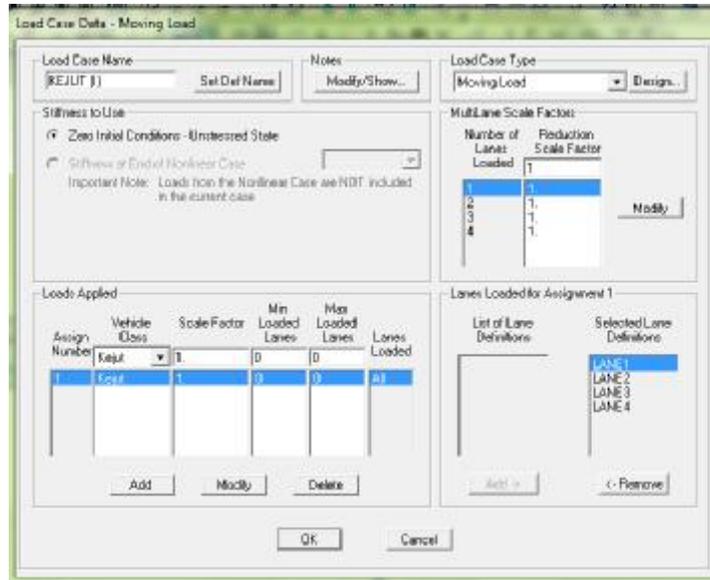


Gambar 4.6: Beban hidup (*moving load*) pada jembatan *Through Arch*.

c. Beban kejut pada jembatan *Through Arch*

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta.

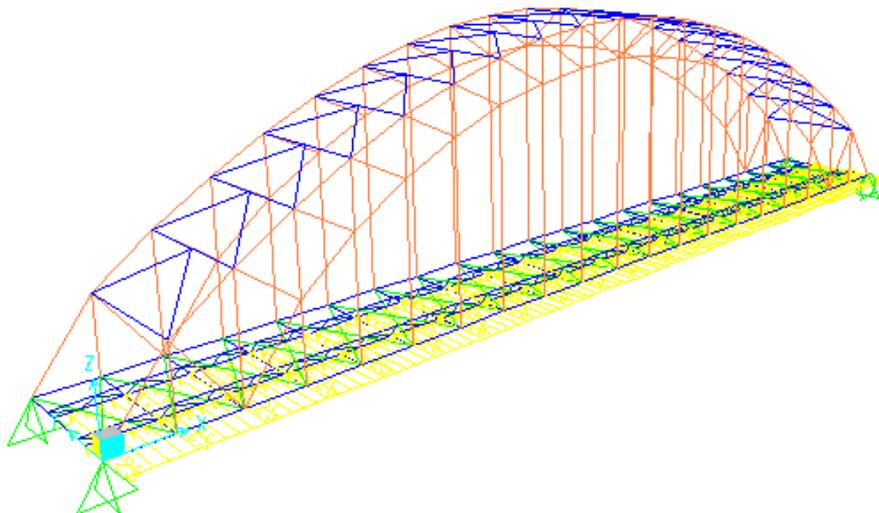
Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000 seperti Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Beban kejut (*moving load*) pada jembatan *Through Arch*.

d. Beban lateral pada jembatan *Through Arch*

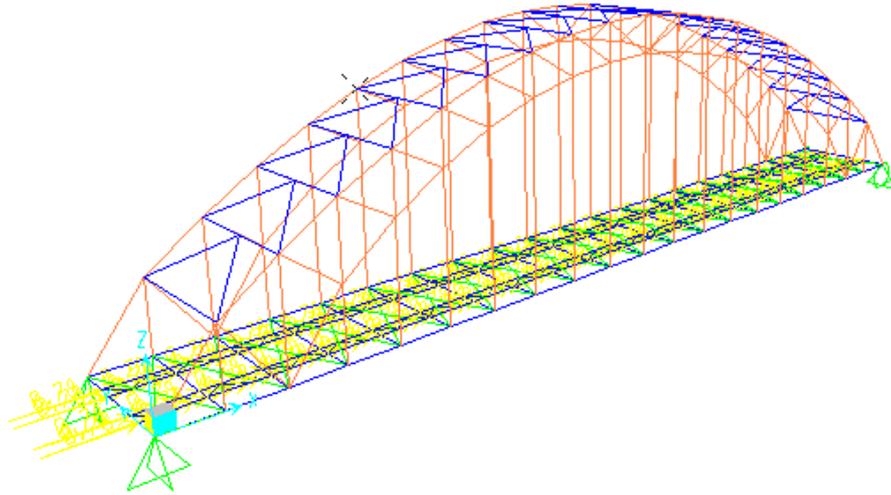
Beban lateral kereta adalah beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus aral rel, secara horizontal. Besarannya adalah 15% atau 20% dari beban gandar. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP 2000 seperti Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Beban lateral (*moving load*) pada jembatan *Through Arch*

e. Beban traksi pada jembatan *Through Arch*

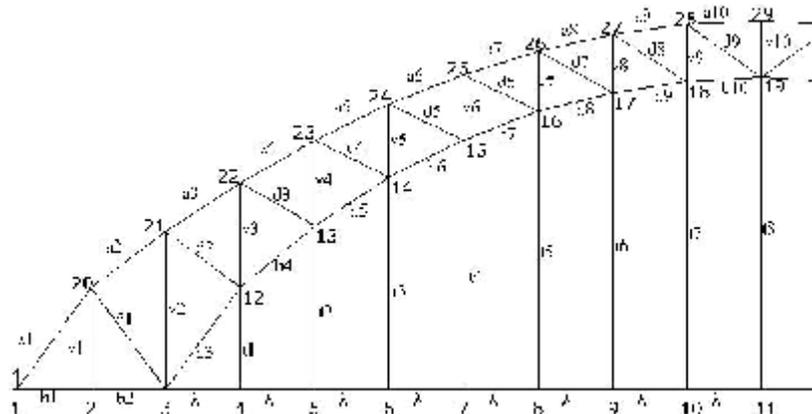
Beban pengereman dan traksi adalah 25% dari beban kereta, bekerja secara longitudinal ke arah rel. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP 2000 seperti Gambar 4.9.



Gambar 4.9: Beban traksi (*rem*) pada jembatan *Through Arch*

f. Beban angin pada jembatan *Through Arch*

Pada perhitungan beban angin, beban yang bekerja adalah berupa beban terpusat arah melintang horizontal yang terjadi pada setiap titik simpul jembatan. Besaran beban yang bekerja pada setiap titik simpul berbeda-beda tergantung dari luasan profil yang terkait dengan titik simpul yang bersangkutan dan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10: Penamaan titik simpul pada jembatan *Through Arch*

Koefisien beban angin yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 adalah berupa beban angin per satuan luas. Koefisien beban anginnya adalah sebagai berikut:

- a) 3.0 kN/m² pada areal proyeksi jembatan tanpa kereta di atasnya.
- b) 1.5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya.

Contoh Perhitungan Beban Angin pada Titik Simpul 1.

Batang-batang yang mengapit simpul 1:

Batang diagonal atas segmen a1

$$D = 0,5 \text{ m } L_{a1} = 6,8 \text{ m}$$

Batang Horizontal b1

$$D = 0,5 \text{ m } L_{b1} = 4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas total profil pada simpul (1)} &= (D1 \cdot L_{a1}) + (D2 \cdot L_{b1}) \\ &= (0,5 \cdot 6,8) + (0,5 \cdot 4) \\ &= 5,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya angin tanpa kereta (W1)} &= A \times 3 \text{ kN/m}^2 \\ &= 5,4 \text{ m}^2 \times 3 \text{ kN/m}^2 \\ &= 16,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya angin dengan kereta (W2)} &= A \times 1,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= 5,4 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= 8,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

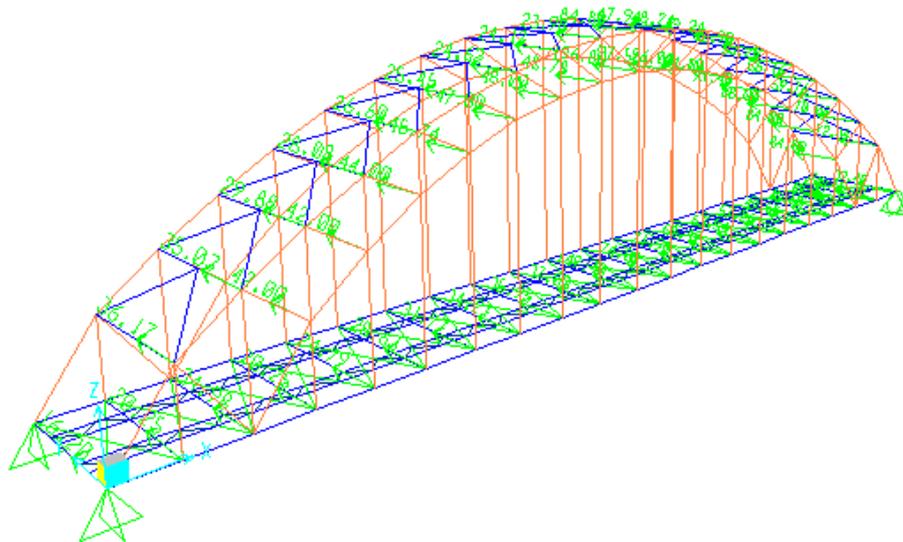
Berikut ini merupakan hasil rekap perhitungan beban angin yang terjadi pada masing-masing titik simpul pada Jembatan *Through Arch* dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2: Gaya angin pada jembatan *Through Arch*.

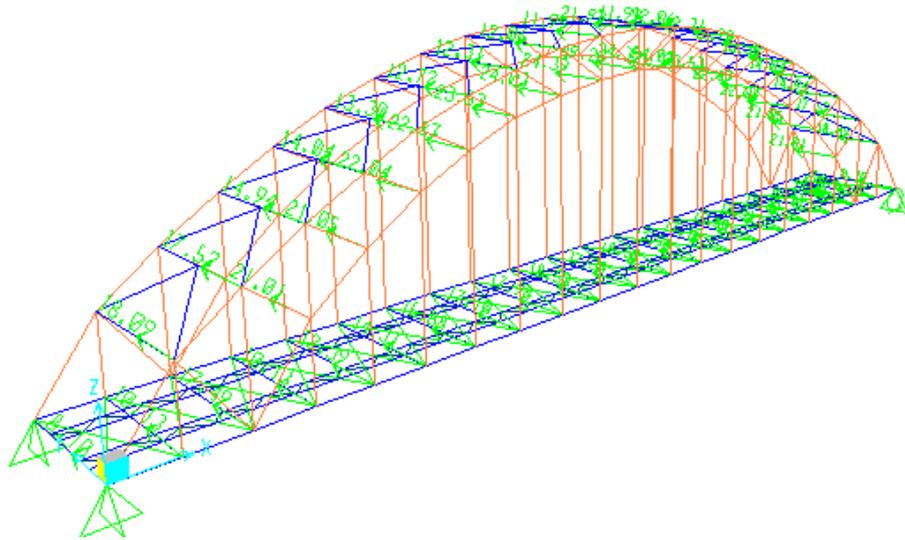
Titik	panjang elemen (P)		Luas (0,5xP)	Gaya angin tanpa kereta (Luas x 3) kN	Gaya angin dengan kereta
	(m)		(m ²)		(1,5 x Luas) kN
1	a1+b1	10.801	5.400	16.20	8.10
2	b1+b2+v1	13.500	6.750	20.25	10.13
3	b2+λ+b3+v2	23.323	11.661	34.98	17.49

4	$\lambda+\lambda+t1$	13.500	6.750	20.25	10.13
5	$\lambda+\lambda+t2$	16.524	8.262	24.79	12.39
6	$\lambda+\lambda+t3$	19.084	9.542	28.63	14.31
7	$\lambda+\lambda+t4$	21.178	10.589	31.77	15.88
8	$\lambda+\lambda+t5$	22.806	11.403	34.21	17.10
9	$\lambda+\lambda+t6$	23.969	11.985	35.95	17.98
10	$\lambda+\lambda+t7$	24.667	12.334	37.00	18.50
11	$\lambda+\lambda+t8$	24.900	12.450	37.35	18.68
12	$b3+b4+t1+d2+v3$	28.018	14.009	42.03	21.01
13	$b4+b5+t2+d3+v4$	28.069	14.035	42.10	21.05
14	$b5+b6+t3+d4+v5$	29.392	14.696	44.09	22.04
15	$b6+b7+t4+d5+v6$	30.492	15.246	45.74	22.87
16	$b7+b8+t5+d6+v7$	31.374	15.687	47.06	23.53
17	$b8+b9+t6+d7+v8$	32.044	16.022	48.07	24.03
18	$b9+b10+t7+d8+v9$	32.518	16.259	48.78	24.39
19	$b10+b10a+t8+d9+v10$	32.809	16.404	49.21	24.61
20	$a1+a2+v1+d1$	24.115	12.057	36.17	18.09
21	$a2+a3+v2+d2$	23.356	11.678	35.03	17.52
22	$a3+a4+v3+d3$	19.922	9.961	29.88	14.94
23	$a4+a5+v4+d4$	18.721	9.360	28.08	14.04
24	$a5+a6+v5+d5$	17.736	8.868	26.60	13.30
25	$a6+a7+v6+d6$	16.964	8.482	25.45	12.72
26	$a7+a8+v7+d7$	16.410	8.205	24.62	12.31
27	$a8+a9+v8+d8$	16.081	8.040	24.12	12.06
28	$a9+a10+v9+d9$	15.990	7.995	23.98	11.99
29	$a10+a10a+v10+d9+d9a$	14.613	7.307	21.92	10.96

Berdasarkan tabel perhitungan beban angin, dapat dimodelkan dalam program SAP 2000 seperti Gambar 4.11 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.11: (a)Pembebanan gaya angin tanpa kereta (W1) pada Jembatan *Through Arch*; (b) Pembebanan gaya angin dengan kereta (W2) pada Jembatan *Deck Arch*

g. Beban gempa pada jembatan *Through Arch*

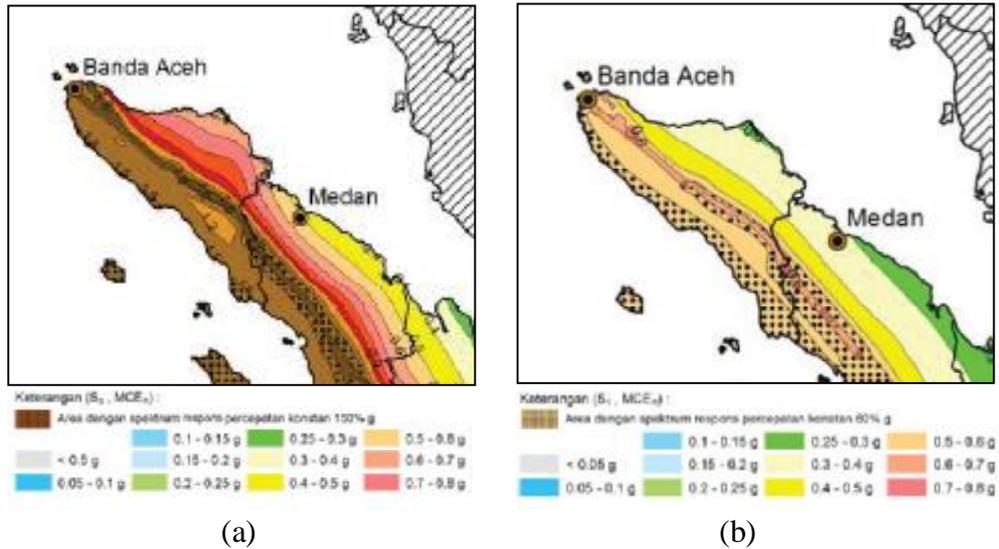
Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (CSM) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (Rd) dengan formula yang merujuk pada persamaan dalam SNI 2833-2016 tentang pembebanan gempa untuk gedung dan non gedung.

Diketahui parameter gempa sebagai berikut:

- Lokasi : Medan
- Jenis tanah : Sedang

Maka dari peta gempa gambar 4.12 tersebut diperoleh:

- 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 4.12: a) Peta respon percepatan gempa periode pendek 0,2 detik (S_s); dan b) Peta respon percepatan gempa periode 1 detik (S_1).

Parameter untuk jembatan dengan jenis struktur bagian bawah direncanakan tiang baja komposit vertikal, maka dari Tabel 4.3 tentang faktor modifikasi respon bangunan bawah jembatan dalam SNI 2833-2016 diperoleh:

- Faktor reduksi gempa, $R = 3,5$
- Faktor kuat lebih, $\Omega = 1,25$ (SNI 2833-2016, pasal 5.9.3.3a)

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.

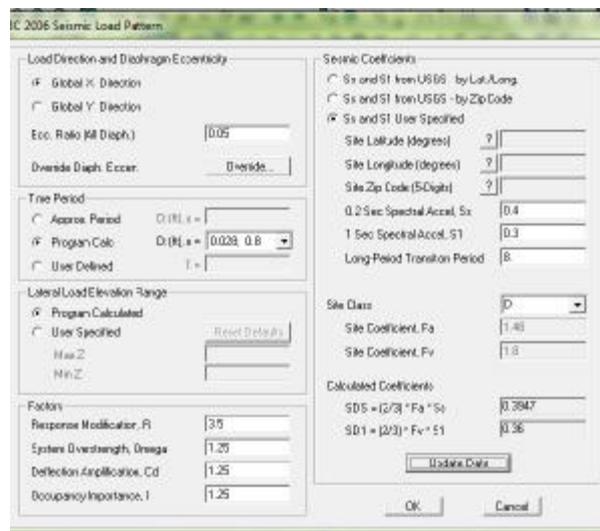
Tabel 4.3: Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah.

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 4.4 : Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur.

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 fondasi	1,0

Selanjutnya pembebanan struktur dengan metode statik ekuivalen dengan input data didalam program SAP 2000 menggunakan parameter gempa IBC 2006 sehingga gaya gempa secara otomatis didistribusikan oleh program ke setiap titik nodal dalam arah-x dan arah-y seperti ditunjukkan Gambar 4.13.



Gambar 4.13 : Parameter gempa statik pada SAP 2000 dengan metode IBC 2006

h. Beban temperatur (suhu) pada jembatan *Through Arch*

Beban temperatur sesuai dengan pembebanan suhu pada jembatan diberikan dengan nilai seperti Tabel 3.6, yaitu:

$$T_{\text{desain}} = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$$

$$T_{\text{desain}} = 45^{\circ} - 15^{\circ} = 30^{\circ} \text{ C.}$$

Dalam program SAP 2000 Beban tersebut diaplikasikan kepada setiap batang dari rangka jembatan seperti ditunjukkan Gambar 4.14.

Gambar 4.14 : Beban temperatur/suhu pada jembatan.

4.3. Desain dan Perencanaan Struktur Utama Jembatan Busur *Deck Arch*

4.3.1. Perancangan batang struktur busur *Deck Arch*

Untuk perencanaan struktur rangka menggunakan baja dengan mutu BJ 41 dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh (f_y) : 250 Mpa = 2500 Kg/cm²

Tegangan Ultimate : 410 Mpa = 4100 Kg/cm²

Modulus elastisitas : 200000 Mpa

Profil yang digunakan adalah:

a. Rangka busur *Deck Arch*

Profil WF 450 x 450 x 23 x 32. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$d = 450 \text{ mm}$	$i_x = 16,79 \text{ cm}$
$bf = 450 \text{ mm}$	$i_y = 4,71 \text{ cm}$
$tw = 32 \text{ cm}$	$I_x = 23700 \text{ cm}^4$
$tf = 32 \text{ cm}$	$I_y = 1740 \text{ cm}^4$
$A = 376,78 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1185 \text{ cm}^3$
$g = 66,03 \text{ kg/m}$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$

b. Batang penggantung *Deck Arch*

Profil WF 450 x 450 x 23 x 32. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$d = 450 \text{ mm}$	$i_x = 16,79 \text{ cm}$
$bf = 450 \text{ mm}$	$i_y = 4,71 \text{ cm}$
$tw = 32 \text{ cm}$	$I_x = 23700 \text{ cm}^4$
$tf = 32 \text{ cm}$	$I_y = 1740 \text{ cm}^4$
$A = 376,78 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1185 \text{ cm}^3$
$g = 66,03 \text{ kg/m}$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$

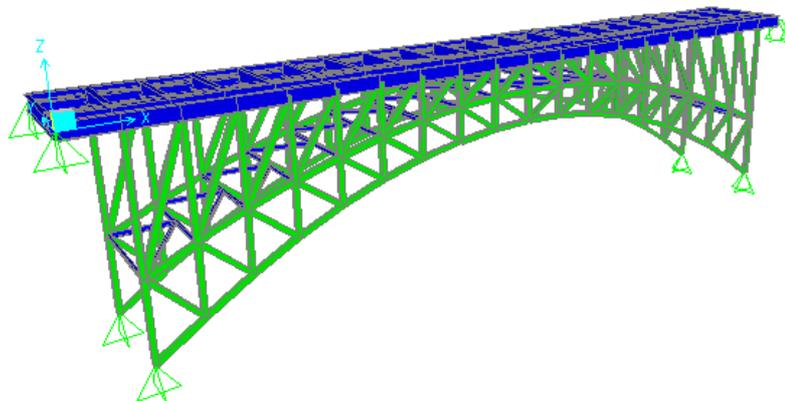
c. Ikatan angin *Deck Arch*

Profil WF 400 x 200 x 8 x 13. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$d = 400 \text{ mm}$	$i_x = 16,79 \text{ cm}$
$bf = 200 \text{ mm}$	$i_y = 4,71 \text{ cm}$
$tw = 8 \text{ cm}$	$I_x = 23700 \text{ cm}^4$
$tf = 13 \text{ cm}$	$I_y = 1740 \text{ cm}^4$
$A = 84,12 \text{ cm}^2$	$Z_x = 1185 \text{ cm}^3$
$g = 66,03 \text{ kg/m}$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$

4.3.2. Pemodelan struktur busur *Deck Arch*

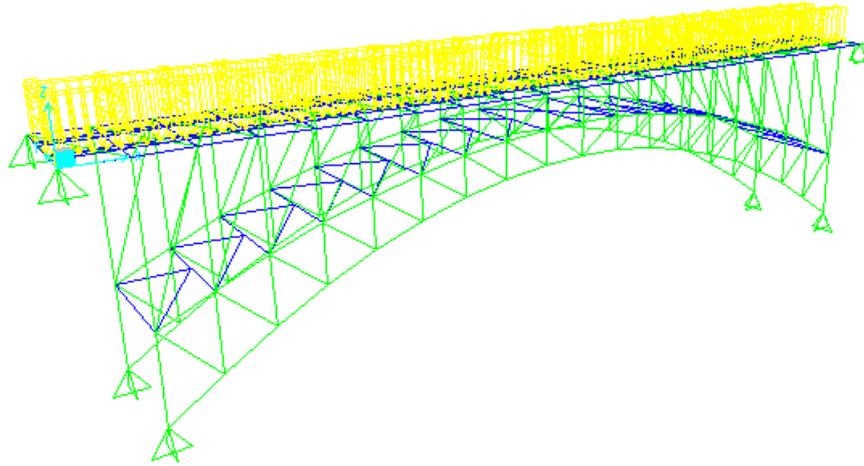
Pemodelan struktur dimodelkan menggunakan program SAP 2000 dengan model 3D dan pembebanan sesuai dengan yang telah diperhitungkan seperti Gambar 4.15.



Gambar 4.15: Model 3D Jembatan *Deck Arch*.

a. Beban mati pada jembatan *Deck Arch*

Beban mati merupakan beban bantalan rel dan rel yang berada diatas gelagar memanjang dan melintang. Beban mati dimodelkan dalam SAP 2000 seperti Gambar 4.16.



Gambar 4.16: Beban mati pada jembatan *Deck Arch*.

b. Beban hidup pada jembatan *Deck Arch*

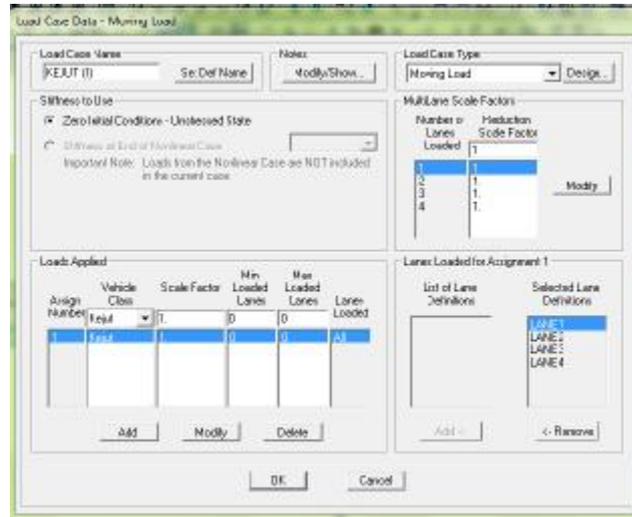
Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar berjalan sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Berikut ini Gambar 4.17 skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4.17 : Beban hidup (*moving load*) pada jembatan *Deck Arch*.

c. Beban kejut pada jembatan *Deck Arch*

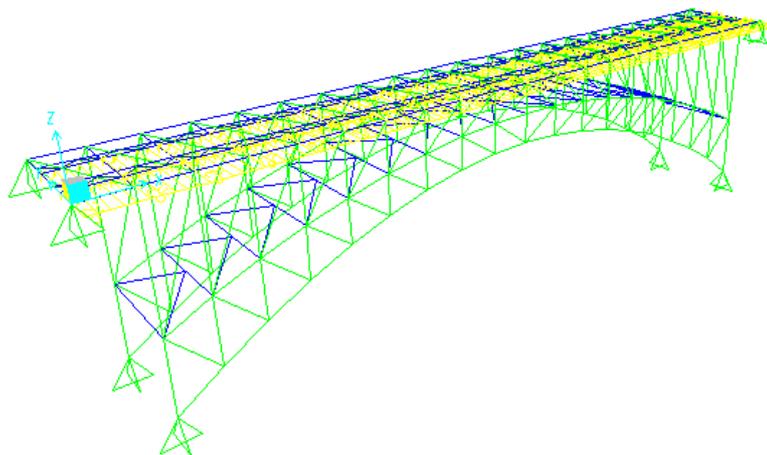
Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18: Beban Kejut (*moving load*) pada Jembatan *Deck Arch*.

d. Beban lateral pada jembatan *Deck Arch*

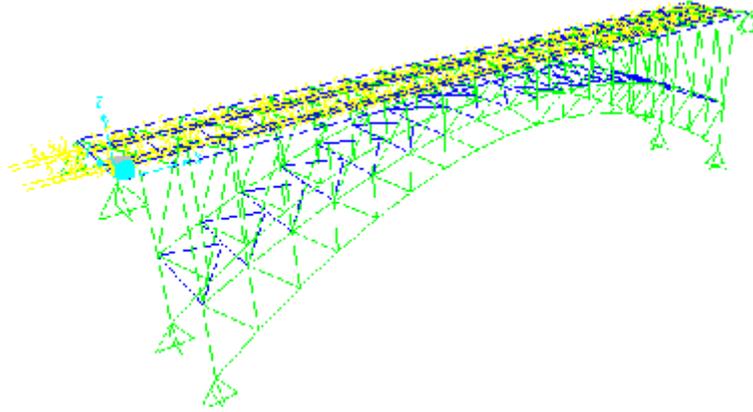
Beban lateral kereta adalah beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus aral rel, secara horizontal. Besarannya adalah 15% atau 20% dari beban gandar. Berikut ini Gambar 4.19 skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4.19: Beban Lateral pada Jembatan *Deck Arch*.

e. Beban traksi pada jembatan *Deck Arch*

Beban pengereman dan traksi adalah 25% dari beban kereta, bekerja secara longitudinal ke arah rel. Berikut ini Gambar 4.20 skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4.20: Beban Traksi (*rem*) pada Jembatan *Deck Arch*.

f. Beban angin pada jembatan *Deck Arch*

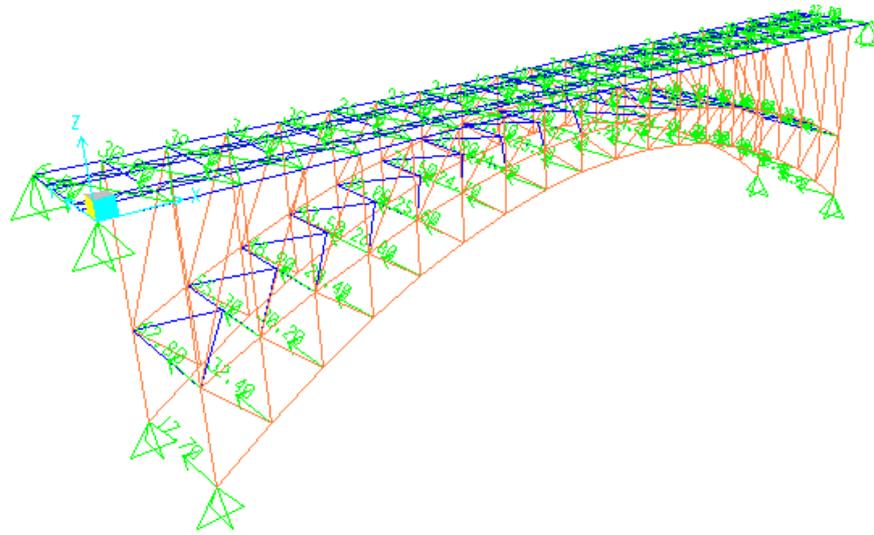
Pada perhitungan beban angin, beban yang bekerja adalah berupa beban terpusat arah melintang horizontal yang terjadi pada setiap titik simpul jembatan. Besaran beban yang bekerja pada setiap titik simpul berbeda-beda tergantung dari luasan profil yang terkait dengan titik simpul yang bersangkutan, karena koefisien beban angin yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 adalah berupa beban angin per satuan luas. Koefisien beban anginnya adalah sebagai berikut:

- a) 3.0 kN/m² pada areal proyeksi jembatan tanpa kereta di atasnya.
- b) 1.5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya.

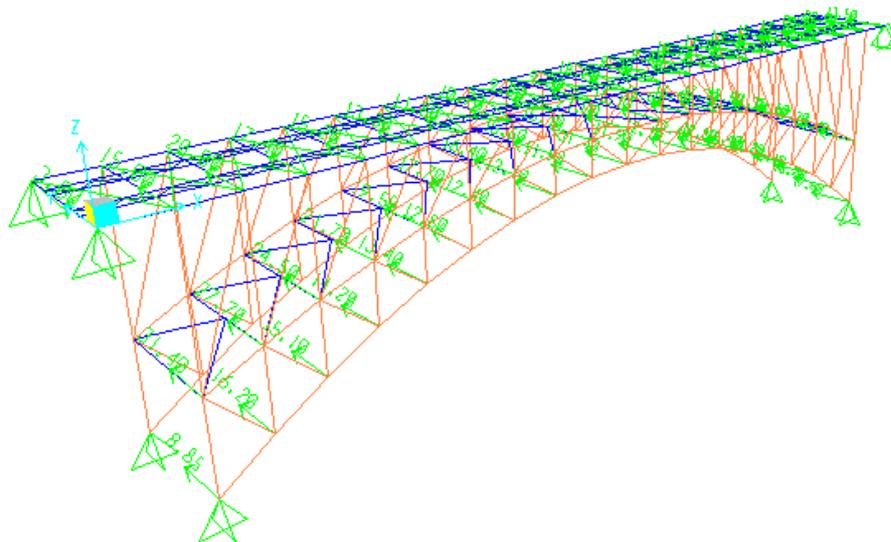
Tabel 4.5: Beban angin pada jembatan *Deck Arch*.

Titik	Panjang total (m)	Luas (0,5xP) (m ²)	Gaya angin tanpa kereta	Gaya angin dengan kereta
			W1 = (3xLuas) kN	W2 = (1,5xLuas) kN
1	4.00	2.00	6.0	3.0
2	20	10.00	30.0	15.0
3	26.60	13.30	39.9	20.0
4	23.20	11.60	34.8	17.4
5	20.25	10.13	30.4	15.2
6	17.78	8.89	26.7	13.3
7	15.76	7.88	23.6	11.8
8	14.21	7.10	21.3	10.7
9	13.09	6.54	19.6	9.8
10	12.39	6.19	18.6	9.3
11	12.07	6.03	18.1	9.1
12	41.83	20.92	62.8	31.4
13	36.89	18.45	55.3	27.7
14	32.61	16.31	48.9	24.5
15	28.99	14.50	43.5	21.7
16	26.01	13.01	39.0	19.5
17	23.67	11.83	35.5	17.7
18	21.93	10.96	32.9	16.4
19	20.77	10.38	31.1	15.6
20	20.16	10.08	30.2	15.1
21	14.00	7.00	21.0	10.5
22	11.8	5.9	17.7	8.85
23	21.60	10.80	32.4	16.2
24	20.14	10.07	30.2	15.1
25	18.91	9.45	28.4	14.2
26	17.90	8.95	26.8	13.4
27	17.09	8.55	25.6	12.8
28	16.50	8.25	24.7	12.4
29	16.11	8.05	24.2	12.1
30	15.92	7.96	23.9	11.9
31	20.88	10.44	31.3	15.7

Berdasarkan tabel perhitungan beban angin, dapat dimodelkan dalam SAP 2000 seperti gambar 4.22 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.22: (a) Pembebanan gaya angin tanpa kereta (W1) pada Jembatan *Deck Arch*; (b) Pembebanan gaya angin dengan kereta (W2) pada Jembatan *Deck Arch*

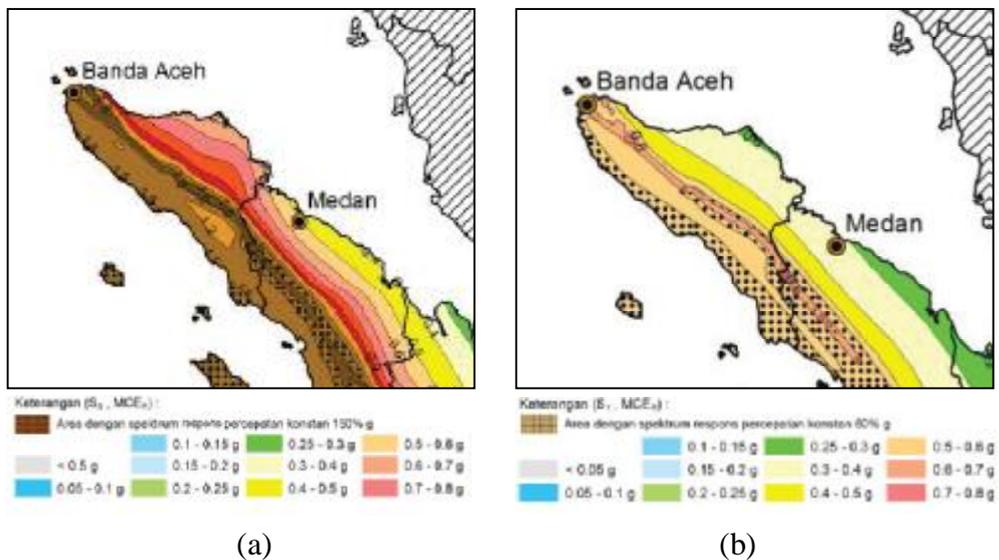
g. Beban gempa pada jembatan *Deck Arch*

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 (Rd) 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 4.23 tersebut diperoleh:

- Respon percepatan gempa batuan dasar periode pendek 0,2 detik, $S_s = 0,4$ g.
- Respon percepatan gempa batuan dasar periode pendek 1,0 detik, $S_1 = 0,3$ g.



Gambar 4.23:a) Peta respon percepatan gempa periode pendek 0,2 detik(S_s); dan
b) Peta respon percepatan gempa periode 1 detik (S_1).

Parameter untuk jembatan dengan jenis struktur bagian bawah direncanakan tiang baja komposit vertikal, maka dari Tabel 4.6 tentang faktor modifikasi respon bangunan bawah jembatan dalam SNI 2833-2016 diperoleh:

- Faktor reduksi gempa, $R = 3,5$
- Faktor kuat lebih, $\Omega = 1,25$ (SNI 2833-2016, pasal 5.9.3.3a)

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 dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6: Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah.

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 4.7: Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur.

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 fondasi	1,0

Selanjutnya pembebanan struktur dengan metode statik ekuivalen dengan input data didalam program SAP 2000 menggunakan parameter gempa IBC 2006 sehingga gaya gempa secara otomatis didistribusikan oleh program ke setiap titik nodal dalam arah-x dan arah-y seperti ditunjukkan Gambar 4.24.



Gambar 4.24: Parameter gempa statik pada SAP 2000 dengan metode IBC 2006

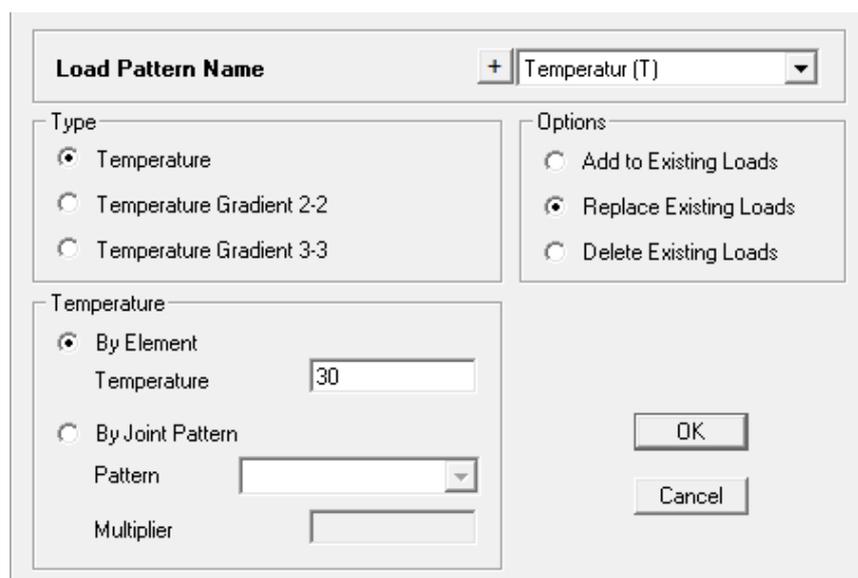
h. Beban temperatur (suhu) pada jembatan *Deck Arch*

Beban temperatur sesuai dengan pembebanan suhu pada jembatan diberikan dengan nilai seperti Tabel 3.6, yaitu:

$$T_{\text{desain}} = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$$

$$T_{\text{desain}} = 45 - 15 = 30 \text{ C.}$$

Dalam program SAP 2000 Beban tersebut diaplikasikan kepada setiap batang dari rangka jembatan seperti ditunjukkan Gambar 4.25.

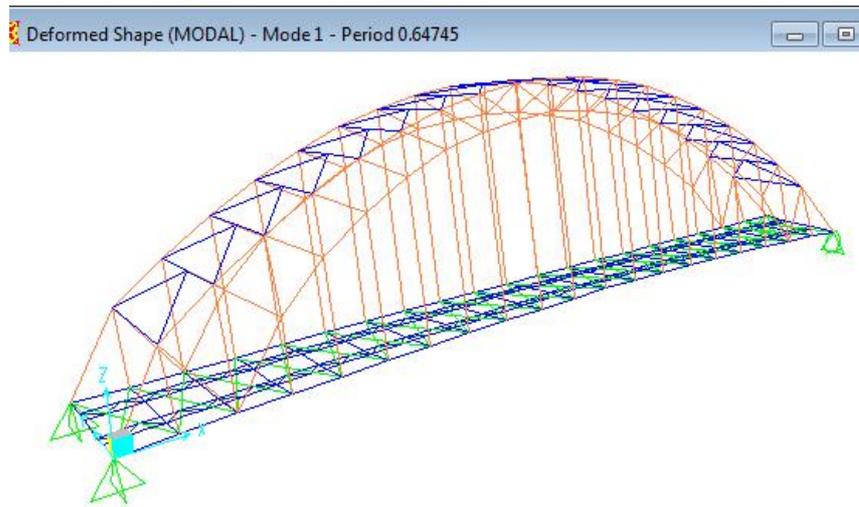


Gambar 4.25 : Beban temperatur/suhu pada jembatan

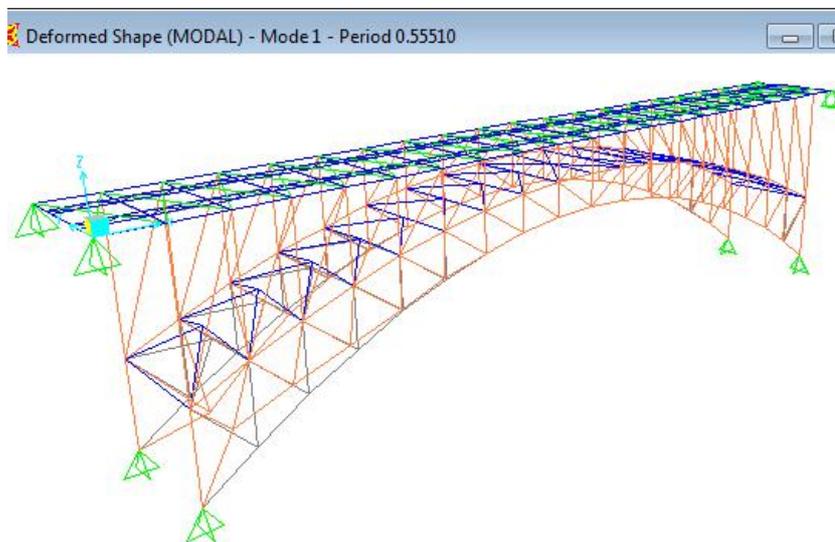
4.4. Hasil Desain Jembatan Busur *Through Arch* dan *Deck Arch*

4.4.1. Periode Alami Struktur

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000 untuk jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch*, maka untuk perioda alami struktur yang diperoleh adalah seperti ditunjukkan Gambar 4.26 dibawah ini.



(a)



(b)

Gambar 4.26: (a) Periode alami struktur T1 jembatan *Through Arch*;

(b) Periode alami struktur T1 jembatan *Deck Arch*.

Tabel 4.8 menampilkan periode untuk kedua jenis jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch* dengan selisih perbedaan sekitar 0,009 detik lebih besar tipe jembatan *Through Arch Deck arch* dibandingkan dengan *Deck arch*. Hal ini menunjukkan bahwa struktur *Deck Arch* memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan *Through Arch*.

Tabel 4.8: Perbandingan periode alami struktur jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch*

Periode (T) sekon	Jenis Jembatan		Perbedaan
	<i>Through Arch</i>	<i>Deck Arch</i>	
T ₁	0,647	0,556	0,091
T ₂	0,362	0,555	-0,193
T ₃	0,342	0,549	-0,207

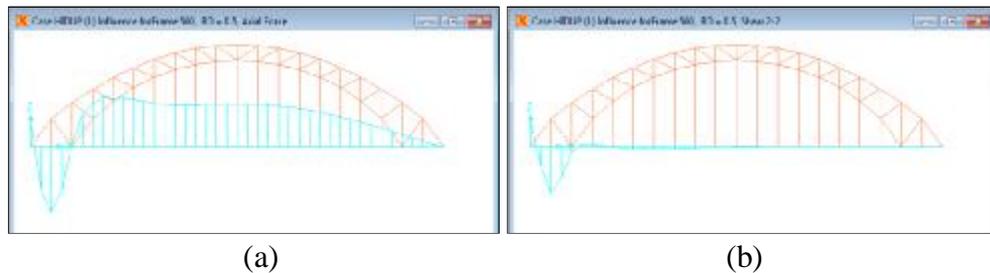
4.4.2. Garis pengaruh akibat beban bergerak (kereta api)

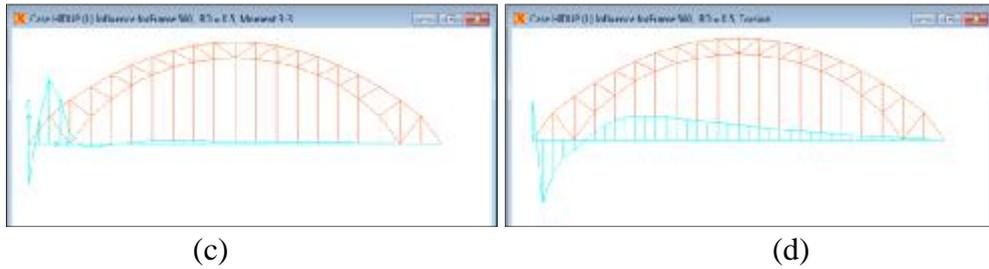
Garis pengaruh merupakan variasi dari reaksi, momen ataupun lintang akibat gaya terpusat yang bekerja pada titik tertentu dalam sebuah struktur.

Garis pengaruh merepresentasikan efek dari beban bergerak pada titik tertentu dalam struktur sedangkan diagram gaya dalam (Momen, Lintang dan Normal) merupakan representasi efek dari beban tersebut terhadap keseluruhan bagian struktur.

Pada Balok, perhitungan persamaan Garis Pengaruh dapat dilakukan terhadap reaksi Perletakan (R), momen (M), ataupun gaya Lintang (D), dengan menempatkan gaya satuan pada balok tersebut.

Pada jembatan *Through Arch*, beban satuan dari beban hidup (*moving load*) pada balok memberikan efek gaya dalam momen untuk girder balok memanjang dan melintang seperti ditunjukkan Gambar 4.27.

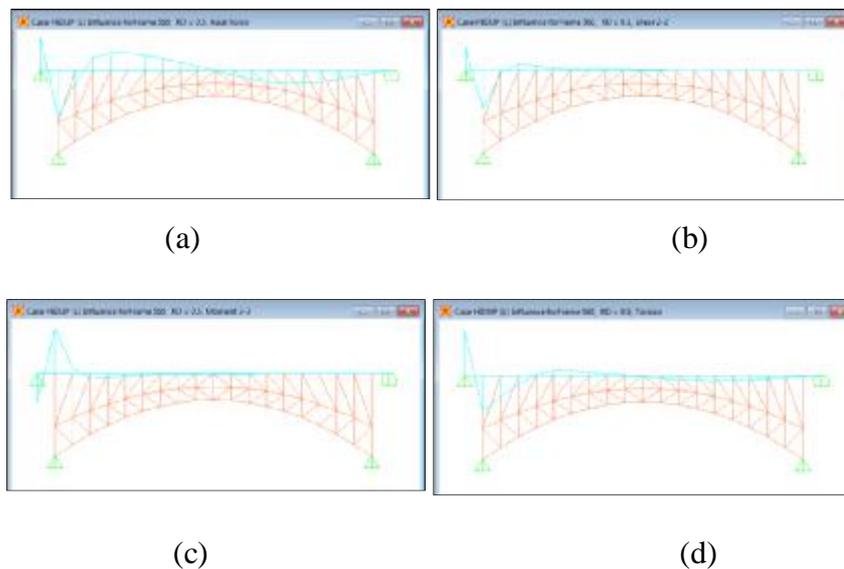




Gambar 4.27 : Gaya dalam akibat beban Garis Pengaruh pada ujung batang balok girder 1 pada jembatan *Through Arch* : (a) Gaya aksial, (b) Gaya geser, (c) Momen, dan (d) Torsi

Berdasarkan Gambar 4.27 yang merupakan gaya dalam dari beban garis pengaruhyang ditunjukkan terjadi pada batang/*frame* balok memanjang pertama. Terlihat gaya dalam maksimum terjadi pada batang beban garis pengaruh bekerja dengan formasi pengaruh gaya sampai batang-batang selanjutnya.

Demikian juga dengan beban garis pengaruh pada jembatan *Deck Arch* seperti pada Gambar 4.28 menunjukkan bahwa ada perbedaan perilaku gaya dalam pada batang jembatan dibandingkan dengan jembatan *Through Arch*.



Gambar 4.28: Gaya dalam akibat beban Garis Pengaruh pada ujung batang balok girder 1 pada jembatan *Deck Arch* : (a) Gaya aksial, (b) Gaya geser, (c) Momen, dan (d) Torsi.

4.4.3. Lendutan Struktur Jembatan

Lendutan yang terjadi pada struktur akibat pembebanan yang terjadi terutama beban mati dan beban hidup diperiksa pada dua titik pengamatan, yaitu lendutan pada gelagar jembatan dan lendutan pada rangka jembatan.

Salah satu syarat yang harus dipenuhi adalah lendutan yang terjadi tidak melebihi batas ijin. Syarat $\delta' \leq \delta$ dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi. Berdasarkan Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja jenis Kereta Lokomotif, batas lendutan ijin yang diijinkan adalah sebagai berikut:

1. Lendutan Gelagar , $\delta = \frac{L}{700}$, dimana L adalah panjang jembatan.

$$\delta = \frac{80 \text{ m}}{700} = 0,114 \text{ m} = 11,428 \text{ cm}$$

2. Lendutan Rangka , $\delta = \frac{L}{1000}$, dimana L adalah panjang jembatan.

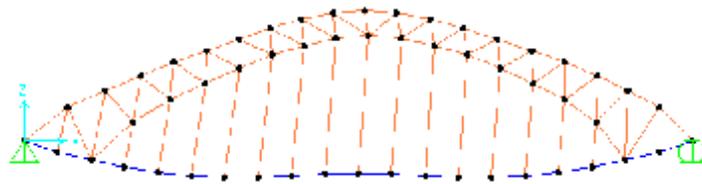
$$\delta = \frac{80 \text{ m}}{1000} = 0,08 \text{ m} = 8,000 \text{ cm}$$

Tabel 4.9: Lendutan maksimum yang terjadi pada jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch*.

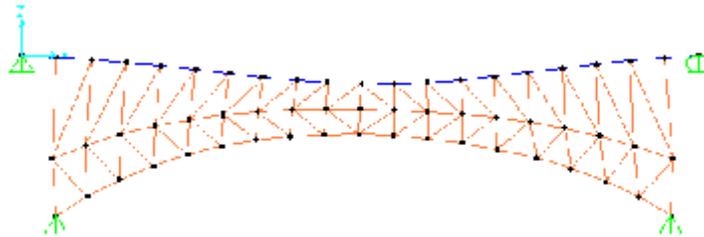
Jenis Jembatan	Lendutan Maksimum (cm)		Lendutan ijin (cm)		Keterangan	
	Gelagar	Rangka	Gelagar	Rangka	Gelagar	Rangka
<i>Through Arch</i>	8.221	7.331	11.428	8.00	OK	OK
<i>Deck Arch</i>	3.757	3.749	11.428	8.00	OK	OK

Dalam Tabel 4.9 diatas dirangkum lendutan maksimum yang terjadi pada jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch*. Dari Tabel tersebut diketahui bahwa lendutan maksimum yang diijinkan untuk kedua jembatan telah terpenuhi.

Dari tabel tersebut juga diperoleh lendutan jembatan *Through Arch* lebih besar dibanding lendutan *Deck Arch*. Hal ini terkait dengan lebih kaku struktur *Deck Arch* dalam memikul beban.



(a)



(b)

Gambar 4.29: (a) Deformasi lendutan pada jembatan *Through Arch* dan
(b) Deformasi lendutan pada jembatan *Deck Arch*.

Lendutan maksimum yang terjadi pada gelagar disetiap titik segmen dapat dirangkum dalam Tabel 4.10. Pola yang terjadi antara jembatan *Deck Arch* dengan pola yang terjadi pada jembatan *Through Arch* berbeda sesuai dengan karakteristik kekuatan dari rangka masing-masing jembatan.

Tabel 4.10: Perbandingan lendutan maksimum yang terjadi di setiap titik gelagar jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch*.

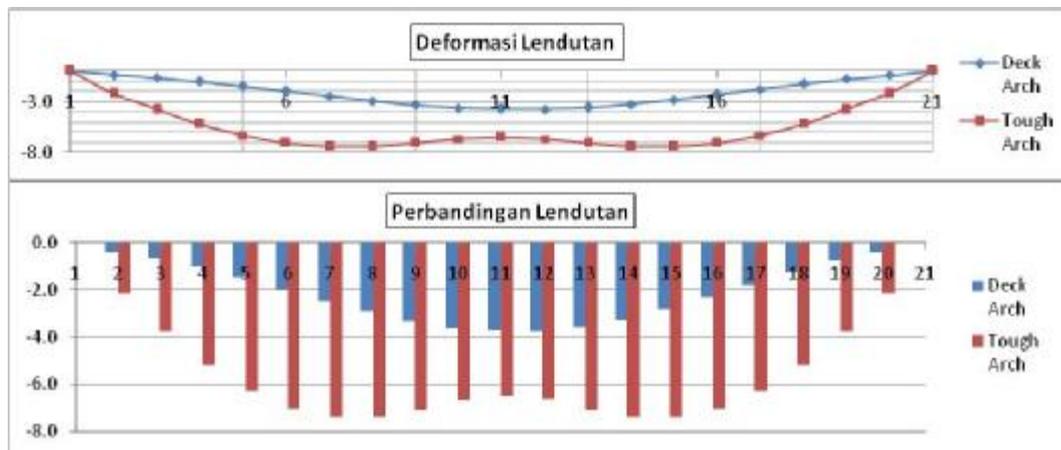
Titik	Lendutan Gelagar (cm)		Keterangan
	Jembatan <i>Deck Arch</i>	Jembatan <i>Through Arch</i>	
1 (<i>tumpuan</i>)	0.000	0.000	
2	-0.384	-2.157	
3	-0.644	-3.775	
4	-1.015	-5.190	
5	-1.460	-6.308	
6	-1.946	-7.062	
7	-2.448	-7.421	
8	-2.927	-7.403	
9	-3.337	-7.083	
10	-3.618	-6.668	
11	-3.726	-6.477	
12	-3.757	-6.665	
13	-3.596	-7.080	<i>Maksimum</i>
14	-3.271	-7.399	

15	-2.834	-7.417	Maksimum
16	-2.328	-7.058	
17	-1.793	-6.304	
18	-1.261	-5.187	
19	-0.776	-3.773	
20	-0.412	-2.155	
21 (tumpuan)	0.000	0.000	

Pada gelagar jembatan *Deck Arch*, lendutan maksimum terjadi pada titik 13 dengan nilai 3,596 cm. Sedangkan lendutan pada jembatan *Through Arch* terjadi lebih besar pada titik ke-15 dengan nilai 7,417 cm.

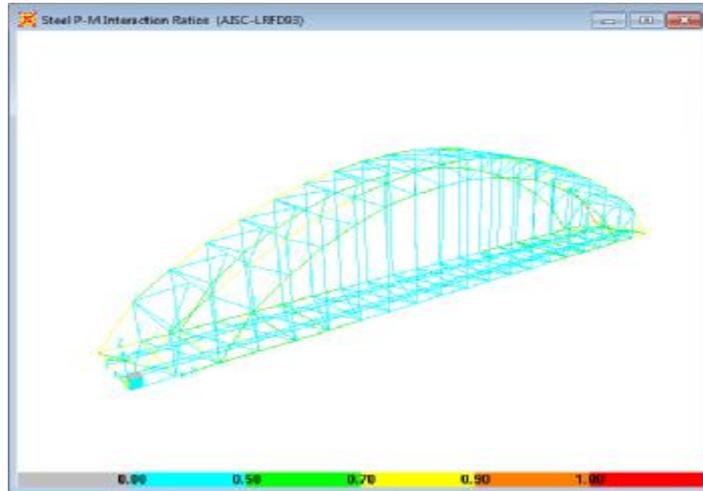
Perbandingan lendutan pada setiap titik gelagar juga dapat dilihat pada kurva pada Gambar 4.30 di bawah ini. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa lendutan yang mendominasi adalah lendutan pada jembatan *Through Arch*.

Ada perbedaan deformasi antara jembatan *Through Arch* dan *Deck Arch*, yaitu variasi lendutan pada jembatan *Through Arch* kembali berkurang di tengah bentang akibat dari kekakuan rangka struktur yang meningkat pada puncak busur rangka sehingga dapat menahan lendutan yang lebih besar.



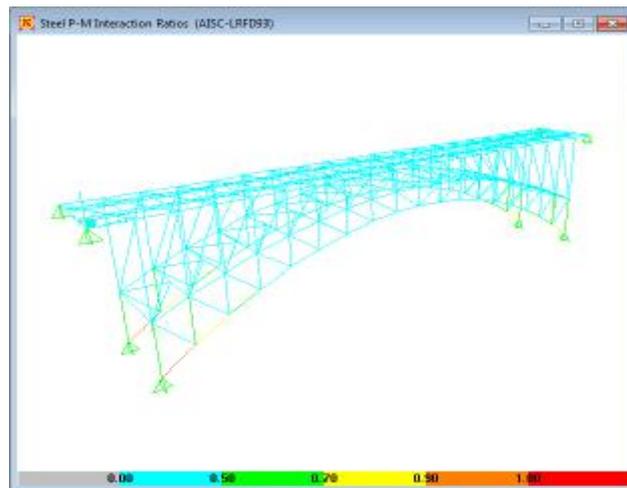
Gambar 4.30: Deformasi lendutan dan perbandingan lendutan di setiap titik pada jembatan *Through Arch* dan jembatan *Deck Arch*.

Hasil analisis dengan SAP 2000 untuk strutur jembatan *Through Arch* kemudian didesain berdasarkan AISC-LRFD 1993 dengan penyesuaian beberapa faktor reduksi sesuai dengan persyaratan SNI 03-1729-2015, maka diperoleh hasil desain seperti ditunjukkan pada Gambar 4.31 dibawah ini.



Gambar 4.31: Hasil desain kekuatan pada jembatan *Through Arch*.

Begitu juga dengan jembatan *Deck Arch*, hasil analisis dengan SAP 2000 kemudian didesain berdasarkan AISC-LRFD 1993 dengan penyesuaian beberapa faktor reduksi sesuai dengan persyaratan SNI 03-1729-2015, maka diperoleh hasil desain seperti ditunjukkan pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32: Hasil desain kekuatan pada jembatan *Deck Arch*.

4.4.4. Volume struktur jembatan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan di atas, maka dapat dirangkum juga besarnya volume dari masing-masing jembatan untuk mengetahui jembatan yang lebih ekonomis antara *Deck Arch* dan *Through Arch*.

Dalam Tabel 4.11 berikut ditampilkan rekapitulasi perhitungan volume dan berat untuk struktur jembatan *Through Arch*. Dari hasil perhitungan volume diperoleh bahwa jembatan jenis *Tough Arch* memiliki volume 112,192 m³ dan berat struktur menjadi 880.704,85 Kg atau sekitar 881 ton. Jika diperkirakan berat dalam setiap 1 m', maka diperoleh sekitar 11 ton dalam setiap 1 m' jembatan.

Tabel 4.11: Rekapitulasi volume dan berat struktur jembatan *Through Arch*.

No	Struktur	Profil	Luas penampang	Panjang total	Volume	Berat total = V x 7850 kg/m ³
			m ²	m'	m ³	Kg
1	Gelagar memanjang	WF 1200.450.25.38	0.0623	480	29.904	234746.40
2	Gelagar melintang	WF 1200.450.25.38	0.0623	210	13.083	102701.55
3	Ikatan angin bawah	2L200.15.15	0.0113	860.8	9.727	76357.26
4	Ikatan angin gelagar rel	L100.10.10	0.0019	204	0.388	3042.66
5	Busur atas	H450.450.39.42	0.0521	335.88	17.500	137369.88
6	Batang vertical	H450.450.39.42	0.0521	171.24	8.922	70034.59
7	Batang diagonal	H450.450.39.42	0.0521	176.2	9.180	72063.16
8	Batang penggantung	H450.450.39.42	0.0521	381.28	19.865	155937.80
9	Ikatan angin atas	WF400.200.8.13	0.0082	442	3.624	28451.54
Jumlah =					112.192	880704.85

Dalam Tabel 4.12 di bawah ini juga disajikan rekapitulasi perhitungan volume dan berat untuk struktur jembatan *Deck Arch*. Dari hasil perhitungan volume diperoleh bahwa jembatan jenis *Deck Arch* memiliki volume 92,241 m³ dan berat struktur menjadi 724.090,41 kg atau sekitar 724 ton. Jika diperkirakan berat dalam setiap 1 m', maka diperoleh sekitar 9 ton dalam setiap 1 m' jembatan *Deck Arch*.

Dari hasil kedua volume tersebut dapat dilihat bahwa volume jembatan *Through Arch* lebih besar dibandingkan dengan jembatan *Deck Arch* dengan selisih berkisar 17,783%. Artinya dari segi finansial jembatan *Deck Arch* akan lebih ekonomis dibandingkan dengan jembatan *Through Arch*. Meskipun jumlah

batang (frame) dari jembatan *Deck Arch* lebih banyak, tetapi penampang yang digunakan bisa lebih kecil sehingga volume material secara keseluruhan bisa lebih berkurang.

Tabel 4.12: Rekapitulasi volume dan berat struktur jembatan *Deck Arch*.

No	Struktur	Profil	Luas penampang	Panjang total	Volume	Berat total = V x 7850 kg/m ³
			m ²	m'	m ³	Kg
1	Gelagar memanjang	WF 1200.450.25.38	0.0623	480.00	29.904	234746.40
2	Gelagar melintang	WF 1200.450.25.38	0.0623	210.00	13.083	102701.55
3	Ikatan angin bawah	2L200.15.15	0.0113	860.80	9.727	76357.26
4	Ikatan angin gelagar rel	L100.10.10	0.0019	204.00	0.387	3042.66
5	Batang busur atas	H450.450.23.32	0.0377	74.89	2.823	22162.79
6	Batang busur bawah	H450.450.23.33	0.0377	77.83	2.934	23032.56
7	Batang vertikal atas	H450.450.23.32	0.0377	123.33	4.650	36499.88
8	Batang diagonal atas	H450.450.23.32	0.0377	140.38	5.292	41544.90
9	Batang vertikal busur	H450.450.23.32	0.0377	88.15	3.323	26087.00
10	Batang diagonal busur	H450.450.23.32	0.0377	91.60	3.453	27107.72
11	Ikatan angin busur	WF400.200.8.13	0.0377	442	16.663	130807.69
Jumlah =					92.241	724090.41

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, analisis dan desain pada struktur jembatan kereta api tipe *Through Arch* dan *Deck Arch* dengan bentang 80 m dan memiliki dua jalur kereta api, maka dapat diuraikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur jembatan kereta api tipe *Through Arch* memiliki periode alami struktur (T_1) yang lebih besar yaitu 0,647 detik dibandingkan struktur jembatan *Deck Arch* yang hanya memiliki periode struktur (T_1) 0,555 detik.
2. Lendutan gelagar jembatankereta api tipe *Through Arch* adalah 7,417 cm lebih besar dibandingkan lendutan yang terjadi pada jembatan *Deck Arch* dengan nilai 0,555 cm. Lendutan kedua jembatan masih berada dibawah lendutan ijin sebesar 11 cm. Desain jembatan kereta api tipe *Through Arch* dan jembatan *Deck Arch* masih dalam tahap aman dengan rasio tegangan berada dibawah angka 1,0.
3. Volume jembatan kereta api tipe *Through Arch* adalah 880.704,85 Kg dan volume jembatan *Deck Arch* adalah 724.090,41 kg, artinya jembatan *Deck Arch* lebih ekonomis dibandingkan tipe *Through Arch* sekitar 17,783%.

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. Melakukan analisa dan perbandingan terhadap tipe jembatan selain *Through Arch* dan *Deck Arch* untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam perencanaan konstruksi jembatan kereta api.

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

Dalam perhitungan desain jembatan rangka disarankan untuk mencoba menggunakan software yang lain selain SAP2000, misalnya software MIDAS CIVIL yang lebih khusus dalam perhitungan jembatan dan juga variasi pembebanan sehingga hasil yang didapatkan lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan (SNI 2833-2016)*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. 2005. *Standar Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (SNI T-03-2005)*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Struktur Baja (SNI 03-1729-2002)*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Pasaribu, Patar. 1994. *Diktat Konstruksi Baja Jembatan Rangka (Lalu Lintas Kereta Api) – Contoh Perencanaan*. Medan. Universitas HKBP Nommensen.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta. Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perkeretaapian.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2006. *Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja*. Jakarta. Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perkeretaapian.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Data Pribadi

Nama : Teguh Jaya
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat & Tanggal Lahir : Kutacane, 08 Mei 1995
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan : 169 cm
Berat Badan : 83 Kg
Agama : Islam
Alamat Lengkap : Jalan Beo No.22, Medan-Sunggal
Telepon/Hp : 0812-3737-0605
E-Mail : jteguh.15@gmail.com

Data Pendidikan

2001-2006 : MIN Kutacane
2006-2007 : SD Kartika I-2 Medan
2007-2010 : SMP Kartika I-2 Medan
2010-2013 : SMA Panca Budi Medan
2013- : Program Sarjana (S1) Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Pengalaman Berorganisasi

2015-2016 : Bendahara UKM Bola Basket UMSU
2016-2018 : Ketua UKM Bola Basket UMSU

Prestasi

2014 : Medali Emas IMT-GT (Indonesia)
2015 : Medali Emas IMT-GT (Malaysia)
2016 : Medali Perunggu IMT-GT (Thailand)
2017 : Juara 3 Piala Rektor UMSU