

**TUGAS AKHIR**

**STUDI PERBANDINGAN TINGGI BUSUR  
TERHADAP BENTANG UTAMA PADA JEMBATAN  
BUSUR RANGKA BAJA TIPE A *HALF-THROUGH  
ARCH BRIDGE*  
(*COMPARISON OF ARC HEIGHT TO MAIN SPAN  
THE ARC STEEL BRIDGE USING A HALF-THROUGH  
ARCH TYPE*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Fitri Maisyarah  
13511231**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2017**

**TUGAS AKHIR**

**STUDI PERBANDINGAN TINGGI BUSUR  
TERHADAP BENTANG UTAMA PADA JEMBATAN  
BUSUR RANGKA BAJA TIPE A HALF-THROUGH  
ARCH BRIDGE  
(COMPARISON OF ARC HEIGHT TO MAIN SPAN  
THE ARC STEEL BRIDGE USING A HALF-THROUGH  
ARCH TYPE)**

Disusun oleh

**Fitri Maisyarah**

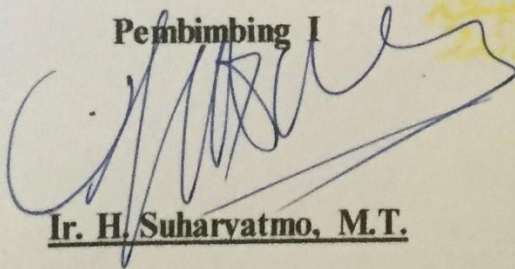
**13511231**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 10 Oktober 2017

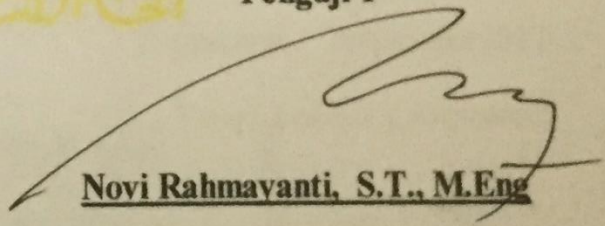
Oleh Dewan Penguji:

**Pembimbing I**



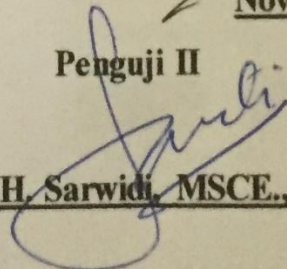
Ir. H. Suharyatmo, M.T.

**Penguji I**



Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

**Penguji II**



Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., AU.

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Miftahul Fauzia, S.T., M.T., Ph.D.

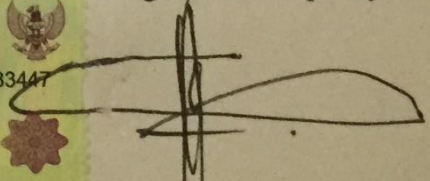
## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, September 2017

Yang membuat pernyataan,



  
Fitri Maisyarah (13511231)

## **DEDIKASI**

*Studying is the duty of every Muslim to the end of life.  
and my parents are the first teachers in my life.*

*This Final Project I dedicated to:*

*My Beloved Parents*

*Mrs. Nuraida*

*And*

*Mr. A. Mulyadi*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,*

Alhamdulillah Alhamdulillah Alhamdulillah Robbil'amin. Puji dan syukur penyusun panjatkan atas nikmat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik. Shalawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya, *Allahumma Sholli 'Ala Sayyidina Muhammad wa 'ala ali Sayyidina Muhammad*, yang telah membawa zaman meninggalkan zaman kebodohan dan telah menjadi teladan yang sempurna.

Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan jenjang Strata Satu (S1) pada Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Selanjutnya, izinkanlah penyusun mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang telah membimbing dan membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih tersebut penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. H. Suharyatmo, M.T., selaku dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, embelajaran, dan nasihat baik serta motivasi yang membangkitkan semangat penulis selama penyusunan tugas akhir maupun selama menjalani masa kuliah sehingga penulis termotivasi untuk terus menjadi lebih.
2. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng., selaku dosen Penguji I tugas akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi sehingga tugas akhir ini menjadi lebih baik, serta memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis.
3. Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE. Ph.D. AU., selaku dosen Penguji II tugas akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi sehingga tugas akhir ini menjadi lebih baik, serta memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis.

4. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Seluruh dosen, pengajar, laboran, asisten, karyawan Teknik Sipil-UII yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi kegiatan pembelajaran penyusun selama masa kuliah,
6. Ibu hebat, Ibu luar biasa, yang selalu mendoakan dan menjadi motivasi terbesar penyusun dalam menuntut ilmu. Terima kasih tiada akhir atas semua doa, kasih sayang, kesabaran, dan ketegaran membesarkan dan mendidik anak-anak sehingga kakak menjadi seperti sekarang ini.
7. Ayah hebat, yang selalu mendoakan dan membimbing penyusun dalam setiap langkah. Terima kasih tiada akhir atas semua doa, kasih sayang, perhatian, serta kesabaran dalam menemani setiap langkah kakak hingga sekarang.
8. Adik-adikku tersayang, Muhammad Aziz dan Nova Hafizah, yang selalu menghibur dan menemani kakaknya dalam segala kondisi. Terima kasih kepada kalian, semoga menjadi anak-anak yang sholeh dan sholehah serta membanggakan kedua orang tua kelak.
9. Pak Agung yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir. Terima kasih atas segala ilmu dan bantuannya. Semoga bapak selalu dilimpahkan kesehatan oleh Allah SWT dan ilmunya tambah bermanfaat untuk bapak dan orang lain.
10. Sahabat-sahabat Kos Annisa (Sumaiyah, Heny, Nesya, Hafizah, Dina) yang selalu dan telah menemani manis pahitnya perjalanan penyusun selama di Jogja. Terima kasih banyak atas segala bantuan dan kebahagiaannya, *I hope we are until Jannah.*
11. Teman-teman Jo-Jo-Ba (Ditha, Della, dan Endah) dan District Jogja. Terima kasih telah menjadi teman rantau sepananggung selama penyusun di Jogja. Semoga kita selalu diberi kelancaran dan terjaga silaturhaminya hingga *Jannah.*
12. Sipil 13Rothers dan semua mahasiswa teknik sipil UII, yang menjadi rekan bahkan saudara selama menjalani masa kuliah, berjuang bersama, saling

memotivasi. Terima kasih atas bantuan dan dorongan, hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. *See you on the top.*

13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

Penyusun berharap semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil Indonesia dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, September 2017

Fitri Maisyarah

## DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Keaslian Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Tinjauan Umum	9
3.2 Struktur Jembatan	9

3.3	Elemen Struktur Atas	11
3.3.1	Struktur Primer	11
3.3.2	Struktur Sekunder	13
3.4	Pembebanan Struktur Atas Jembatan	14
3.4.1	Beban Permanen	14
3.4.2	Beban Lalu Lintas	15
3.4.3	Beban Lingkungan	22
3.5	Kombinasi Pembebanan	25
3.6	Perencanaan Struktur Atas Jembatan	25
3.6.1	Analisis dan Desain Menggunakan Program SAP2000 V.14	26
3.6.2	Kekuatan Penampang	26
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>		32
4.1	Data	32
4.2	Lokasi Jembatan	32
4.3	Metode Pengumpulan Data	34
4.4	Tahapan Penelitian	34
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		38
5.1	Data Teknis Jembatan	38
5.2	Pembebanan Struktur	39
5.2.1	Aksi Tetap	39
5.2.2	Beban Lalu Lintas	42
5.2.3	Beban Pejalan Kaki	48
5.2.4	Beban Angin ( $E_w$ )	50
5.2.5	Beban Gempa ( $E_Q$ ) dengan Metode Analisis Dinamik <i>Time History</i>	52
5.3	Analisis dan Desain Struktur	56
5.4	Pebandingan Respon Struktur Busur Rangka Baja	59
5.4.1	Respon Struktur Utama Rangka Pelengkung Akibat Beban Kombinasi	65
5.4.2	Hasil Desain Profil Baja	70

5.4.3 Kontrol Desain Batang Profil Jembatan	74
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN	97
6.1 Simpulan	98
6.2 Saran	98

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang	8
Tabel 3.1 Berat Satuan untuk Menghitung Berat Sendiri	15
Tabel 3.2 Faktor Beban Dinamik untuk Beban Garis KEL	20
Tabel 3.3 Faktor Beban Akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki	21
Tabel 3.4 Koefisien Seret ( $C_w$ )	23
Tabel 3.5 Kecepatan Angin Rencana ( $V_w$ )	23
Tabel 3.6 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit	27
Tabel 5.1 Perhitungan Beban Tiang Sandaran	41
Tabel 5.2 Rekapitulasi Pembebanan	55
Tabel 5.3 Gaya Dalam pada Batang Atas (BA)	62
Tabel 5.4 Gaya Dalam pada Batang Bawah (BB)	63
Tabel 5.5 Gaya Dalam pada Batang Diagonal (DG)	64
Tabel 5.6 Gaya Dalam pada Batang Tegak (BT)	65
Tabel 5.7 Desain Profil Batang Atas (BA)	71
Tabel 5.8 Desain Profil Batang Bawah (BB)	72
Tabel 5.9 Desain Profil Batang Diagonal (BD)	72
Tabel 5.10 Desain Profil Batang Tegak (BT)	73
Tabel 5.11 Desain Batang Profil pada Dek dan Profil Melintang Struktur Atas Jembatan	73

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 1.1	Bentang Jembatan yang ditinjau	4
Gambar 3.1	Bangunan Atas dan Tumpuan	11
Gambar 3.2	Jembatan <i>Deck Arch</i>	11
Gambar 3.3	Jembatan <i>Through Arch</i>	12
Gambar 3.4	Jembatan <i>A Half-Through Arch</i>	12
Gambar 3.5	Beban lajur "D"	16
Gambar 3.6	Grafik Beban Tersebar Merata	17
Gambar 3.7	Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang	18
Gambar 3.8	Beban truck "T"	19
Gambar 3.9	Faktor Beban Dinamis (FBD)	19
Gambar 3.10	Gaya Rem per Lajur 2,75 (KBU)	21
Gambar 3.11	Prosedur Analisis Gempa untuk Jembatan	24
Gambar 3.12	Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang	24
Gambar 3.13	Faktor Panjang Tekuk	28
Gambar 4.1	Peta Provinsi Kalimantan Timur dan Kabupaten Tenggarong	33
Gambar 4.2	Lokasi Jembatan Kutai Kartanegara (pada titik merah)	33
Gambar 4.3	Gambaran Umum Ukuram Bentang Jembatan Kutai Kartanegara	34
Gambar 4.4	<i>Flow Chart</i> penyusunan Tugas Akhir	36
Gambar 5.1	Tampak Memanjang Model Jembatan I (tinggi = 40,75 m)	38
Gambar 5.2	Tampak Memanjang Model Jembatan II (tinggi = 52 m)	39
Gambar 5.3	Tampak Melintang Dek Jembatan	39
Gambar 5.4	Tiang Sandaran dan Trotoar Tiang Sandaran	40
Gambar 5.5	Distribusi Berat Sendiri dan Beban Mati Tambahan (a) Jembatan I, (b) Jembatan II	42
Gambar 5.6	Distribusi Beban Lajur (D) pada Gelagar Memanjang	43

Gambar 5.7	Distribusi Beban Lajur (D) pada Gelagar Memanjang 1 dan 6	44
Gambar 5.8	Distribusi Beban Lajur (D) pada Gelagar Memanjang 2,3,4, dan 5	45
Gambar 5.9	Distribusi Beban Lajur D, (a) BTR, (b) BGT	46
Gambar 5.10	Gaya Rem per Lajur 2,75 (KBU)	47
Gambar 5.11	Distribusi Beban Rem, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II	48
Gambar 5.12	Pembebanan Untuk Pejalan Kaki	49
Gambar 5.13	Distribusi Beban Pejalan Kaki (a) Jembatan I, (b) Jembatan II	50
Gambar 5.14	Distribusi Beban Angin pada Jembatan I	51
Gambar 5.15	Distribusi Beban Angin pada Jembatan II	52
Gambar 5.16	<i>Input</i> Normalisasi Gempa/Skala Faktor	53
Gambar 5.17	Akseleogram Gempa <i>El-Centro</i>	54
Gambar 5.18	Input Beban Gempa <i>El-Centro</i>	55
Gambar 5.19	Model Jembatan I (tinggi 40,75 m)	56
Gambar 5.20	Model Jembatan II (tinggi 52 m)	56
Gambar 5.21	NFD Akibat Beban COMB2, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II	57
Gambar 5.22	SFD Akibat Beban COMB2, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II	58
Gambar 5.23	<i>Fitur Frame Releases</i> pada SAP2000	59
Gambar 5.24	BMD Akibat Beban COMB2, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II	60
Gambar 5.25	Segmen pada Struktur Utama Busur Rangka	61
Gambar 5.26	Kodefikasi pada Struktur Utama Busur Rangka	61
Gambar 5.27	Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Atas (BA)	66
Gambar 5.28	Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Atas (BA)	67
Gambar 5.29	Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum	

	Akibat Beban Kombinasi pada Batang Bawah (BB)	68
Gambar 5.30	Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Bawah (BB)	68
Gambar 5.31	Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Diagonal (BD)	69
Gambar 5.32	Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Diagonal (BD)	69
Gambar 5.33	Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Tegak (BT)	70
Gambar 5.34	Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Tegak (BT)	71
Gambar 5.35	Diagram Perbandingan Berat Sendiri Jembatan I dan Jembatan II	74
Gambar 5.36	Profil W14X730	75
Gambar 5.37	Profil W14X398	81
Gambar 5.38	Profil W14X311	86
Gambar 5.39	Profil W14X370	92

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Zona Gempa Indonesia

Lampiran 2 *Time schedule*

## DAFTAR NOTASI

$c_w$	= Koefisien seret
$V_w$	= Kecepatan angin rencana
$f_c'$	= Kuat tekan beton yang ditetapkan
$f_y$	= Kuat leleh tulangan non prategang yang ditetapkan
$f_u$	= Tegangan tarik putus
$f_{cr}$	= Tegangan kritis
$W_c$	= Berat jenis beton
$E$	= Modulus elastisitas bahan baja
$g$	= Percepatan gravitasi
$K$	= Faktor beban ultimit
$k$	= Kekakuan
$A_b$	= Luas bidang samping jembatan
$\omega$	= Frekuensi sudut
$L$	= Panjang bentang
$L_{av}$	= Panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan menerus
$L_{max}$	= Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan menerus
$L_E$	= Panjang bentang efektif
$M_A$	= Beban mati tambahan
$M_S$	= Berat sendiri struktur
$T_{TB}$	= Beban rem
$T_{EW}$	= Beban angin.
$D$	= Beban lajur "D"
$EQ$	= Beban gempa
$EQ_x$	= Beban gempa arah memanjang sumbu x jembatan
$EQ_y$	= Beban gempa arah memanjang sumbu y jembatan
$M_u$	= Momen lentur terfaktor

$M_n$  = Momen lentur nominal  
 $V_u$  = Gaya geser  
 $\Phi$  = Faktor reduksi  
 $S$  = Modulus penampang elastis  
 $Z$  = Modulus penampang plastis

## ABSTRAK

Konstruksi jembatan busur rangka baja tipe *a half-through arch* merupakan jembatan yang terdiri dari rangka baja yang berbentuk busur dengan lantai kendaraannya berada di antara *springline* dan bagian busur jembatan. Konstruksi jembatan busur rangka baja tipe *a half-through arch* dapat digunakan untuk bentang yang panjang, serta dapat mengurangi momen lentur di lapangan akibat gaya aksial dan gaya normal pada jembatan. Dalam perencanaan jembatan tipe ini, panjang bentang dan tinggi busur sangat berpengaruh terutama pada metode pelaksanaan dan kebutuhan material baja yang diperlukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tinggi busur terhadap respon struktur pada jembatan, berat total struktur atas jembatan, serta menentukan tinggi busur yang lebih efektif. Jembatan yang di analisis tinggi busurnya antara  $1/5 - 1/8$  dengan  $1$  adalah panjang jembatan. Pemodelan jembatan pada penelitian ini divariasikan menjadi dua bagian yaitu tinggi busur jembatan I sebesar  $40,75$  m dan tinggi jembatan II sebesar  $52$  m. Setelah melakukan pemodelan dan *input* data material, serta membandingkan hasil analisis dan desain dari *output* dari program SAP2000v.14. Kemudian melakukan kontrol *output* SAP2000 tersebut dengan menggunakan perhitungan manual.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan tinggi mengakibatkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur utama jembatan I lebih besar daripada jembatan II, sehingga jembatan I lebih berat daripada jembatan II. Berdasarkan hal tersebut, jembatan II dengan tinggi  $52$  m lebih efektif daripada jembatan I untuk panjang bentang utama  $270$  m.

**Kata kunci:** Busur rangka baja, *a half-through arch*, tinggi busur, berat struktur atas

## ABSTRACT

*The construction of a half-through arch steel frame bridge is a bridge consisting of an arc-shaped steel with the floor of the vehicle between the springline and the bridge arc. The construction of a half-through arch steel bridge can be used for long spans, and can reduce bending moments in the field due to the axial force and normal force of the bridge. In the planning of this type of bridge, the length of the span and the height of the arc is very influential, especially on the method of execution and the required steel material needs.*

*This study aims to determine the effect of arc height on the structure response on each bridge model, the total weight of the building over the bridge, and determine the more effective bow. The bridge in the arc high analysis between  $l/5 - l/8$  and  $l$  is the length of the bridge. The modeling of the bridge in this research is varied into two parts: the height of the bridge I arc of 40.75 m and the height of the bridge II of 52 m. After modeling and input material data, and compare the results of analysis and design of the output of the program SAP2000v.14. Then do the SAP2000 output control by using manual calculation.*

*The results of this study indicate that the internal forces that occur in the profile rod of the main structure of the bridge frame I are higher than the bridge II. The pattern of comparison diagrams in the resulting forces is relatively the same. Material requirement of steel profile on bridge I is bigger than bridge II with ratio of ratio 1: 0,94. In terms of bridge material, bridge II with arc height 52m better than bridge I with arc height 40,75 m.*

**Keywords:** Arch Steel Bridge, A Half-Through Arch, Differences Of Arc Height, Steel Material Needed

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi memicu pertumbuhan dan kemajuan di aspek-aspek lainnya, seperti ekonomi, sosial, budaya, dan lain-lain. Pertumbuhan tersebut juga harus diimbangi dengan fasilitas transportasi yang memenuhi kebutuhan manusia dalam kegiatan perekonomian, sosial, budaya, dan kegiatan aspek lainnya. Tingginya angka mobilitas menuntut fasilitas infrastruktur yang memenuhi, termasuk kebutuhan terhadap jembatan dengan bentang yang panjang. Dalam perencanaan pembangunan jembatan dengan bentang panjang maka membutuhkan teknologi struktur jembatan yang kuat dan ringan sehingga mampu menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan. Material ringan dan struktur kuat yang sering dipakai pada konstruksi jembatan pada umumnya berupa rangka baja. (Olyvia dkk, 2015)

Bambang dan Agus (2007) menyatakan dapat dikatakan bahwa sejarah jembatan sejalan dengan waktu sejarah peradaban manusia, mulai dari periode zaman purba dimana pada zaman ini manusia telah berhasil menerapkan jembatan sistem kantilver, sampai pada zaman jembatan besi dan baja dimana pada zaman ini manusia telah menemukan banyak inovasi jenis dan bentuk jembatan seperti penggunaan prinsip-prinsip lengkung terutama untuk jembatan jalan raya. Oleh karena itu, tidak sedikit pilihan dan pemilihan jenis jembatan yang tepat sangatlah penting dengan tetap mempertimbangkan nilai efisien dan efektifitas jembatan tersebut.

Rangka baja merupakan struktur yang umum digunakan dalam pembuatan konstruksi jembatan baja. Rangka baja sendiri memiliki beberapa bentuk, salah satunya berbentuk busur. Jembatan busur memiliki beberapa tipe seperti tipe *deck arch*, *through arch*, *a half-through arch*. Dalam penelitian difokuskan pada analisis struktur jembatan busur rangka baja tipe *a half-through arch*.

Konstruksi jembatan busur rangka baja tipe *a half-through arch* merupakan jembatan yang terdiri dari rangka baja yang berbentuk busur dengan lantai kendaraannya berada di antara *springline* dan bagian busur jembatan, atau berada di tengah-tengah. Konstruksi jembatan busur rangka baja tipe *a half-through arch* dapat digunakan untuk bentang yang panjang, serta dapat mengurangi momen lentur di lapangan akibat gaya aksial dan gaya normal pada jembatan. Manfaat lain dari konstruksi jembatan busur rangka baja tipe *a half-through arch* yaitu dapat menghilangkan kebutuhan pilar jembatan yang berada di sungai sehingga penampang basah sungai tidak berkurang. (Olyvia dkk, 2015)

Dalam perencanaan jembatan tipe ini, panjang bentang jembatan dan tinggi busur sangat berpengaruh terutama pada metode pelaksanaan dan kebutuhan material baja yang diperlukan. Tinggi busur di desain antara  $1/5$  sampai  $1/8$  bentangan ( $1/5L-1/8L$ ) (Struyk, 1983). Berdasarkan adanya variasi desain tinggi busur tersebut perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi tinggi busur terhadap respon struktur yang mempengaruhi besarnya kebutuhan material jembatan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbedaan tinggi busur terhadap respon struktur pada masing-masing model jembatan ?
2. Bagaimana pengaruh tinggi busur terhadap berat total struktur atas jembatan ?
3. Berapa tinggi yang lebih efektif untuk panjang bentang yang telah ditentukan ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah mengetahui:

1. Pengaruh perbedaan tinggi busur terhadap respon struktur pada masing-masing model jembatan.
2. Berat total struktur atas jembatan.
3. Besar tinggi efektif yang sesuai untuk panjang bentang yang telah ditentukan.

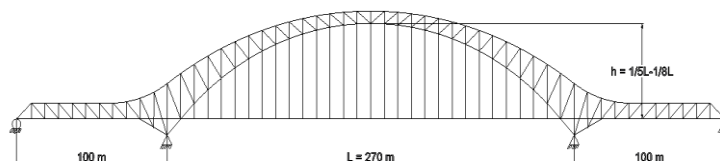
#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah didapatkannya gambaran mengenai tinggi efektif yang dapat digunakan dalam perencanaan jembatan busur rangka baja berdasarkan berat total struktur atas jembatan dan respon gaya-gaya dalam.

#### 1.5 Batasan Masalah

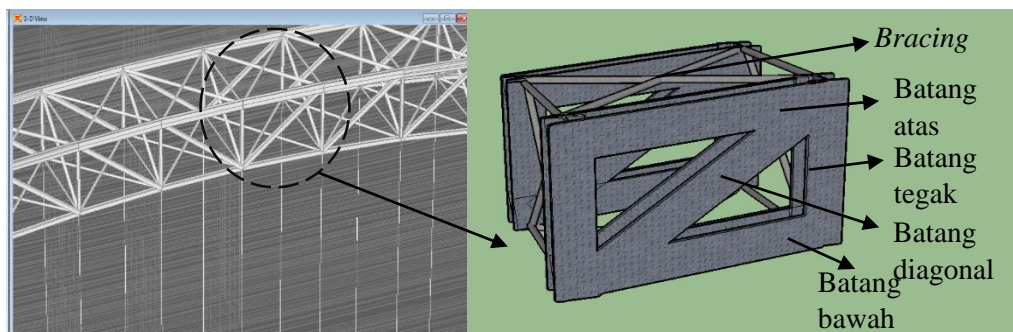
Mengingat kompleksnya permasalahan dalam merencanakan suatu jembatan dan untuk menghindari meluasnya permasalahan dalam tugas akhir ini, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut.

1. Jembatan yang menjadi objek penelitian adalah jembatan Kutai Kartanegara ing Martadipura baru atau biasa disebut dengan Kutai Kartanegara (Kukar) yang terletak di daerah Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur yang termasuk jembatan tipe I kelas A sesuai peraturan Standar Jembatan Bina Marga Vol.2 tahun 2005.
2. Penelitian ini hanya meninjau struktur atas jembatan dengan mengabaikan jenis pondasi yang digunakan atau bagian struktur bawah lainnya.
3. Panjang total bentang jembatan adalah 470 m, dengan panjang bentang busur rangka baja utama 270 m dan bentang rangka lainnya masing-masing 100 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1 Bentang Jembatan yang ditinjau**

4. Analisis dilakukan pada dua jembatan busur rangka baja dengan tinggi busur yang berbeda. Model jembatan yang akan dianalisis memiliki tinggi busur ( $h$ ) yaitu 52 m dan 40,75 m yang telah memenuhi persyaratan  $h = L/5 - L/8$ , dengan panjang bentang utama  $L = 270$  m.
5. Dalam pemodelan struktur, elemen penampang dipasang dengan sayap profil menghadap kearah tegak gambar, yang dapat dilihat pada Gambar 1.2.



**Gambar 1.2** Pemodelan Elemen Penampang pada SAP2000

6. Respon struktur ditinjau dari gaya-gaya dalam maksimum yang terjadi pada struktur utama rangka pelengkung yang meliputi batang atas, batang bawah, batang tegak, dan batang diagonal.
7. Tidak melakukan peninjaun gaya-gaya yang terjadi pada elemen penyusun dek jembatan dan elemen melintang serta respon pada kabel *hanger* jembatan.
8. Gaya-gaya dalam yang ditinjau adalah gaya aksial, gaya geser, dan momen,
9. Kedua model jembatan memiliki dimensi melintang lantai kendaraan lengkap dengan trotoar adalah 9,5 m.
10. Jarak antara batang tegak busur rangka batang kurang lebih 7 m dengan tinggi fokus busur adalah 7 m.
11. Perletakan berupa perletakan sendi dan rol.
12. Pada penelitian ini tidak mencakup penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB).
13. Pada penelitian ini tidak mencakup desain sambungan.
14. Analisis dan desain elemen rangka baja menggunakan program SAP 2000 v.14 dengan metode LRFD.

15. Kontrol hasil desain program SAP2000 menggunakan perhitungan manual yang mengacu pada RSNI T 03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.
16. Analisis pembebanan jembatan menggunakan RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan.
17. Analisis pembebanan gempa menggunakan SNI 2833-2008 Standar Perencanaan Gempa untuk Jembatan.
18. Elemen-elemen struktur utama menggunakan profil IWF berdasarkan tabel AISC.
19. Elemen-elemen bracing menggunakan profil HSS berdasarkan tabel AISC.
20. Elemen hanger atau penggantung menggunakan kabel *strand*.
21. *Slab deck* menggunakan *steeldeck* yang dirangkai kemudian dicor beton dan diberi aspal di atasnya (perkerasan campuran).
22. Beban gempa pada struktur atas dihitung menggunakan beban gempa dinamik metode *Time History*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian mengenai analisis tinggi busur pada jembatan busur rangka baja belum banyak dilakukan. Sebagai bahan pertimbangan dan acuan dalam penelitian ini mencantumkan tiga hasil penelitian terdahulu oleh beberapa peneliti berikut ini.

1. Alfon Ertanto (2010) melakukan penelitian tentang: *Perencanaan Jembatan Beton Tipe Pelengkung Atas diatas Sungai Kretek Bantul Yogyakarta*. penelitian ini merupakan perencanaan ulang jembatan secara lengkap yakni pada jembatan Kretek II dengan panjang jembatan total 240 meter terdiri dari 6 bentang (20 m, 20 m, 80 m, 80 m, 20 m, 20 m) dengan lebar jalan 19,3 meter dan tinggi lengkung diambil 13,5 meter. Perencanaan jembatan dengan menggunakan hasil analisis program SAP2000 menjadi acuan dalam mendesain elemen-elemen struktur jembatan meliputi plat, balok, kolom, balok lengkung (*arch*), abutmen dan pondasi yang berupa pondasi sumuran.
2. Siadari Windu Nur Azzukhruf (2012) melakukan penelitian tentang: *Desain Jembatan Air Pangi II dengan Tipe Lengkung Atas (The Tied Arch)*. Penelitian ini merupakan perencanaan ulang jembatan Air Pangi II dengan menggunakan bentuk konstruksi busur yang sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar, besarnya beban dan panjang bentang. Perencanaan jembatan ini menggunakan rangka baja untuk struktur utamanya dan kabel tendon sebagai *hanger*. Analisis dilakukan dengan bantuan *Software SAP2000* untuk mencari momen, gaya geser dan gaya aksial yang terjadi pada struktur. Beban-beban yang digunakan dalam analisis dikalikan dengan faktor ultimate dengan modifikasi terhadap kombinasi pembebanan sesuai peraturan BMS 1992. Dan pada akhirnya dalam perencanaan ini didapatkan 4 jembatan dengan panjang bentang 100 m dengan

tinggi pelengkung 14 m. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa struktur jembatan yang direncanakan ulang menggunakan rangka baja berbentuk lengkung dan di desain memiliki volume dimensi dan tulangan besar.

3. Ragil Wahyudi (2017) melakukan penelitian tentang: *Studi Perbandingan Desain Struktur Atas Jembatan Rangka Baja dengan Tipe Through Arch Bridge*. Penelitian ini merupakan analisis mengenai respon struktur dan kebutuhan material jembatan akibat pengaruh perbedaan tinggi lengkungan yang dilakukan pada jembatan Kebon Agung II, Sleman. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan dua model jembatan busur rangka baja dengan tinggi 30 m dan 42 m. Berdasarkan analisis dari kedua model tersebut diperoleh bahwa gaya-gaya yang terjadi pada batang profil dari struktur utama rangka pelengkung jembatan 1 dengan tinggi pelengkung 30 m lebih kecil dibandingkan jembatan 2 dengan tinggi pelengkung 42 m. Serta kebutuhan material profil baja pada jembatan 1 lebih besar dibandingkan jembatan 2, dengan rasio perbandingan 1:0,849.

## **2.2 Keaslian Penelitian**

Berdasarkan penelitian terdahulu tentang analisis jembatan busur rangka baja memiliki beberapa persamaan dan perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan sekarang sehingga dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang**

Nama	Alfon Ertanto (2010)	Siadari Windu Nur Azzukhruf (2012)	Ragil Wahyudi (2017)
Hasil	Perencanaan jembatan dengan menggunakan hasil analisis struktur SAP2000 menjadi acuan dalam mendesain elemen-elemen struktur jembatan meliputi plat, balok, kolom, balok lengkung ( <i>arch</i> ), abutmen dan pondasi yang berupa pondasi sumuran.	Struktur jembatan yang direncanakan ulang menggunakan rangka baja berbentuk lengkung dan di desain memiliki volume dimensi dan tulangan besar.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya aksial, gaya geser dan momen yang terjadi pada jembatan I (30m) relatif lebih besar dibandingkan dengan jembatan II (42m) serta kebutuhan material baja pada jembatan I lebih besar daripada jembatan II.
Persamaan	Jembatan yang dianalisis/direncanakan merupakan jembatan dengan tipe lengkung atas ( <i>arch bridge</i> ).	Jembatan yang dianalisis/direncanakan menggunakan struktur baja dengan batang penggantung berupa	Analisis perbandingan jembatan dilakukan dengan membanding dua model jembatan busur rangka baja berupa respon struktur dan kebutuhan material jembatan.
Perbedaan	Analisis Jembatan busur rangka baja tipe <i>a half-through arch</i> pada Jembatan Kutai Kartanegara Tenggarong, Kalimantan Timur	Analisis jembatan membandingkan dua model yakni jembatan dengan tinggi pelengkung 40,75 m dan 52 m	Analisis dilakukan dengan panjang total jembatan 470 m yang terdiri dari jembatan utama tipe busur rangka baja sepanjang 270 m dan jembatan pendekat <i>truss</i> dengan bentang 100 m

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tinjauan Umum**

Analisis sebuah jembatan merupakan analisis pada jembatan yang telah didesain baik struktur atas maupun struktur bawahnya. Pada penerapannya akan berdasarkan pada teori yang mendukung analisis tersebut. Landasan teori yang digunakan adalah berdasarkan literatur dan penelitian yang telah ada, sehingga hasil analisis dari jembatan yang dilakukan pada tugas akhir dapat dipertanggungjawabkan.

Struktur jembatan yang paling baik harus memenuhi pokok-pokok perencanaan yaitu:

- a. kekuatan dan stabilitas struktur (*structural safety*),
- b. keawetan dan kelayakan jangka panjang (*durability*),
- c. kemudahan pemeriksaan (*inspectability*),
- d. kemudahan pemeliharaan (*maintainability*),
- e. kenyamanan bagi pengguna jembatan (*rideability*),
- f. ekonomis,
- g. kemudahan pelaksanaan,
- h. estetika,
- i. dampak lingkungan pada tingkat yang wajar dan cenderung minimal.

Pada tugas akhir ini akan membahas analisis perbandingan tinggi busur jembatan yang mempengaruhi kekuatan dan stabilitas struktur pada tipe jembatan busur rangka baja. Untuk itu, diperlukan pedoman pembebanan untuk mengetahui besar beban yang terjadi pada jembatan, sehingga penelitian tugas akhir ini dapat dilakukan.

#### **3.2 Struktur Jembatan**

Secara sederhana jembatan adalah sebuah struktur yang dibangun melintasi jurang atau rintangan seperti sungai, lembah, rel kereta api maupun jalan raya.

Jembatan pada dasarnya terdiri dari beberapa bagian, tergantung dari bentuk, jenis dan kondisi yang ditemui dilapangan. Secara garis besar jembatan dapat dikelompokkan atas 7 bagian dengan penjelasan berikut ini.

1. Bangunan atas

Sesuai dengan istilahnya berada pada atas suatu jembatan yang berfungsi menerima beban yang di timbulkan oleh lalu lintas, orang, kendaraan dan kemudian menyalurkannya pada bangunan bagian bawah.

2. Landasan

Landasan adalah bagian pada ujung-ujung bawah dari suatu bangunan atas yang berfungsi meneruskan gaya dari bangunan atas ke bangunan bawah dan juga sebagai tumpuan bangunan atas yang terletak di atas bangunan bawah.

3. Bangunan bawah

Bangunan bawah pada umumnya terletak di bagian bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan menyalurkannya ke pondasi.

4. Oprit jembatan

Oprit jembatan berupa timbunan tanah dibelakang abutmen. Timbunan tanah ini harus sepadat mungkin untuk menghindari terjadinya penurunan (*settlement*). Fungsinya sebagai jalan masuk ke jembatan dan merupakan lintasan penghubung antara jalan raya dengan jembatan.

5. Abutment

Abutment atau kepala jembatan adalah bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah.

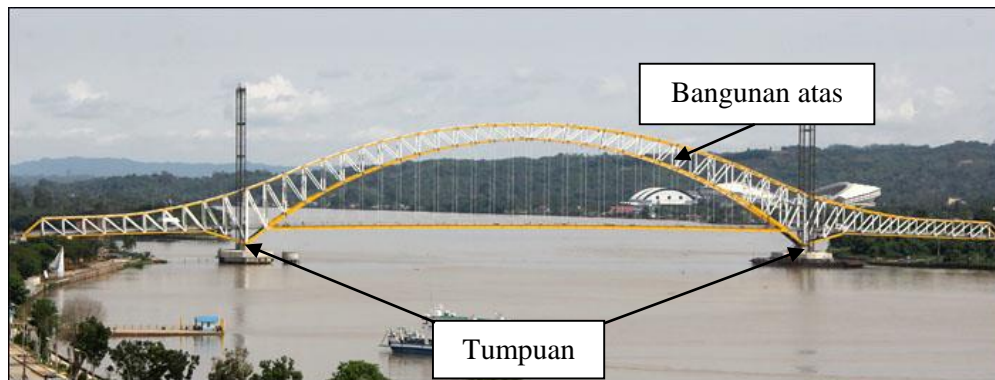
6. Pilar jembatan

Pilar (*pier*) berfungsi sebaga pendukung bagian atas.

7. Pondasi

Pondasi berfungsi menerima beban-beban dari bangunan bawah dan menyalurkannya ke tanah. Secara umum pondasi terbagi atas dua yakni pondasi dangkal dan pondasi dalam.

Namun pada tugas akhir ini hanya akan meneliti bangunan atas jembatan dengan jenis jembatan busur rangka baja lantai bawah sesuai dengan batasan masalah pada bab sebelumnya. Hal yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Bangunan Atas dan Tumpuan**

### 3.3 Elemen Struktur Atas

Elemen struktur atas pada jembatan busur rangka baja terbagi menjadi dua, yaitu struktur primer dan struktur sekunder.

#### 3.3.1 Struktur Primer

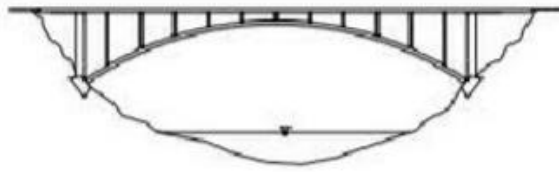
Struktur primer dari jembatan busur rangka baja diantaranya adalah lantai jembatan, batang lengkung, gelagar memanjang, gelagar melintang, dan batang penggantung.

##### 1. Lantai jembatan

Berdasarkan lantai kendaraanya, ada beberapa bentuk jenis yang umum dipakai, yaitu :

##### a. *Deck arch*

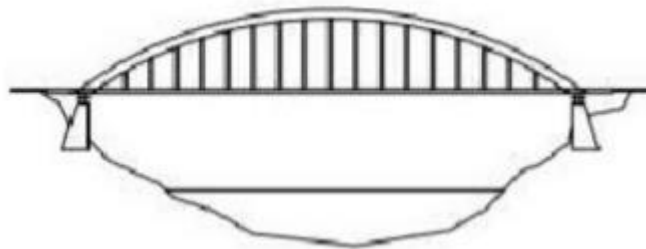
*Deck arch* yaitu salah satu jenis jembatan busur dimana letak lantainya menopang beban lalu lintas secara langsung dan berada di bagian paling atas busur. *Deck arch* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Jembatan *Deck Arch***

*b. Through arch*

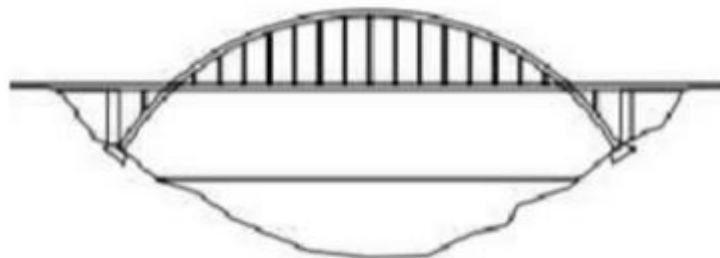
*Through arch* merupakan jenis lainnya, dimana letak lantai jembatan terdapat tepat di *springline* busurnya. *Through arch* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Jembatan *Through Arch***

*c. A half-through arch*

*A half-through arch* yaitu dimana lantai jembatan terletak diantara *springline* dan bagian atas busur atau di tengah-tengah. *A half-through arch* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Jembatan *A Half-Through Arch***

Pada tugas akhir ini, jenis lantai kendaraannya merupakan tipe *a half-through arch*.

## 2. Batang lengkung

Batang lengkung merupakan bagian utama dari struktur jembatan ini, karena seluruh beban yang berada di sepanjang jembatan dipikul oleh komponen tersebut. Bagian struktur ini merubah gaya vertical menjadi gaya horizontal.

## 3. Gelagar memanjang

Gelagar memanjang merupakan komponen pada struktur jembatan yang menahan beban langsung dari plat lantai kendaraan yang letaknya arah memanjang jembatan atau tegak lurus arah aliran sungai.

## 4. Gelagar melintang

Gelagar melintang merupakan komponen pada struktur jembatan yang berfungsi sebagai pengikat balok atau gelagar memanjang, komponen ini terletak arah melintang arah gelagar memanjang.

## 5. Batang penggantung

Batang penggantung merupakan komponen pada struktur jembatan yang berfungsi sebagai pemikul gelagar utama serta melimpahkan beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja ke rangka utama/busur.

### 3.3.2 Struktur Sekunder

Struktur sekunder dari jembatan busur diantaranya adalah:

#### 1. Ikatan angin

Ikatan angin berfungsi untuk memikul gaya angin yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan.

#### 2. Ikatan rem

Ikatan rem berfungsi untuk memikul gaya rem yang bekerja pada lantai kendaraan pada jembatan.

#### 3. Sambungan

Sambungan berfungsi menghubungkan beberapa bagian yang satu dengan yang lain pada suatu konstruksi jembatan rangka.

#### 4. Perletakan

Perletakan terletak menumpu pada abutmen dan pilar. Fungsi dari perletakan sendiri adalah sebagai media menyalurkan beban dari bangunan atas abutmen

yang kemudian diteruskan ke bagian pondasi. Pada tugas akhir ini menggunakan perletakan sendi-rol.

### **3.4 Pembebanan Struktur Atas Jembatan**

Dalam melakukan analisis jembatan yang perlu diperhatikan adalah beban. Beban-beban tersebut akan mempengaruhi hasil momen yang berpengaruh pada besarnya dimensi dari struktur jembatan serta banyaknya tulangan yang diperlukan.

Di Indonesia, peraturan pembebanan yang digunakan adalah Peraturan Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005). Beban rencana yang diperhitungkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Beban permanen
2. Beban lalu lintas
3. Beban dari lingkungan
4. Beban lainnya

#### **3.4.1 Beban Permanen**

Beban pemanen adalah beban yang bekerja secara permanen pada jembatan dan sifatnya tetap, tidak berubah-ubah selama jembatan tersebut masih berdiri. Beban permanen pada tugas akhir ini terdiri dari beban mati dan beban mati tambahan.

1. Beban sendiri (MS)

Beban mati adalah beban yang merupakan berat sendiri jembatan atau semua bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur pendukung jembatan yang dianggap satu kesatuan (tidak bergerak). Untuk menentukan besarnya beban mati tersebut, digunakan nilai berat volume untuk masing-masing bahan bangunan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Berat Satuan untuk Menghitung Berat Sendiri**

<b>Bahan</b>	<b>Berat Isi (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Kerapatan Massa (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Lapisan permukaan beraspal	22,0	2240
Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1760
Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2320
Aspal beton	22,0	2240
Beton ringan	22,0 – 25,0	2240 – 2560
Beton prategang	25,0 – 26,0	2560 – 2640
Beton bertulang	23,5 – 25,5	2400 – 2600
Batu pasangan	23,5	2400
Pasir kering	15,7 – 17,2	1600 – 1760
Pasir basah	18,0 – 18,8	1840 – 1920
Baja	77,0	7850

(sumber: RSNI T-03-2005)

## 2. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan terdiri dari elemen non struktural yang merekat secara permanen dan dianggap satu kesatuan yang utuh dalam jembatan seperti :

- a. Pelapisan ulang permukaan aspal (*overlay*)
- b. Sandaran, pagar pengaman dan penghalang beton.
- c. Genangan air hujan.

(Sumber: RSNI-T-02-2005, Pasal 5.3).

## 3.4.2 Beban Lalu Lintas

### 1. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata (UDL) dan beban garis (KEL). Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

- a. Beban terbagi merata (UDL) mempunyai intensitas  $q$  (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang bentang total  $L$  yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$L \leq 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = 9,0 \text{ kPa}$$

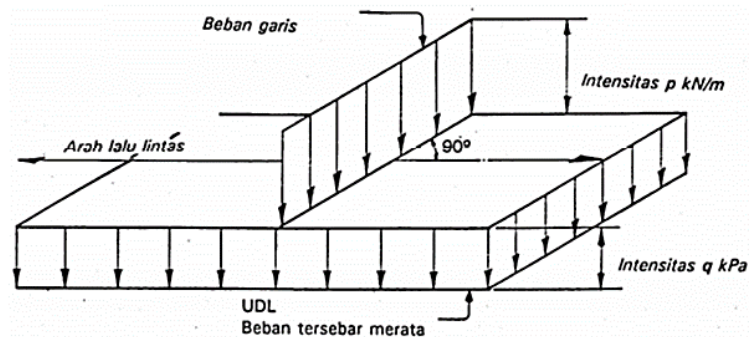
$$L \geq 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = 9,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (3.1)$$

(RSNI-T-02-2005, Pasal 6.3).

“ $L$ ” merupakan jumlah dari panjang masing-masing beban terputus tersebut. Beban lajur “ $D$ ” ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.5.

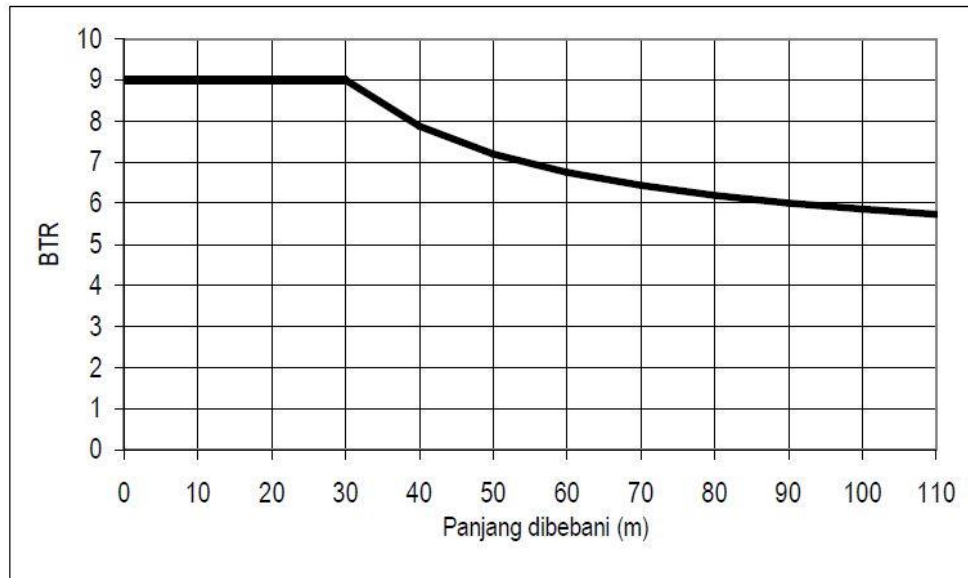
- b. Beban garis (KEL) ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

KEL mempunyai intensitas,  $p = 49,0 \text{ kN/m}$ , (RSNIT-02-2005, Pasal 6.3).



**Gambar 3.5 Beban lajur “D”**

(Sumber: RSNI-T-02-2005)

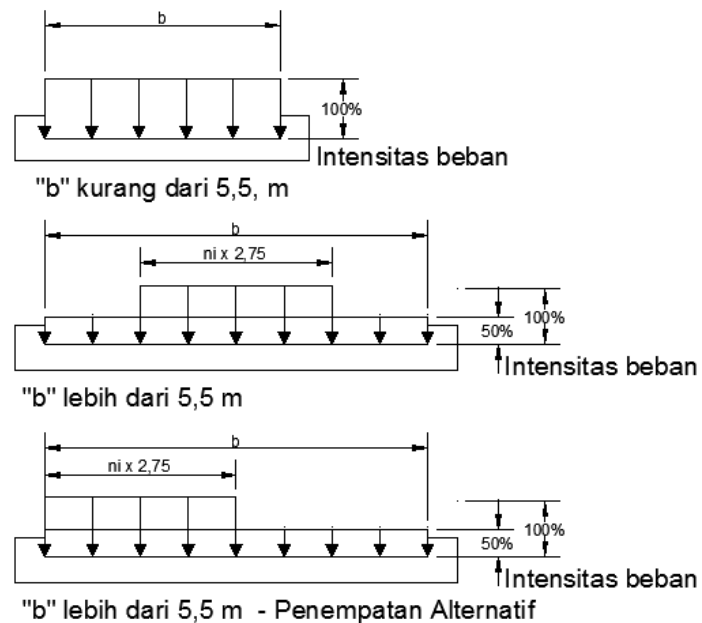


**Gambar 3.6 Grafik Beban Tersebar Rata (UDL)**

(Sumber: RSNI-T-02-2005)

Ketentuan penyebaran beban “D” pada arah melintang jembatan sebagai berikut:

- 1) Lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 meter, beban “D” harus ditempatkan diseluruh jalur dengan intensitas 100%.
- 2) Lebar jalur kendaraan lebih besar dari 5,5 meter, beban “D” harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana ( $n_i$ ) yang berdekatan dengan intensitas 100%, hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar  $n_i \times 2,75 q$  kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar  $n_i \times 2,75 p$  kN. Keduanya bekerja berupa strip pada jalur selebaran  $n_i \times 2,75$  m.
- 3) Beban “D” tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50% seperti terlihat pada Gambar 3.7.

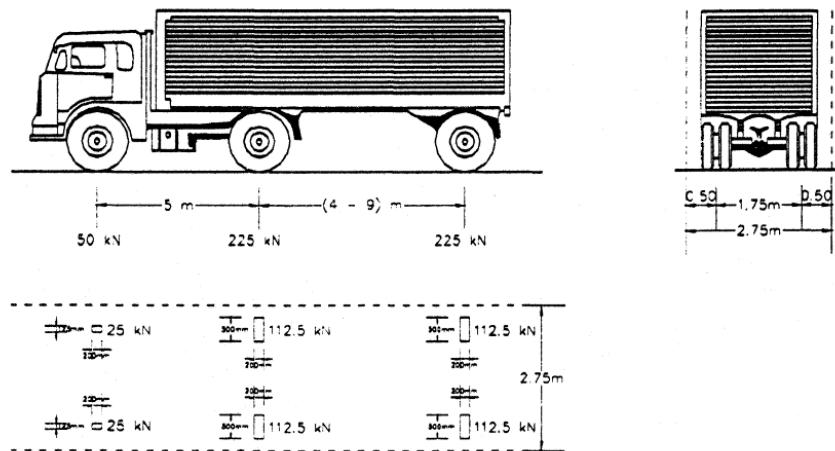


**Gambar 3.7 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang**

(Sumber: RSNI-T-02-2005)

2. Beban *Truck* "T"

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah antara 4.0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Gambaran ini dapat dilihat pada Gambar 3.8.

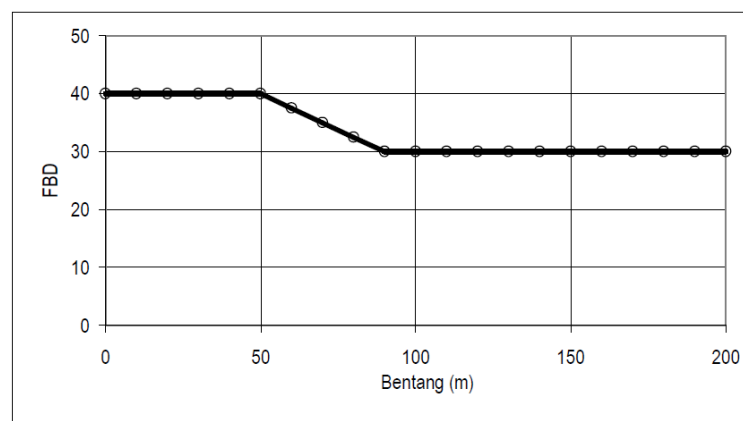


**Gambar 3.8** Beban *truck "T"*

(Sumber: RSNI-T-02-2005)

### 3. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Faktor beban dinamis berlaku untuk pembebanan “D” dan pembebanan truk “T” untuk simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan. Beban garis FBD dapat dilihat pada Gambar 3.9 serta faktor bebannya dapat dilihat pada Tabel 3.2.



**Gambar 3.9** Faktor Beban Dinamis (FBD)

(Sumber: RSNI-T-02-2005)

**Tabel 3.2 Faktor Beban Dinamik untuk Beban Garis KEL**

BENTANG EKUIVALEN $L_E$ (m)	FBD (untuk kedua keadaan batas)
$L_E \leq 50$	0.4
$50 < L_E < 90$	$0.4 - 0.0025 (L_E - 50)$
$L_E \geq 90$	0.3

Catatan :

Untuk bentang sederhana  $L_E =$  panjang bentang aktual

Untuk bentang menerus  $L_E = \sqrt{L_{rata-rata} - L_{maks}}$  (3.14)

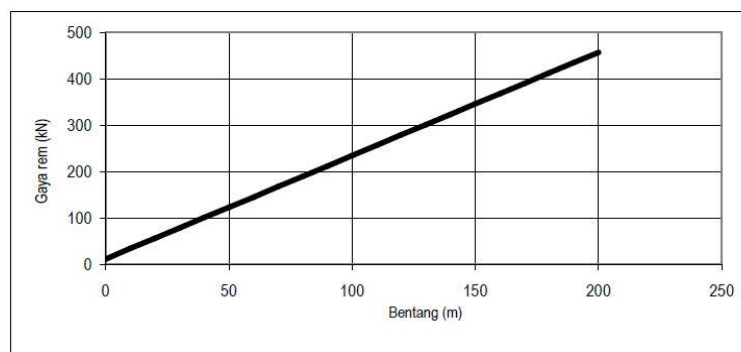
Keterangan :

$L_{rata-rata}$  = panjang bentang rata-rata dari bentang-bentang menerus.

$L_{maks}$  = panjang bentang maksimum dari bentang-bentang menerus

#### 4. Gaya rem (TB)

Gaya rem merupakan gaya yang terjadi akibat adanya gesekan antara ban kendaraan dan lantai jembatan. Pengaruh ini harus diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur  $D$  yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem dianggap bekerja horizontal searah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m dari permukaan lantai kendaraan. Apabila panjang bentang melebihi 30 m maka beban lajur  $D$  jangan direduksi, tetapi digunakan rumus  $q = 9,0$  kPa. Gaya rem yang terjadi pada jembatan bergantung pada panjang bentang jembatan tersebut, maka gaya rem yang terjadi dapat digunakan dengan grafik seperti pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10 Gaya Rem per Lajur 2,75 (KBU)**

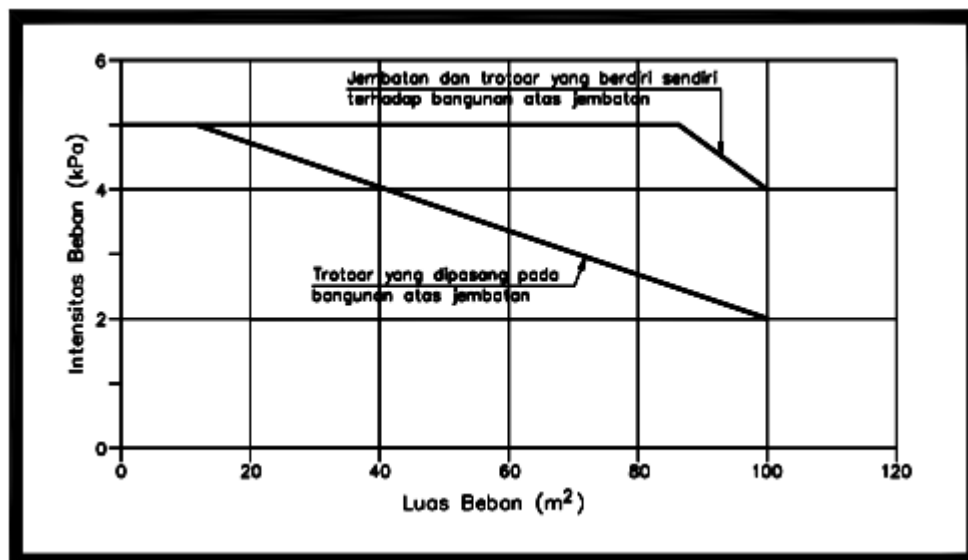
(Sumber: RSNI-T-02-2005)

5. Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban per m<sup>2</sup> dari luas yang dibebani seperti pada gambar 3.11. Luas yang dibebani adalah luas yang terkait dengan elemen bangunan yang ditinjau. Untuk jembatan, pembebanan lalu lintas dan pejalan kaki jangan diambil secara bersamaan pada keadaan batas ultimit (lihat tabel 3.3). Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.

**Tabel 3.3 Faktor Beban Akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki**

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{S;TP;}$	$K_{U;TP;}$
Transien	1.0	1.8



**Gambar 3.11 Pembebanan untuk Pejalan Kaki**

(Sumber: RSNIT-02-2005)

#### 6. Beban rencana *kerb*

*Kerb* harus direncanakan untuk menahan beban rencana ultimit sebesar 15 kN/m yang bekerja sepanjang bagian atas *kerb* (RSNI-T-02-2005).

#### 3.4.3 Beban Lingkungan

##### 1. Beban Angin (EW)

Gaya nominal *ultimate* dan gaya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

$$T_{EW} = 0.0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b \text{ kN} \quad (3.2)$$

$C_w$  = Koefisien seret,

$V_w$  = kecepatan angin rencana (m/dtk),

$A_b$  = luas bidang samping jembatan ( m<sup>2</sup> )

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal sebesar dengan nilai koefisien seret ( $C_w$ ) dan kecepatan angin rencana dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 :

$$T_{EW} = 0.0012 \times C_w \times (V_w)^2 \text{ kN/m, dengan } C_w = 1.2 \quad (3.3)$$

**Tabel 3.4 Koefisien Seret (  $C_w$  )**

Tipe Jembatan	$C_w$	Keterangan
Struktur atas masif <sup>(1)</sup>		b = lebar total jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi struktur atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang massif
b/d = 1.0	2.10 <sup>(2)</sup>	
b/d = 2.0	1.50 <sup>(2)</sup>	
b/d ≥ 6.0	1.25 <sup>(2)</sup>	
Bangunan atas rangka	1,2	
CATATAN (1) Untuk harga antara dari b/d bisa diinterpolasi linier		
CATATAN (2) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, $C_w$ harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5%		

( Sumber: RSNIT-02-2005)

**Tabel 3.5 Kecepatan Angin Rencana (  $V_w$  )**

Keadaan Batas	Lokasi	
	s/d 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

( Sumber: RSNIT-02-2005)

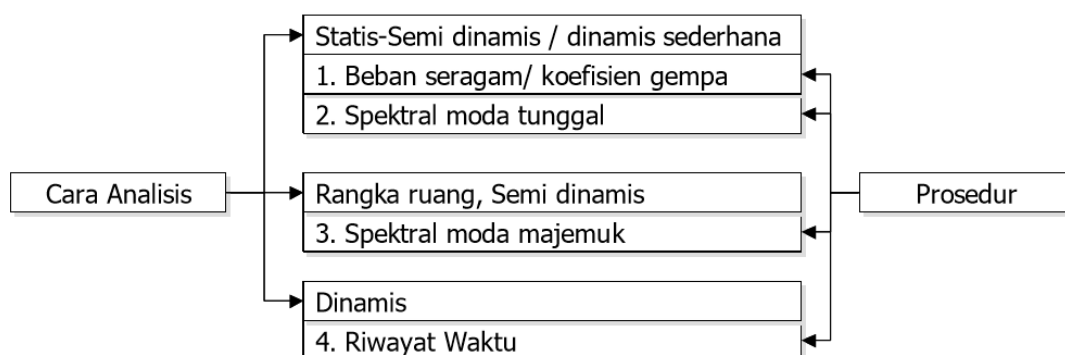
## 2. Beban Gempa ( EQ )

Sampai saat ini arah gempa yang berbahaya adalah gempa horizontal sejajar sumbu longitudinal dan tegak lurus sumbu longitudinal jembatan. Gempa arah bertikal biasanya lebih kecil dan dapat diabaikan pada kasus-kasus struktur tertentu. Kekuatan jembatan busur rangka baja terhadap beban gempa terletak pada bentuk strukturnya, karena bentuk strukturnya yang membentuk busur dan digantung oleh beberapa kabel baja yang mengakibatkan memiliki efek getaran yang paling kecil dan dapat menyerap energy akibat perpindahan selama terjadi

gempa. Analisis dinamis perlu dilakukan untuk tipe jembatan dengan perilaku rumis sebagai berikut.

- a. Bentang jembatan melebihi 200 meter
- b. Jembatan flesibel dengan periode panjang melebihi 1,5 detik
- c. Jembatan dan pilar tinggi melebihi 30 meter
- d. Jembatan pelengkung dengan lantai di atas, struktur *cable stayed*, dan jembatan gantung, jembatan yang menggunakan isolasi dasar. (Standar Ketahanan Gempa untuk Jembatan, SNI 2833-2008)

Berikut adalah prosedur analisis tahan gempa pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Prosedur Analisis Gempa untuk Jembatan

(Sumber: SNI 2833-2008)

Cara yang digunakan untuk analisis dinamis adalah cara respon spectra berdasarkan analisis riwayat waktu dan analisis moda, serta cara integral langsung yang menggunakan rumus pergerakan *equation of motion* sehingga diperlukan data gempa besar tipikal yang umumnya terjadi diluar lokasi jembatan. Gerakan gempa masukan berupa gelombang akselerasi dengan amplitude yang dimodifikasi berdasarkan wilayah frekuensi (*frequency zone*) sehingga sesuai akselerasi standar respon spectra. Gempa tipikal harus dipilih berdasarkan kondisi tanah dan topografi yang serupa dengan lokasi jembatan, sehingga dapat dilakukan (SNI 2833-2008, Pasal 4.3.2)

### 3.5 Kombinasi Pembebanan

Gaya rencana digolongkan ke dalam gaya tetap dan transien. Kombinasi beban umumnya didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari gaya yang bekerja secara bersamaan. Gaya rencana ditentukan dari gaya nominal yang mengalihkan gaya nominal dengan faktor yang memadai. Sehingga beban kombinasi beban untuk keadaan batas daya layan di dapat. Kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis ini yaitu sebagai berikut :

$$\text{Kombinasi I} : 1,3 K_{MS} + 2 K_{MA} + 1,8 K_{TD}/K_{TT} + 1,8 K_{TB} + 1,0 K_{EW}$$

$$\text{Kombinasi II} : 1,3 K_{MS} + 2 K_{MA} + 1,0 K_{TD}/K_{TT} + 1,0 K_{TB} + 1,8 K_{TP}$$

$$\text{Kombinasi III} : 1,3 K_{MS} + 2 K_{MA} + 1,0 K_{TD}/K_{TT} + 1,0 K_{TB} + 1,0 K_{EW}$$

$$\text{Kombinasi IV} : 1,3 K_{MS} + 2 K_{MA} + 1,0 K_{TD}/K_{TT} + 1,0 K_{TB} + 1,8 K_{EW}$$

$$\text{Kombinasi V} : 1,3 K_{MS} + 2 K_{MA} + 1,0 K_{TD}/K_{TT} + 1,8 K_{EQ}$$

$$\text{Kombinasi VI} : 1,3 K_{MS} + 2 K_{MA} + 1,0 K_{EW}$$

dimana :  $K_{MS}$  = Berat sendiri/beban mati

$K_{MA}$  = Berat mati tambahan

$K_{TD}/K_{TT}$  = Beban lajur “D” atau “T”

$K_{TB}$  = Gaya Rem

$K_{TP}$  = Beban pejalan kaki

$K_{EW}$  = Beban angin

$K_{EQ}$  = Beban gempa

### 3.6 Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Struktur atas jembatan dalam penelitian ini menggunakan struktur pelengkung rangka baja tipe *a half-through arch bridge*, menggunakan metode LFRD yang dengan bantuan program SAP2000. Perencanaan struktur atas jembatan meliputi perencanaan deck jembatan, hanger atau elemen penggantung jembatan, dan sistem struktur utama yang berupa rangka pelengkung. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan manual untuk kontrol hasil analisis dan desain program SAP2000. Perhitungan manual mengacu pada RSNI T 03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

### 3.6.1 Analisis dan Desain Menggunakan Program SAP2000 V.14

Analisis dan desain struktur dalam penelitian ini menggunakan bantuan program SAP2000, sehingga diperoleh output atau hasil berupa gaya-gaya yang bekerja dan jenis profil baja yang dibutuhkan pada masing-masing elemen struktur. Dalam melakukan pemodelan sebelum proses *running*, elemen arah bidang gambar (sumbu X dan sumbu Z) Hasil desain dari program sap2000 kemudian di kontrol menggunakan perhitungan manual berdasarkan RSNI T-03-2005.

Dalam pemodelan jembatan, posisi batang profil baja digambarkan seperti pada Gambar 1.2, dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Untuk mempermudah proses pemasangan profil dilapangan
2. Untuk mempermudah pemasangan baut pada sambungan
3. Untuk memperkecil nilai momen yang dihasilkan untuk menjaga kestabilan struktur

### 3.6.2 Kekuatan Penampang

#### 1. Komponen Struktur Batang Tarik

Berdasarkan RSNI T-03-2005 komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor,  $N_u$ , harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n, \quad (3.1)$$

dengan  $N_n$  adalah kuat tarik nominal yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di beberapa persamaan di bawah ini:

- a. Kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto :

$$N_n = A_g \cdot f_y \quad (3.2)$$

- b. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif :

$$N_n = A_e \cdot f_u \quad (3.3)$$

dengan :

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$A_e$  = luas penampang efektif ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = tegangan leleh (MPa)

$f_u$  = tegangan tarik putus (MPa)

Nilai  $\phi$  dalam persamaan (1) diambil sebesar 0,9, untuk hubungan dengan persamaan (2), dan  $\phi$  diambil sebesar 0,75 yang dapat dilihat pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit**

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, $\phi$
a. Lentur	0,90
b. Geser	0,90
c. Aksial tekan	0,85
d. Aksial tarik	
1. terhadap kuat tarik leleh	0,90
2. terhadap kuat tarik fraktur	0,75
e. Penghubung geser	0,75
f. Sambungan baut	0,75
g. Hubungan las	
1. Las tumpul penetrasi penuh	0,90
2. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

(Sumber: RSNI T-03-2005)

## 2. Komponen Struktur Batang Desak

Batang-batang desak yang banyak dijumpai yaitu kolom dan batang-batang tekan dalam struktur rangka batang. Komponen struktur tekan dapat terdiri dari profil tunggal atau profil tersusun yang digabung dengan menggunakan pelat kopel. Syarat kestabilan dalam mendesain komponen struktur tekan sangat perlu diperhatikan, mengingat adanya bahaya tekuk (buckling) pada komponen komponen tekan langsing (Dewobroto, 2016).

Berdasarkan RSNI T-03-2005 struktur yang memikul gaya tekan aksial terfaktor harus memenuhi :

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \quad (3.4)$$

Perbandingan kelangsingan:

a. Kelangsingan elemen penampang (Tabel 4 RSNI-T-03-2005)  $< \lambda_r$  (3.5)

b. Kelangsingan komponen struktur tekan,  $\lambda = \frac{Lk}{r} \leq 140$  (3.6)

Kuat tekan akibat tekuk lentur ( $N_n$ ) ditentukan sebagai berikut :

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A_g \cdot f_y \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (3.7)$$

$$N_n = \frac{0,88}{\lambda_c} \cdot A_g \cdot f_y \quad \text{untuk } \lambda_c > 1,5 \quad (3.8)$$

$$\lambda_c = \frac{Lk}{r \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3.9)$$

$$Lk = kc \cdot L \quad (3.10)$$

dengan :

$A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = tegangan leleh (MPa)

$\lambda_c$  = parameter kelangsingan

$k_c$  = faktor panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan rangka

$E$  = modulus elastisitas bahan baja (MPa).

$L$  = panjang batang (mm)

$L_k$  = panjang batang tekuk (mm)

Sedangkan untuk factor panjang tekuk dapat dilihat pada Gambar 3.13.

	Kolom Tak Bergoyang			Kolom Bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan penahan ujung	= Rotasi terjepit, translasi terjepit = Rotasi bebas, translasi terjepit			= Rotasi terjepit, translasi bebas = Rotasi bebas, translasi bebas		

**Gambar 3.13 Faktor Panjang Tekuk**

(Sumber: RSNI T-03-2005)

### 3. Komponen struktur lentur

Pada analisis struktur rangka tiga dimensi ini, diperoleh nilai momen arah sumbu Y (tegak lurus bidang gambar) yang disebabkan karena elemen penampang arah Y tidak di *realse* pada proses *running* SAP2000. Berdasarkan RSNI T-03-2005 suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat dan dengan metode elastis, harus memenuhi :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n \quad (3.11)$$

keterangan :

Mu = momen lentur terfaktor (Nmm)

Mn = momen lentur nominal (Nmm)

Momen lentur nominal harus memenuhi syarat dibawah ini :

a. Penampang kompak

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ , kuat lentur nominal penampang:

$$Mn = Mp = fy \cdot Z \quad (3.12)$$

b. Penampang tidak kompak

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$Mn = Mp - (Mp - Mr) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (3.13)$$

$$Mr = (fy - fr) \cdot S \quad (3.14)$$

c. Penampang langsing

Untuk pelat sayap yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$Mn = Mr \cdot \left( \frac{\lambda}{\lambda_r} \right)$$

1) Untuk pelat badan yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$Mn = Kg \cdot S \cdot f'cr \quad (3.15)$$

$$Kg = 1 - \left[ \frac{a_r}{1200 + 300 \cdot a_r} \right] \cdot \left[ \frac{h}{tw} \cdot \frac{2550}{\sqrt{f'cr}} \right] \quad (3.16)$$

$f'cr$  ditentukan dengan syarat :

a) Elemen struktur yang memenuhi  $\lambda_G \leq \lambda_p$

$$f'cr = fy \quad (3.17)$$

b) Elemen struktur yang memenuhi  $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$

$$f'cr = Cb \cdot fy \cdot \left( 1 - \frac{\lambda_G - \lambda_p}{2(\lambda_r - \lambda_p)} \right) \leq fy \quad (3.18)$$

c) Elemen yang memenuhi  $\lambda_r \leq \lambda_G$

$$f'cr = f'c \cdot \left( \frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2 \quad (3.19)$$

$$f'c = \frac{Cb \cdot fy}{2} \leq fy \quad (3.20)$$

$$C_b = \frac{12,4.M_{max}}{2,5M_{max}+3M_A+4M_B+3M_C} \leq 2,3 \quad (3.21)$$

keterangan:

$M_p$  = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami

Tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis penampang (Nmm)

$M_r$  = momen batas tekuk (Nmm)

$S$  = modulus penampang elastis (mm<sup>3</sup>)

$Z$  = modulus penampang plastis (mm<sup>3</sup>) didapat dari asumsi  $Z = 1,1 \cdot S$

$\lambda_p$  = parameter kelangsingan untuk penampang kompak.

$\lambda_r$  = parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak.

$\lambda_G$  = faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap, yang didapat dari  $\frac{b_f}{2.t_f}$  dimana  $b_f$  adalah lebar pelat sayap (mm) dan  $t_f$  adalah tebal

pelat sayap (mm).

$f_r$  = tegangan tekan residual pada pelat sayap

= 70 Mpa untuk penampang digilas (panas)

= 110 Mpa untuk penampang dilas

$f_{cr}$  = tegangan kritis (MPa)

$a_r$  = perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan

$C_b$  = faktor pengali momen

$M_{max}$  = momen maksimum absolut pada bentang yang ditinjau serta

$M_A$ ,  $M_B$ , dan  $M_C$  adalah masing-masing momen absolut pada  $\frac{1}{4}$  bentang, tengah bentang, dan  $\frac{3}{4}$  bentang komponen struktur yang ditinjau.

#### 4. Komponen struktur geser

Berdasarkan RSNI T-03-2005 pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor harus memenuhi :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n \quad (3.22)$$

Kuat geser nominal ( $V_n$ ) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan dibawah ini :

- a. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $\frac{h}{t_w}$  memenuhi:

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (3.23)$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (3.24)$$

$$V_n = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y \quad (3.25)$$

b. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $\frac{h}{t_w}$  memenuhi:

$$1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \leq 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (3.26)$$

$$V_n = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y \cdot \left(1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\right) \quad (3.27)$$

c. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $\frac{h}{t_w}$  memenuhi:

$$1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \leq \left(\frac{h}{t_w}\right) \quad (3.28)$$

$$V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot k_n \cdot E}{(h/t_w)^2} \quad (3.29)$$

keterangan :

$h$  = tinggi bersih sayap plat (mm)

$t_w$  = tebal plat badan (mm)

## **BAB IV**

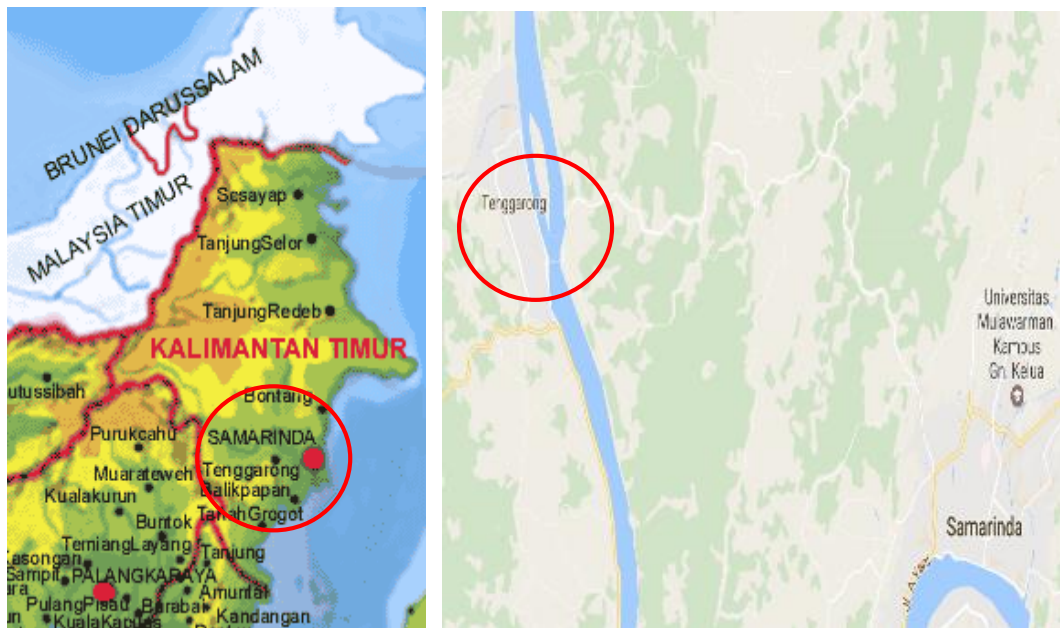
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Data**

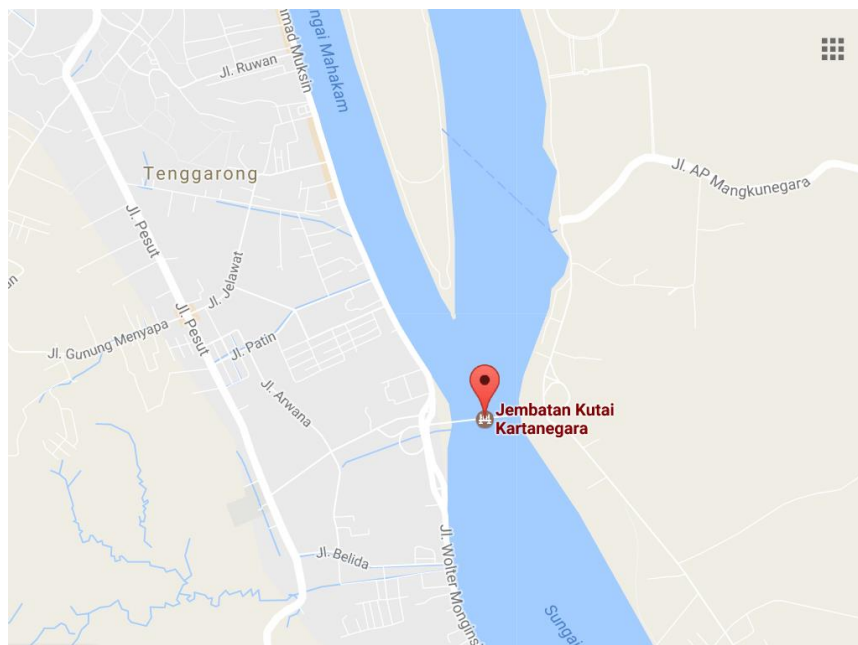
Dalam sebuah analisis, metodologi penelitian memegang peranan penting guna mendapatkan data yang sesuai dan selanjutnya digunakan untuk memecahkan permasalahan yang telah dirumuskan. Pada penelitian ini memerlukan data penting pada jembatan yang akan digunakan dalam analisis berupa data teknis jembatan, *shop drawing* (gambar kerja), kemudian baru dilakukan analisis sesuai dengan permasalahan yang telah dirumuskan.

#### **4.2 Lokasi Jembatan**

Jembatan Kutai Kartanegara ing Martadipura merupakan jembatan kedua yang dibangun melintasi Sungai Mahakam setelah Jembatan Mahakam di Samarinda. Jembatan ini merupakan sarana penghubung antara Kota Tenggarong dengan kecamatan Tenggarong Seberang yang menuju ke Kota Samarinda. Untuk lebih jelasnya, lokasi jembatan Kutai Kartanegara dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



**Gambar 4.1** Peta Provinsi Kalimantan Timur dan Kabupaten Tenggarong  
(*sumber: images.google.com*)



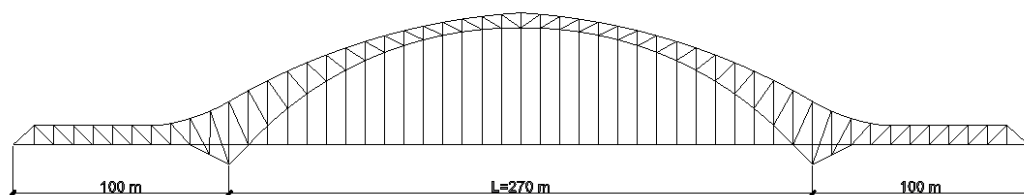
**Gambar 4.2** Lokasi Jembatan Kutai Kartanegara (pada titik merah)

(*sumber: maps.google.com*)

Pada penelitian ini memiliki beberapa parameter yang akan digunakan sebagai bahan analisis yaitu sebagai berikut.

1. Jembatan yang dianalisis menggunakan data dari Jembatan Kutai Kartanegara yang mempunyai data teknis sebagai berikut.
  - a. Panjang total : 470 m
  - b. *Main span* : 270 m
  - c. *Side span* : 100 m
2. Sehingga geometri Jembatan Kutai Kartanegara dengan total bentang 470 m mempunyai konfigurasi 100 m + 270 m + 100 m

Dapat dilihat gambaran umum ukuran bentang jembatan Kutai Kartanegara pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Gambaran Umum Ukuram Bentang Jembatan Kutai Kartanegara

#### **4.3 Metode Pengumpulan Data**

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari pihak yang menangani proyek ini.

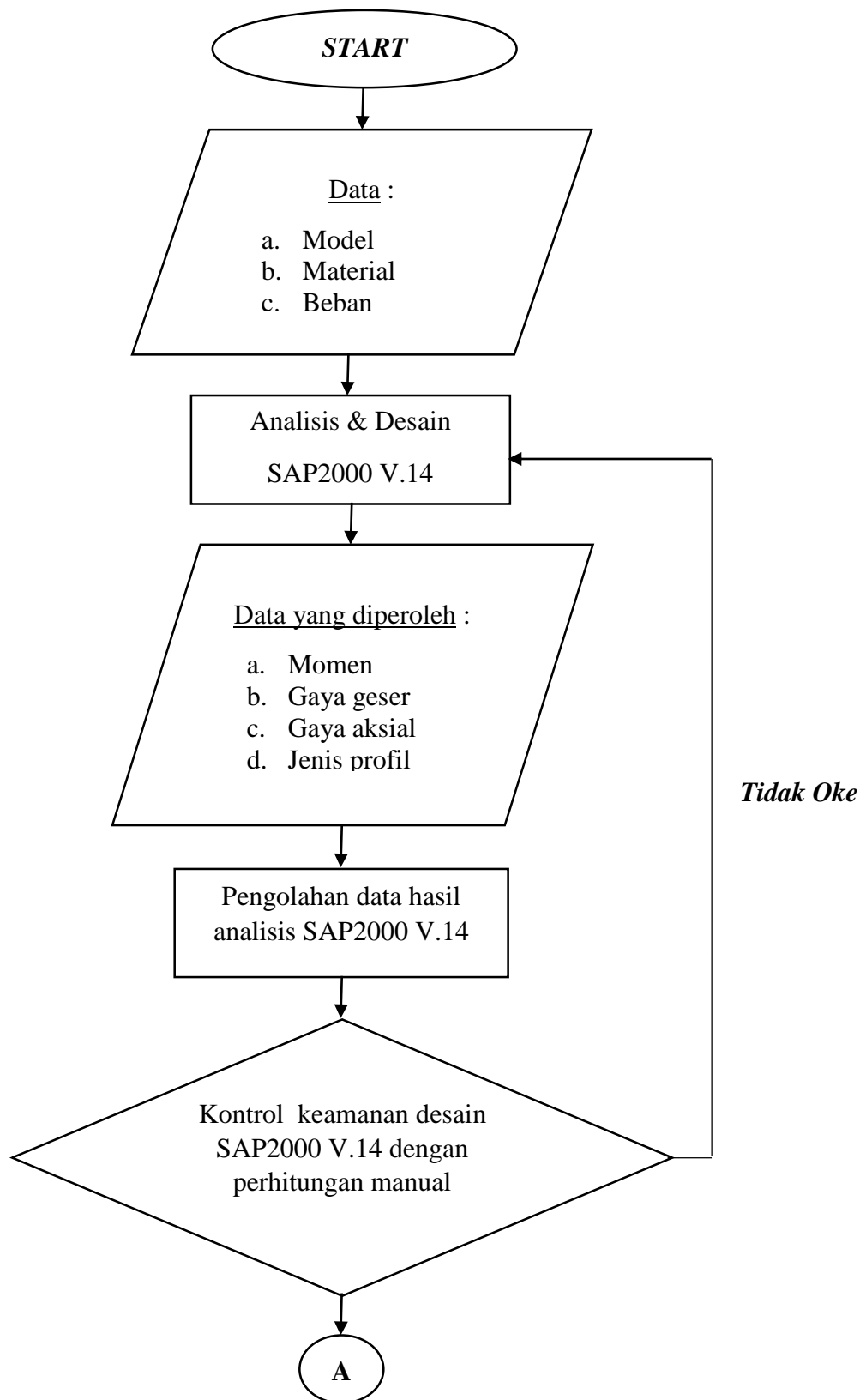
#### **4.4 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian tugas akhir ini yang dilakukan pada Jembatan Kutai Kartanegara adalah sebagai berikut :

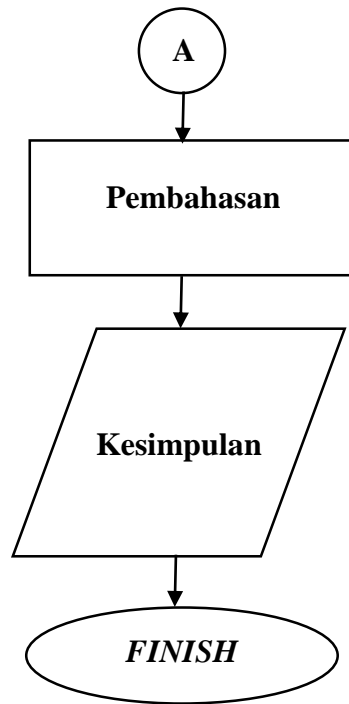
1. Menentukan spesifikasi dan konfigurasi stuktur jembatan.

2. Membuat pemodelan struktur jembatan menggunakan *software* SAP2000 v.14 dengan variasi tinggi busur yang telah ditentukan.
3. Menghitung pembebanan jembatan sesuai dengan peraturan yang digunakan.
4. Analisis struktur 3D menggunakan *software* SAP2000 v.14.
5. Membandingkan hasil *output* SAP2000 pada variasi tinggi busur yang telah ditentukan.
6. Melakukan control hasil analisis dan desai dari program SAP2000 menggunakan perhitungan manual.
7. Pembahasan.
8. Menyimpulkan hasil,

Langkah-langkah analisis tugas akhir ini dapat dilihat pada *flow chart* yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** *Flow Chart* Penyusunan Tugas Akhir



**Gambar 4.4 Lanjutan**

## BAB V

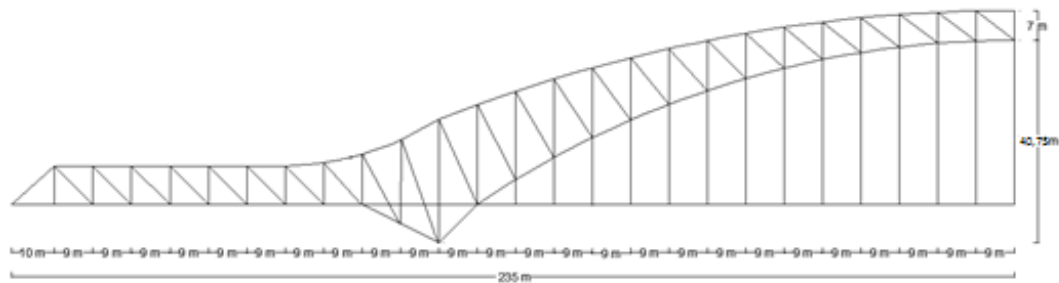
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Data Teknis Jembatan

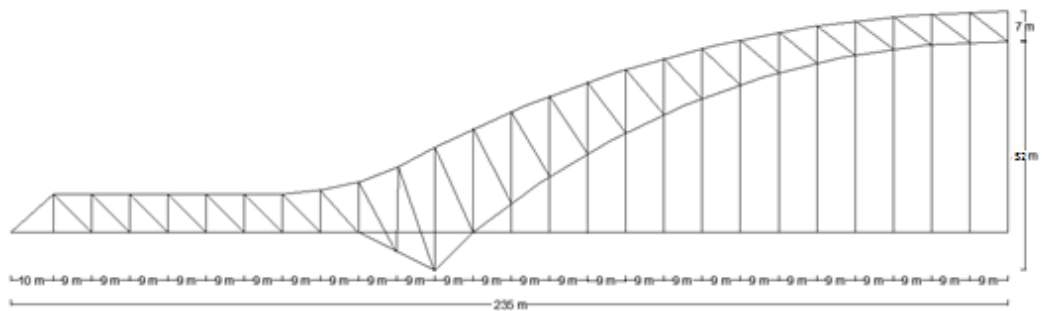
Dalam tugas akhir ini, analisis struktur jembatan merupakan langkah utama dalam menentukan rasio tinggi efektif busur pada jembatan tipe busur rangka baja dengan menggunakan jembatan Kutai Kartanegara ing Martadipura yang terletak di Kalimantan Timur sebagai objek penelitian. Data jembatan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. Panjang total jembatan ( $L_{total}$ ) = 470 m
- b. Panjang bentang = (100+270+100) m
- c. Tebal slab lantai jembatan ( $ts$ ) = 0,2 m
- d. Tebal lapisan aspal + overlay ( $ta$ ) = 0,1 m
- e. Tebal genangan air hujan ( $th$ ) = 0,05 m
- f. Lebar lalu lintas ( $b_1$ ) = 7 m
- g. Lebar trotoar ( $b_2$ ) = 1,25 m
- h. Tebal trotoar ( $tt$ ) = 0,3 m
- i. Lebar jembatan ( $b$ ) = 9,5 m

Tampak memanjang jembatan yang direncanakan ditunjukkan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.

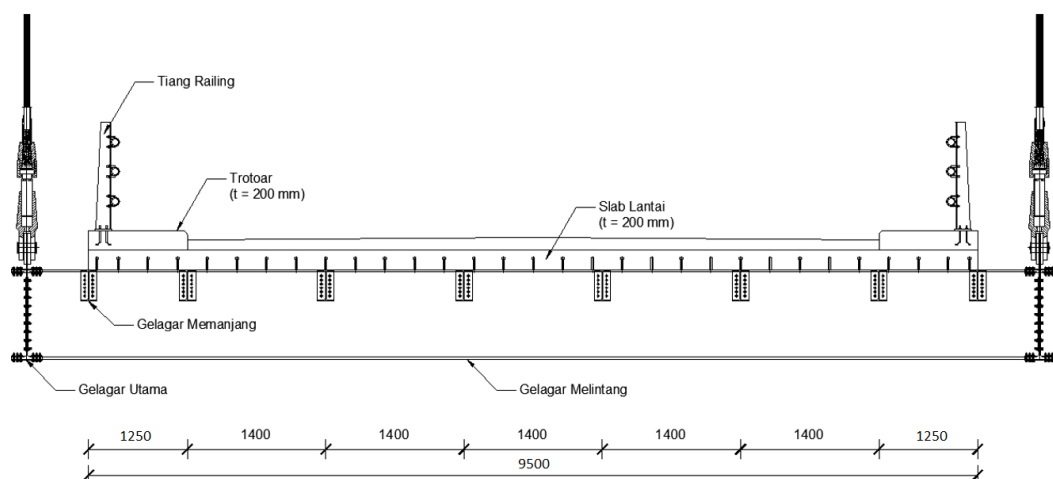


**Gambar 5.1 Tampak Memanjang Model Jembatan I (tinggi = 40,75 m)**



**Gambar 5.2 Tampak Memanjang Model Jembatan II (tinggi = 52 m)**

Dalam penelitian ini, dek jembatan untuk dua model jembatan yang terdiri dari beberapa elemen yaitu gelagar memanjang dan gelagar melintang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3 Tampak Melintang Dek Jembatan**

## 5.2 Pembebanan Struktur

Ada beberapa jenis beban yang terjadi pada struktur, yaitu aksi tetap, aksi sementara, dan aksi lingkungan.

### 5.2.1 Aksi Tetap

Aksi tetap terdiri berat sendiri (MS) dan beban mati tambahan (MA). Berat sendiri (MS) terdiri dari berat bahan bagian elemen struktural jembatan dan elemen

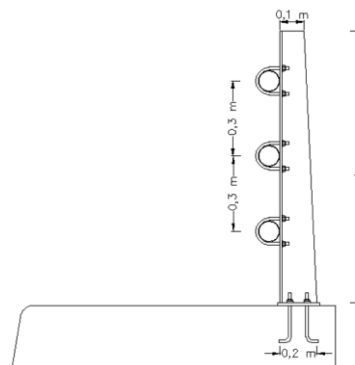
non struktural yang dianggap tetap. Berat sendiri elemen struktural dihitung secara otomatis menggunakan program SAP2000 V.14, sedangkan berat elemen non struktural dihitung secara manual. Beban mati tambahan terdiri berat seluruh bahan penyusun elemen non struktural yang membentuk beban pada jembatan, seperti lapisan aspal dan *overlay* serta beban genangan air hujan.

#### 1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri dihitung secara manual terdiri dari berat tiang sandaran, slab trotoar, slab lantai, dan lampu jalan. Tiang sandaran dipasang dengan jarak antar tiang sebesar 3 m. Jarak antartiang dipisahkan menggunakan pipa railing dengan diameter luar sebesar 3" ( $\pm 89$  mm), dan ketebalan sebesar 5,49 mm.

##### a. Tiang Sandaran (Tiang *Railing* Jembatan)

Dalam penelitian ini, tiang sandaran dan trotoar direncanakan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4.



**Gambar 5.4 Tiang Sandaran dan Trotoar Tiang Sandaran**

Perhitungan berat sendiri tiang sandaran dapat dilihat pada Tabel 5.1 dengan ketentuan-ketentuan berikut.

- 1) Faktor beban ultimate ( $K_{MS}$ ) = 1,3
- 2) Jarak antartiang ( $L$ ) = 5 m
- 3) Berat beton berulang ( $W_C$ ) = 7,85 kN/m<sup>3</sup>

**Tabel 5.1 Perhitungan Beban Tiang Sandaran**

Komponen	Lebar( <i>b</i> ) (m)	Tinggi( <i>h</i> ) (m)	Panjang( <i>L</i> ) (m)	Jumlah	Beban (kN)
Sandaran	0.15	1	0.2	1	0.006
SGP 3" BJ(kN/m) = 1,07			4.5	3	1.4445
Total					1.4505

b. *Slab* Trotoar

Tebal *slab* trotoar sebesar 0,2 m, lebar 1,25 m, dan berat jenis beton ( $W_C$ ) sebesar 24 kN/m<sup>3</sup> sehingga diperoleh beban *slab* trotoar:

$$\begin{aligned}
 BS_{Trotoar} &= b \times h \times W_C \\
 &= 1,25 \times 0,2 \times 24 \\
 &= 6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

c. *Slab* Lantai

Tebal *slab* lantai sebesar 0,2 m, lebar yang ditinjau 1,4 m,  $W_C$  sebesar 24 kN/m<sup>3</sup> sehingga diperoleh berat sendiri *slab* lantai:

$$\begin{aligned}
 BS_{Lantai} &= b \times h \times W_C \\
 &= 1,4 \times 0,2 \times 24 \\
 &= 6,72 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2. Beban mati tambahan ( $MA$ )

Beban mati tambahan ( $MA$ ) merupakan beban didistribusikan secara merata di atas permukaan lantai jembatan. Beban ini terdiri dari beban aspal + *overlay* dan beban genangan air hujan.

$$\text{Faktor beban ultimit } (K_{MA}) = 2,0$$

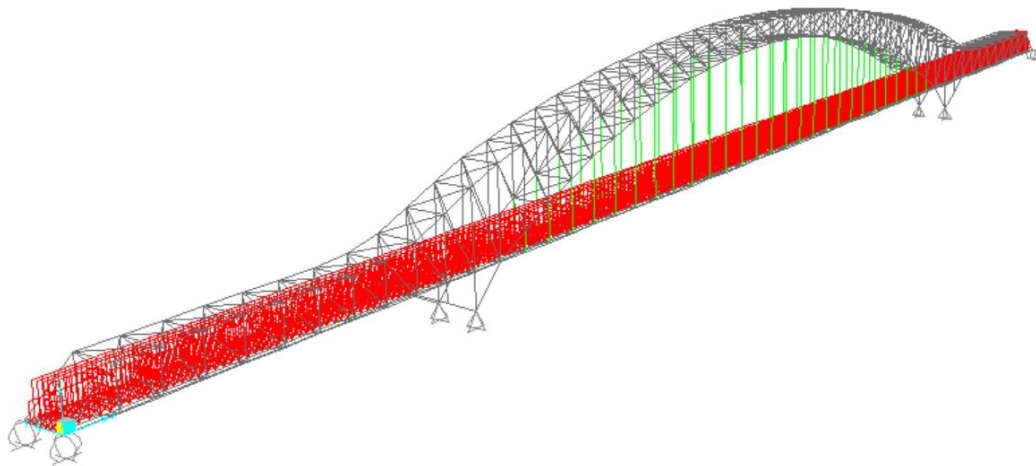
$$\text{Beban Mati Tambahan } (Q_{MA}) = b \times h \times w$$

$$\text{Aspal + overlay} = 1,4 \times 0,1 \times 22 \text{ kN/m}^3 = 3,08 \text{ kN/m}$$

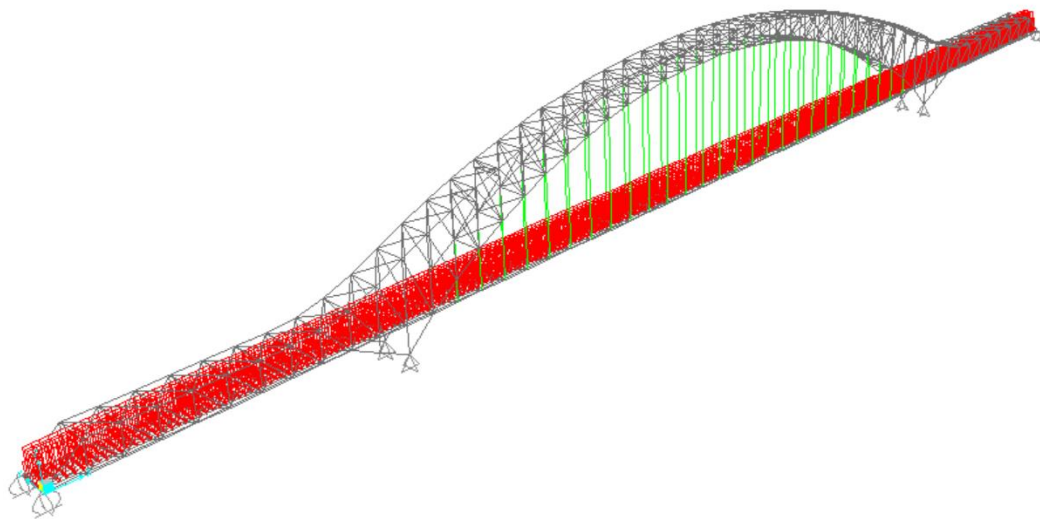
$$\text{Genangan air hujan} = 1,4 \times 0,05 \times 9.8 \text{ kN/m}^3 = 0,69 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total } Q_{MA} = 3,08 + 0,69 = 3,77 \text{ kN/m}$$

Distribusi berat sendiri dan beban mati tambahan yang bekerja pada masing-masing model jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.5.



(a)



(b)

**Gambar 5.5 Distribusi Berat Sendiri dan Beban Mati Tambahan (a) Jembatan I, (b) Jembatan II**

### 5.2.2 Beban Lalu Lintas

Dalam penelitian ini beban lalu lintas yang dihitung meliputi beban lajur ( $D$ ) dan gaya rem ( $TB$ ).

#### 1. Beban Lajur ( $D$ )

Beban lajur ( $D$ ) terdiri dari Beban Terbagi Rata (UDL) dan Beban Garis (KEL) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 pada Bab III.

a. Beban terbagi rata (*UDL*)

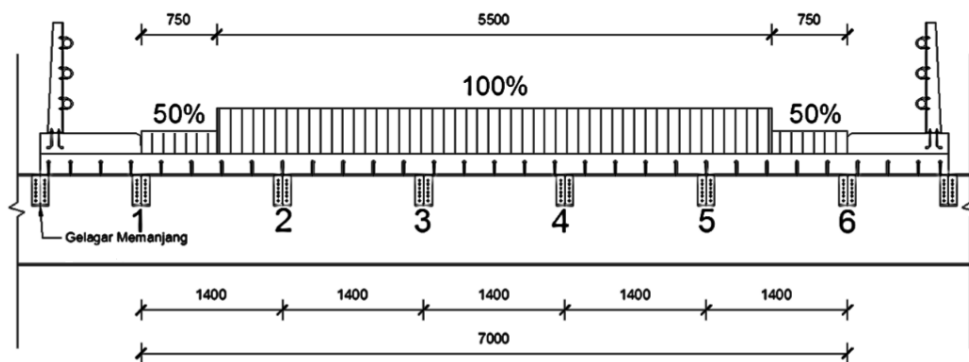
*UDL* mempunyai intensitas  $q$  (kPa) yang besarnya tergantung panjang total pembebanan  $L$ . Panjang bentang efektif pada perencanaan jembatan ini ( $L_E$ ) sebesar 270 m ( $L > 30$  m) sehingga untuk menentukan nilai  $q$  digunakan Persamaan 3.1.

$$\begin{aligned} q &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \\ &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{270}\right) \text{ kPa} \\ &= 5,036 \text{ kPa} \\ &= 5,036 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban Garis (*KEL*)

Beban Garis (*KEL*) memiliki intensitas  $p$  kN/m yang ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan. Besar nilai  $p$  adalah 49 kN/m. Beban Garis diberi Faktor Beban Dinamis (*FBD*) untuk bentang  $> 90$  m adalah 30%.

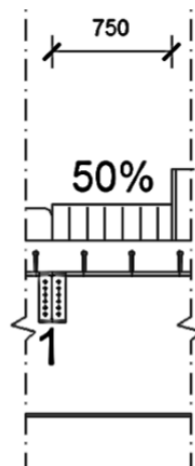
Berdasarkan RSNI-T-02-2005 distribusi beban pada lajur  $D$  pada masing-masing gelagar memanjang perlu diperhitungkan karena beban lajur ( $D$ ) bekerja pada gelagar memanjang. Beban Terbagi Rata (*UDL*) dan Beban Garis (*KEL*). Intensitas *UDL* ( $q$ ) sebesar 5,036 kN/m<sup>2</sup> dan intensitas *KEL* ( $p$ ) sebesar 49 kN. Besarnya beban lajur berbeda pada beberapa gelagar memanjang. Gelagar memanjang 1 dan 6 menerima beban lajur yang berbeda dengan gelagar memanjang 2, 3, 4 dan 5, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6.



**Gambar 5.6 Distribusi Beban Lajur ( $D$ ) pada Gelagar Memanjang**

a. Gelagar memanjang 1 dan 6

Distribusi beban lajur pada gelagar memanjang 1 dan 6 ditunjukkan pada Gambar 5.7.



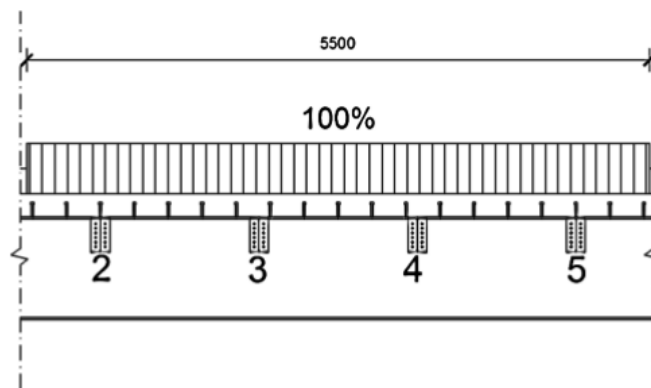
**Gambar 5.7 Distribusi Beban Lajur ( $D$ ) pada Gelagar Memanjang 1 dan 6**

$$\begin{aligned} UDL &= (50\% \times q \times 0,7) \\ &= (50\% \times 5,036 \times 0,7) \\ &= 1,763 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KEL &= (50\% \times (1 + DLA) \times p \times 0,7) \\ &= (50\% \times (1 + 0,3) \times 49 \times 0,7) \\ &= 22,295 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Gelagar memanjang 2, 3, 4 dan 5

Distribusi beban lajur pada stinger 2, 3, 4 dan 5 ditunjukkan pada Gambar 5.8.

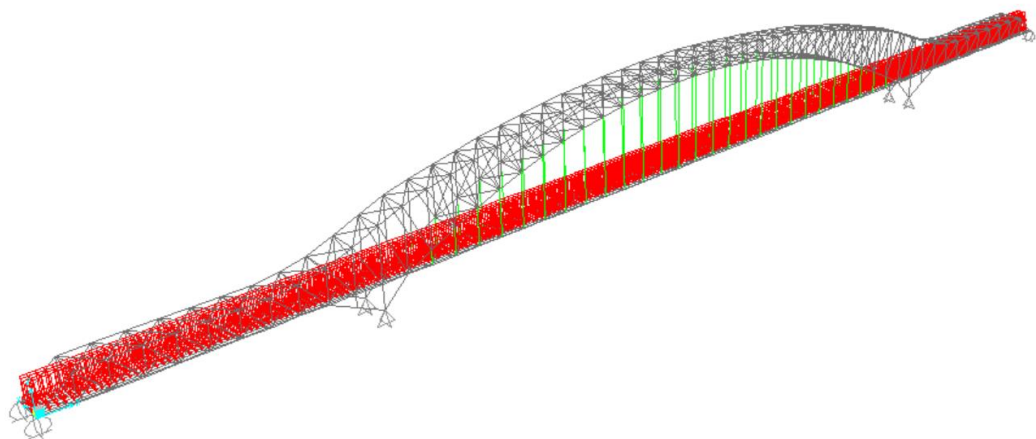


**Gambar 5.8 Distribusi Beban Lajur (*D*) pada Gelagar Memanjang 2,3,4, dan 5**

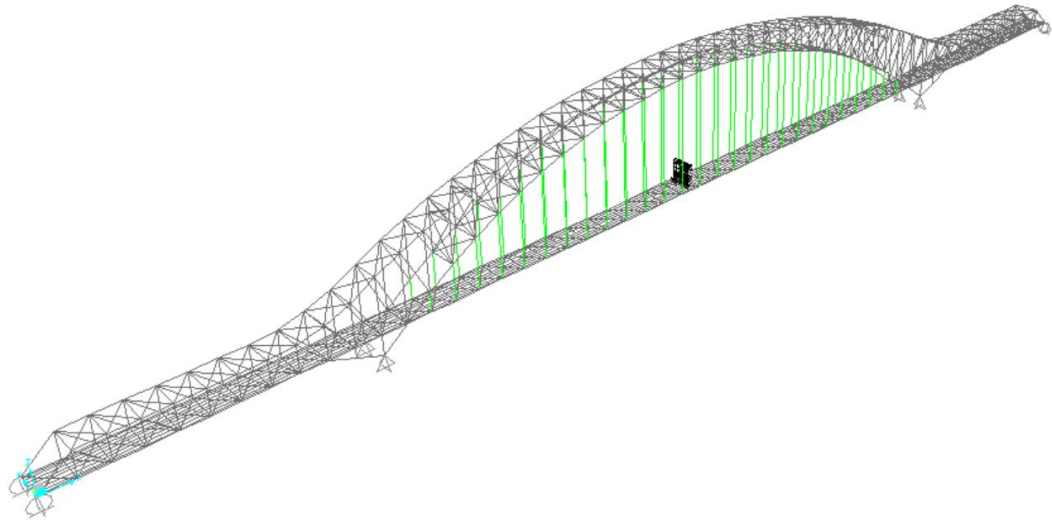
$$\begin{aligned}
 UDL &= (100\% \times q \times 1,4) \\
 &= (100\% \times 5,036 \times 1,4) \\
 &= 7,05 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KEL &= (100\% \times (1+DLA) \times p \times 1,4) \\
 &= (100\% \times (1 + 0,3) \times 49 \times 1,4) \\
 &= 89,18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Distribusi beban lajur *D* pada Jembatan 1 dan Jembatan 2 adalah sama, dapat dilihat pada Gambar 5.9.



(a)



(b)

**Gambar 5.9 Distribusi Beban Lajur D, (a) UDL, (b) KEL**

2. Gaya rem ( $TB$ )

Gaya rem bekerja pada arah memanjang jembatan yang ditinjau dari kedua arah jalur lalu lintas dengan jarak 1,8 m dari lantai jembatan. Pengaruh gaya rem dan traksi diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur ( $D$ ) yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan faktor beban dinamis dalam satu jalur.

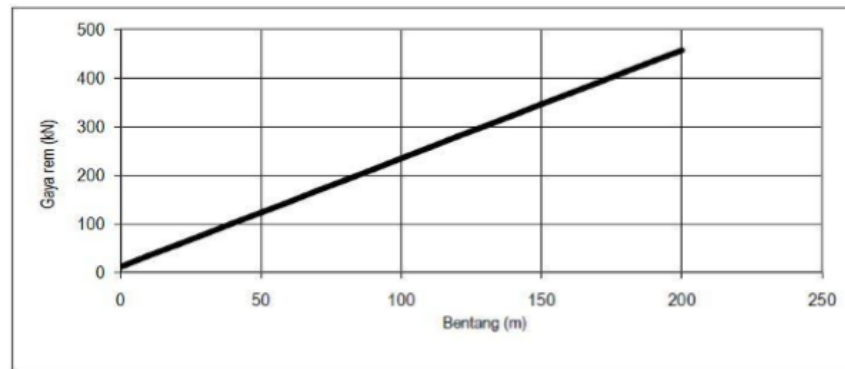
$$\text{Panjang total jembatan } (L) = 470 \text{ m}$$

$$\text{Beban merata } (q) = 9 \text{ kPa}$$

$$\text{Beban garis } (p) = 49 \text{ kN/m}$$

$$\text{Lebar lalu lintas } (b_1) = 7 \text{ m}$$

Gaya rem ditentukan berdasarkan grafik hubungan bentang jembatan dan Gaya rem seperti pada Gambar 5.10.



**Gambar 5.10 Gaya Rem per Lajur 2,75 (KBU)**

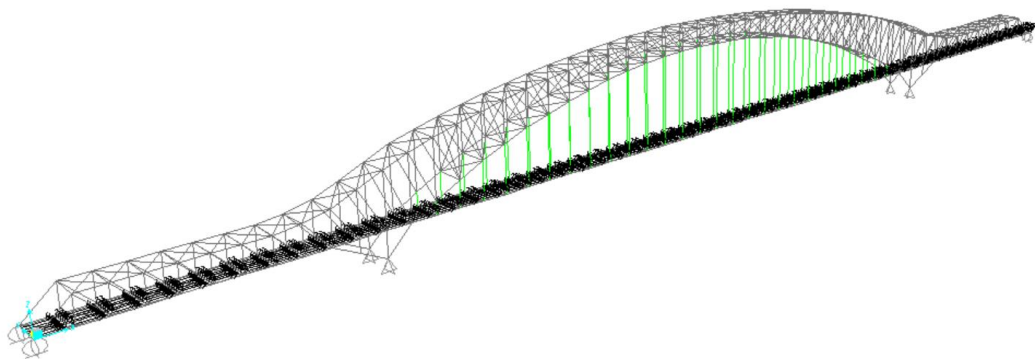
*Sumber:* RSNI-T-02-2005

Berdasarkan Gambar 5.10, dengan bentang jembatan 470 m diperoleh Gaya Rem ( $T_B$ ) sebesar 1050 kN. Faktor beban rem ( $K_{TB}$ ) sebesar 1,8.

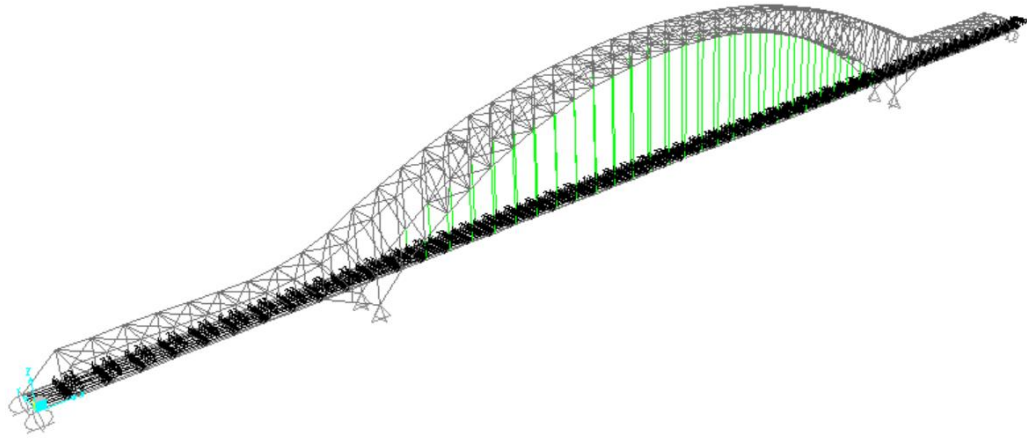
Gaya rem bekerja pada dua jalur lalu lintas sehingga  $T_B = 2 \times 1050$  kN tersebut didistribusikan pada setiap joint pertemuan gelagar memanjang dan gelagar melintang. Jumlah gelagar memanjang sebanyak 6 buah, jumlah segmen sebanyak 52 segmen, sehingga jumlah *joint*,  $n = 6 \times 52 = 312$ , maka gaya rem pada tiap *joint* adalah:

$$T_{TB} = \frac{T_{TB'}}{n} = \frac{2 \times 1050}{312} = 6,73 \text{ kN}$$

Distribusi beban rem pada masing-masing model jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.11.



(a)



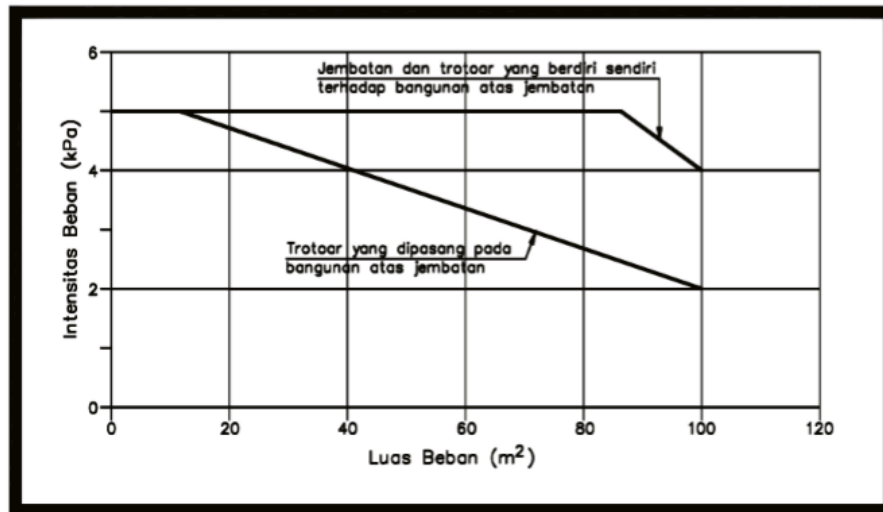
(b)

**Gambar 5.11 Distribusi Beban Rem, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II**

### 5.2.3 Beban Pejalan Kaki ( $T_P$ )

Beban pejalan kaki ditahan oleh trotoar, beban trotoar bekerja pada gelagar memanjang 1 dan 6, sehingga beban pejalan kaki hanya bekerja pada gelagar memanjang 1 dan 6. Beban nominal ( $q_p$ ) pejalan kaki sebesar 5 kN/m dan faktor beban ( $K_{TP}$ ) sebesar 1,8. Beban pejalan kaki dihitung berdasarkan luas yang dibebani sehingga diperoleh nilai intensitas beban ( $q$ ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12.

$$\begin{aligned}
 L_{\text{trotoar}} &= UDL_{\text{otoar}} \times \text{bentang jembatan} \times \text{jumlah trotoar} \\
 &= 1,25 \times 470 \times 2 \\
 &= 1175 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$



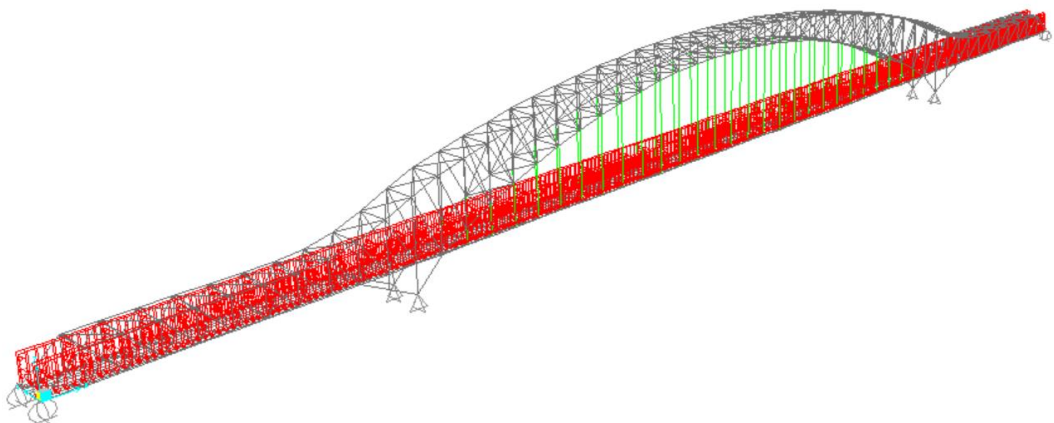
**Gambar 5.12 Pembebanan Untuk Pejalan Kaki**

(Sumber: RSNI-T-02-2005)

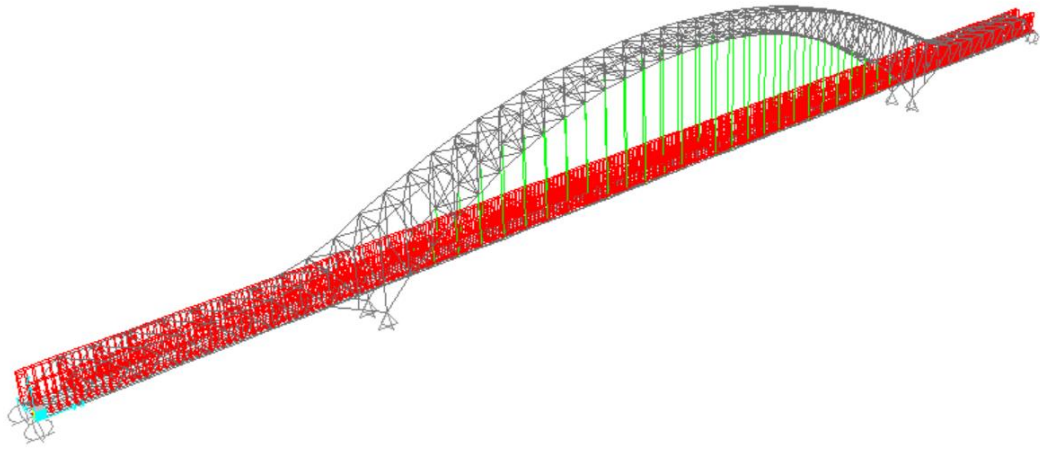
Berdasarkan Gambar 5.12 diperoleh nilai intensitas beban ( $q$ ) sebesar  $2 \text{ kN/m}^2$ .

$$\begin{aligned}
 Q_{TP} &= q_p \times q \times UDL_{\text{otoar}} \\
 &= 5 \times 2 \times 1,25 \\
 &= 12,5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Distribusi beban pejalan kaki pada masing-masing model jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.13.



(a)



(b)

**Gambar 5. 13 Distribusi Beban Pejalan Kaki (a) Jembatan I, (b) Jembatan II**

#### 5.2.4 Beban Angin ( $E_w$ )

Menurut RSNI T-02-2005 gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut.

$$T_{EW} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \text{ (kN)}$$

Dengan data teknis :

$V_w$  = kecepatan angin rencana jembatan Nambangan (jarak > 5km dari pantai)

$$= 30 \text{ m/s}$$

$C_w$  = koefisien seret struktur atas rangka

$$= 1,2 \text{ (tabel 27 RSNI T-02-2005)}$$

$A_b$  = luas koefisien bagian samping jembatan ( $\text{m}^2$ )

Berdasarkan RSNI T-02-2005 luas ekivalen jembatan untuk jembatan rangka baja dianggap 30% dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar.

#### 1. Beban angin jembatan I

$$\text{Luas bagian jembatan rangka} = 17119.41 \text{ m}^2$$

Luas koefisien bagian samping jembatan

$$\begin{aligned} A_b &= 30\% \cdot 17119.41 \\ &= 5135.823 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

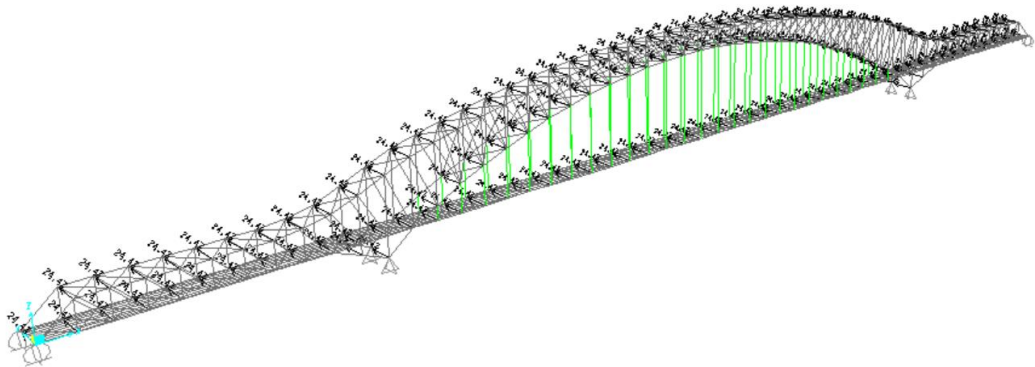
Maka nilai gaya nominal akibat angin adalah

$$\begin{aligned} T_{EW} &= 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \\ &= 0,0006 \cdot 1,2 \cdot (30)^2 \cdot 5135.823 \\ &= 3328,013 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah joint} &= \text{joint bagian pelengkung} + \text{joint bagian dek jembatan} \\ &= 84 + 52 \\ &= 136 \text{ titik} \end{aligned}$$

$$T_{ew} = \frac{3328,013}{136} = 24,47 \text{ kN}$$

Gambar 5.14 berikut ini adalah gambar *input* pembeban angin secara 3 dimensi pada Jembatan I.



**Gambar 5.14 Distribusi Beban Angin pada Jembatan I**

## 2. Beban angin jembatan II

Luas bagian jembatan rangka = 21179,58 m<sup>2</sup>

Luas koefisien bagian samping jembatan

$$\begin{aligned} A_b &= 30\% \cdot 21179,58 \\ &= 6353,874 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

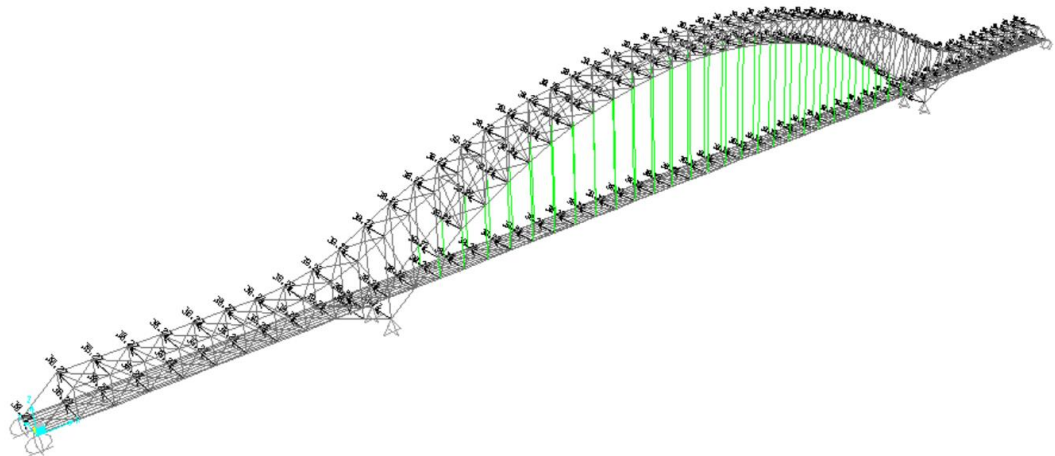
Maka nilai gaya nominal akibat angin adalah

$$\begin{aligned} T_{EW} &= 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \\ &= 0,0006 \cdot 1,2 \cdot (30)^2 \cdot 6353,874 \\ &= 4117,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah joint} &= \text{joint bagian pelengkung} + \text{joint bagian dek jembatan} \\ &= 84 + 52 \\ &= 136 \text{ titik} \end{aligned}$$

$$T_{ew} = \frac{4117,31}{136} = 30,274 \text{ kN}$$

Gambar 5.15 berikut ini adalah gambar *input* pembebanan angin secara 3 dimensi pada Jembatan I.



**Gambar 5.15 Distribusi Beban Angin pada Jembatan II**

#### 5.2.5 Beban Gempa ( $E_Q$ ) dengan Metode Analisis Dinamik *Time History*

Analisis dinamik linier riwayat waktu (*time history*) sangat cocok digunakan untuk analisis struktur yang tidak beraturan terhadap pengaruh gempa rencana. Mengingat gerakan tanah akibat gempa di suatu lokasi sulit diperkirakan dengan tepat, maka sebagai input gempa dapat didekati dengan gerakan tanah yang disimulasikan.

Dalam analisis ini, digunakan hasil rekaman gempa akseleogram gempa sebagai input data percepatan gerakan tanah akibat gempa. Rekaman gempa tanah akibat gempa diambil dari akseleogram gempa *El-Centro N-S* yang direkam pada tanggal 19 Mei 1940. Rekaman gempa ini dipilih karena memiliki frekuensi yang

teratur. Dalam analisis ini redaman struktur yang harus diperhitungkan dapat dianggap 5% dari redaman kritisnya. Normalisasi untuk gempa yang dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\text{Normalisasi gempa} = \frac{\text{PGA wilayah Tenggarong}}{\text{PGA El-Centro}} \quad (5.1)$$

Dengan:

PGA El-Centro = PGA (*Peak Ground Acceleration*) El-Centro

PGA Tenggarong = PGA (*Peak Ground Acceleration*) Tenggarong (Kal-Tim)  
(pada Lampiran 1)

Maka, diperoleh normalisasi gempa sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Normalisasi gempa} &= \frac{0,2}{0,27} \\ &= 0.734677 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan normalisasi gempa diatas, maka *input* normalisasi gempa/faktor skala pada *Load case data* program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: THx

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:  Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Analysis Type:  Linear

Time History Type:  Modal

Time History Motion Type:  Transient

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	EL CENTRO	0.7347

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 5372, Output Time Step Size: 0.01

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

**Gambar 5.16 Input Normalisasi Gempa/Skala Faktor**

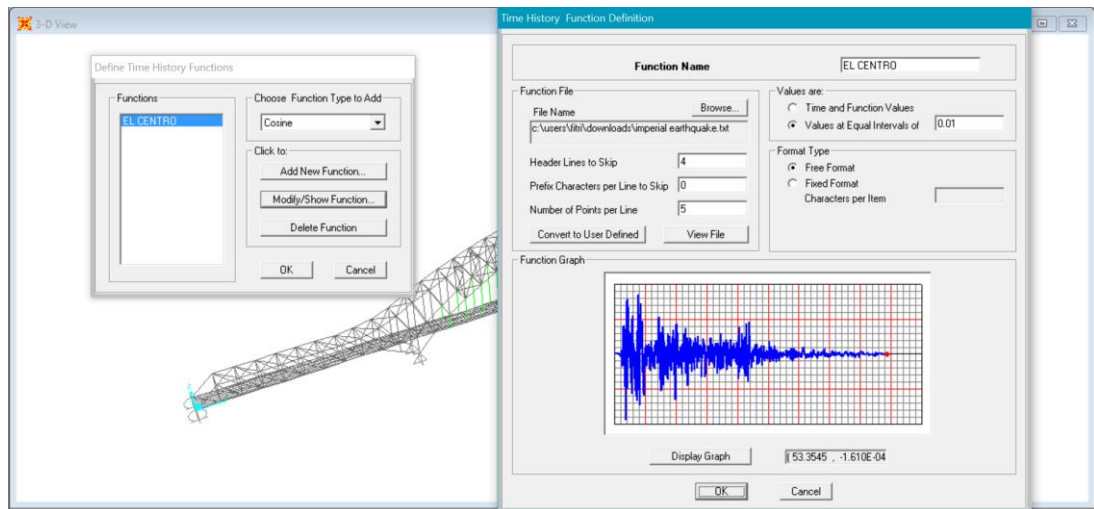
Untuk memasukkan beban gempa Time History ke dalam SAP2000, maka harus didefinisikan terlebih dahulu ke dalam *time history case*. Mengingat akseleogram tersebut terjadi selama 53,72 detik, maka dengan interval waktu 0,01 detik jumlah *output stepnya* menjadi,  $\frac{53,72}{0,01} = 5372$ . Data tersebut dimasukkan ke dalam SAP2000 untuk gempa Time History arah X dan arah Y seperti Gambar 5.17 dan Gambar 5.18.

```

PEER NGA STRONG MOTION DATABAS E RECORD
Imperial Valley -02, 5/19/1940, El Centro Array #9, 180
ACCELERATION TIME SERIES IN UNITS OF G
NPTS= 5372, D T= .0100 SEC,
  9.98E-04      9.99E-04      1.00E-03  1.00E-03  1.00E-03
  1.00E-03      1.00E-03      1.00E-03  1.00E-03  1.00E-03
  1.00E-03      1.00E-03      1.00E-03  1.00E-03  1.00E-03
  1.00E-03      1.00E-03      1.00E-03  1.00E-03  1.00E-03
  1.00E-03      1.00E-03      1.00E-03  1.00E-03  1.00E-03
  1.00E-03      1.01E-03      1.01E-03  1.01E-03  1.01E-03
  1.01E-03      1.00E-03      1.00E-03  9.99E-04  9.95E-04
  9.91E-04      9.86E-04      9.82E-04  9.81E-04  9.83E-04
  9.90E-04      1.00E-03      1.02E-03  1.04E-03  1.05E-03
  1.05E-03      1.03E-03      1.00E-03  9.53E-04  8.94E-04
  8.39E-04      8.07E-04      8.11E-04  8.54E-04  9.24E-04
  1.00E-03      1.08E-03      1.13E-03  1.17E-03  1.20E-03
  1.24E-03      1.29E-03      1.35E-03  1.42E-03  1.48E-03
  1.49E-03      1.46E-03      1.39E-03  1.31E-03  1.25E-03
  1.21E-03      1.20E-03      1.21E-03  1.20E-03  1.15E-03
  1.03E-03      8.39E-04      5.86E-04  2.82E-04 -4.51E-05
 -3.60E-04      -6.31E-04      -8.52E-04 -1.05E-03 -1.26E-03
 -1.53E-03      -1.89E-03      -2.30E-03 -2.71E-03 -3.02E-03
 -3.18E-03      -3.17E-03      -3.01E-03 -2.74E-03 -2.43E-03
 -2.16E-03      -2.01E-03      -2.06E-03 -2.35E-03 -2.87E-03
 -3.57E-03      -4.38E-03      -5.24E-03 -6.14E-03 -7.05E-03
 -7.94E-03      -8.75E-03      -9.38E-03 -9.76E-03 -9.84E-03
 -9.60E-03      -9.05E-03      -8.29E-03 -7.46E-03 -6.63E-03

```

**Gambar 5.17 Akseleogram Gempa *El-Centro***



**Gambar 5.18 Input Beban Gempa *El-Centro***

Berdasarkan analisis pembebanan yang telah dilakukan, diperoleh rekapitulasi beban-beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5. 2 Rekapitulasi Pembebanan**

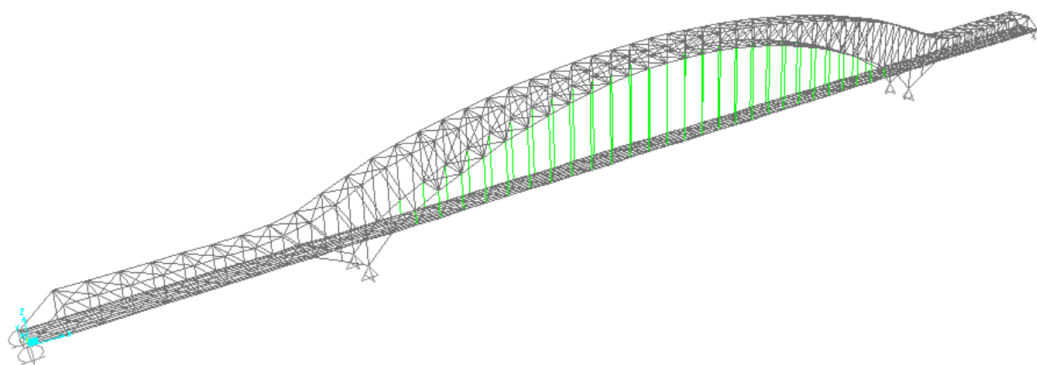
No.	Jenis Beban	Besarnya Beban	
<b>1</b>	<b>Berat Sendiri (<i>MS</i>)</b>		
	Tiang sandaran (kN)	1,64	
	Slab trotoar (kN/m)	6	
	Slab lantai (kN/m)	6,72	
<b>2</b>	<b>Beban Mati Tambahannya (kN/m)</b>	3,766	
<b>3</b>	<b>Beban Lalu Lintas</b>		
	Beban lajur (D)	Gelagar Memanjang 1 dan 6	Gelagar Memanjang 2, 3, 4, dan 5
	a. UDL (kN/m)	1,762	7,05
	b. BGT (kN)	22,295	89,18
	Beban rem <i>TB</i> (kN)	6,73	
<b>4</b>	<b>Beban Pejalan Kaki <i>TP</i> (kN/m)</b>	12,5	
<b>5</b>	<b>Beban Angin (<i>EW</i>)</b>	Jembatan I	Jembatan II
	Horizontal (kN)	24,470	30,274
<b>6</b>	<b>Beban Gempa (<i>EQ</i>)</b>	<i>Time history gempa El-Centro</i>	

Dalam penelitian ini digunakan 7 macam kombinasi pembebanan yaitu:

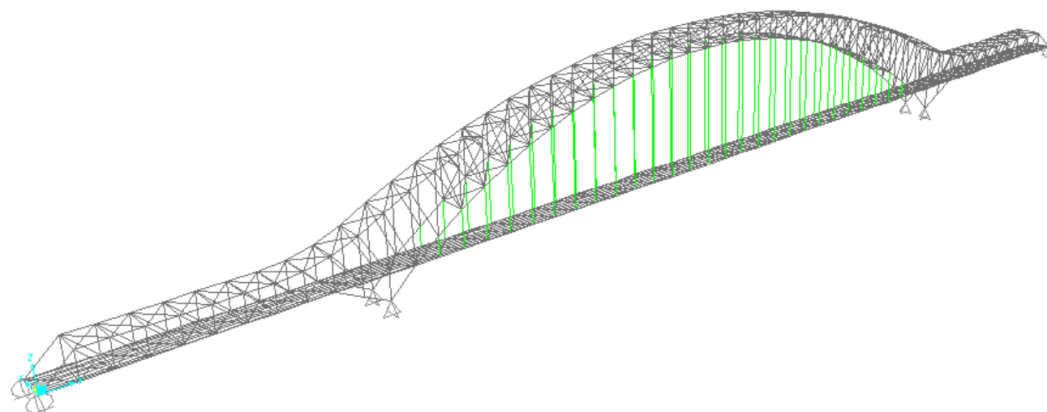
1. Combo 1 :  $1,3MS + 2MA + 1,8D + 1,8TB + 1,2EW$
2. Combo 2 :  $1,3MS + 2MA + 1,8D + 1,8TP$
3. Combo 3 :  $1,3MS + 2MA + 1,8D$
4. Combo 4 :  $1,3MS + 2MA + 1,8D + 1,2EW$
5. Combo 5-a :  $1,3MS + 2MA + 1,8D + 1EQ_X + 0,3EQ_Y$
6. Combo 5-b :  $1,3MS + 2MA + 1,8D + 0,3EQ_X + 1EQ_Y$
7. Combo 6 :  $1,3MS + 2MA + 1,2EW$

### 5.3 Analisis dan Desain Struktur

Dalam penelitian ini, analisis dan desain struktur menggunakan program SAP2000. Permodelan dua model struktur jembatan menggunakan program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.

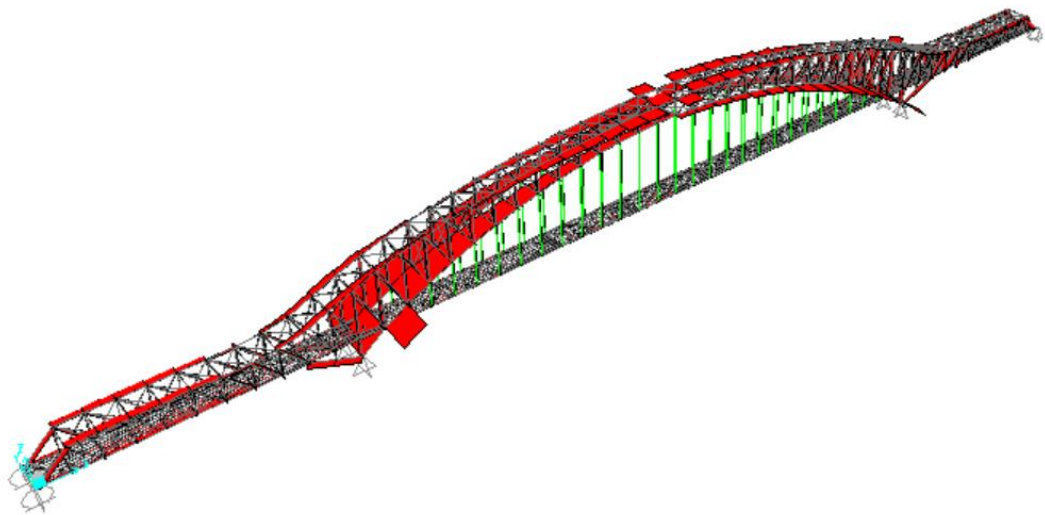


**Gambar 5.19 Model Jembatan I (tinggi 40,75 m)**

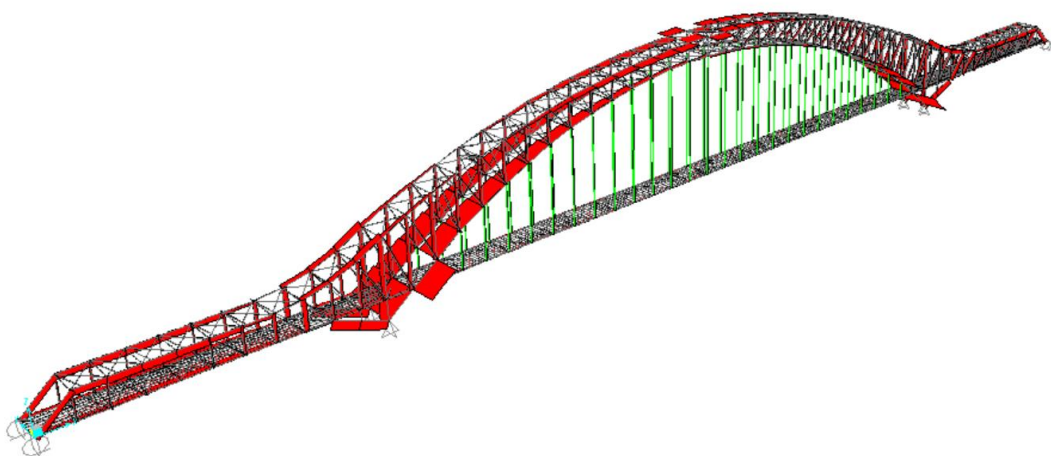


**Gambar 5.20 Model Jembatan II (tinggi 52 m)**

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan program SAP2000 diperoleh hasil gaya-gaya dalam yang berlaku pada masing-masing elemen struktur dari dua model jembatan dengan semua kombinasi beban. Hasil yang digunakan adalah nilai maksimum dari masing-masing gaya dalam. NFD (*Normal Force Diagram*) dan SFD (*Shear Force Diagram*) pada masing-masing model jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22.

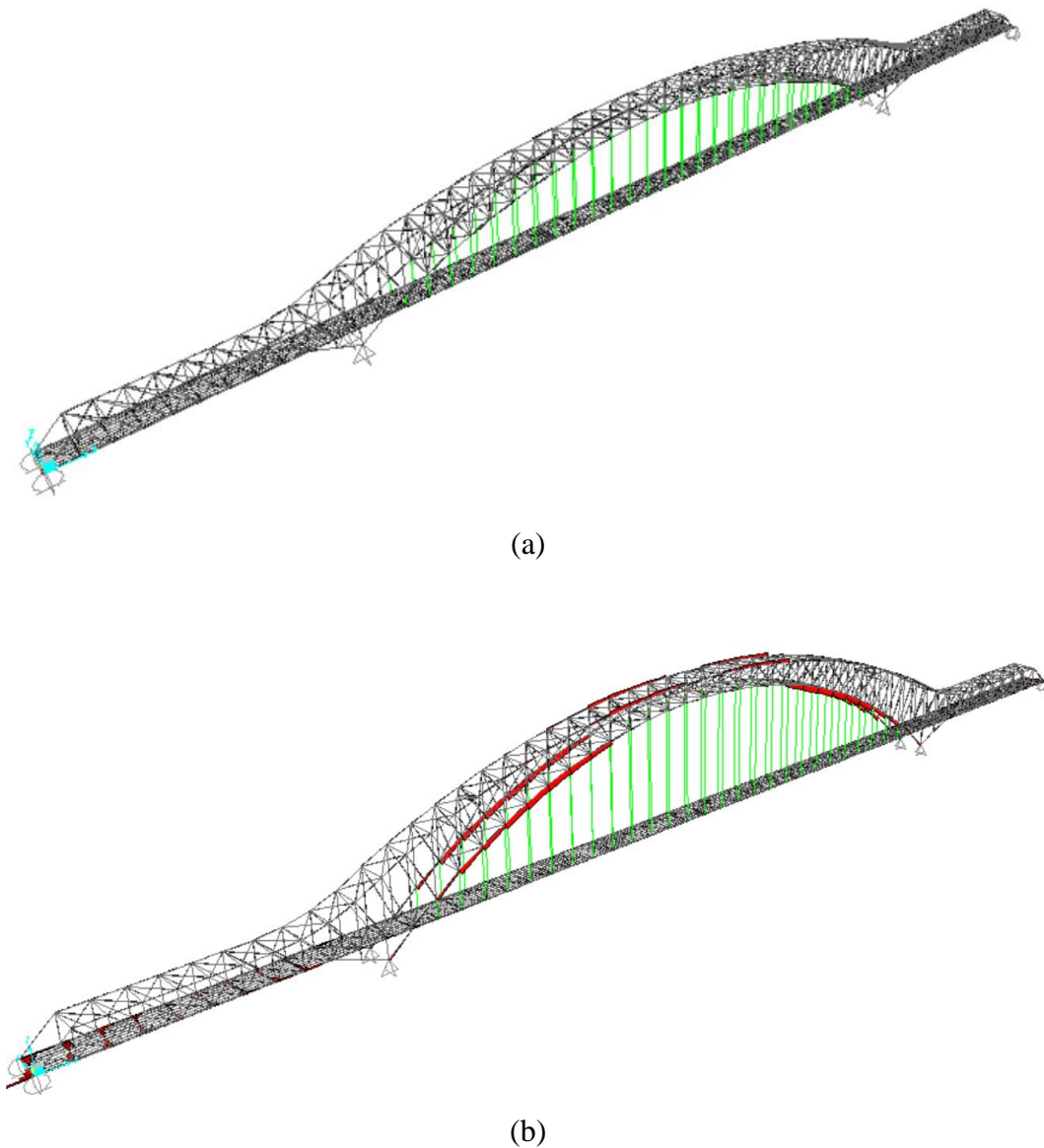


(a)



(b)

**Gambar 5.21 NFD Akibat Beban COMB2, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II**



**Gambar 5.22 SFD Akibat Beban COMB2, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II**

Dalam analisis struktur ini menggunakan *fitur frame releases*. *Frame releases* adalah suatu *fitur* pada SAP2000 untuk menentukan suatu sambungan batang struktur (*frame*) akan berperilaku sebagai sendi (tidak menghasilkan reaksi momen pada ujung batang). Pada penelitian ini, hanya di *releases* pada reaksi M3 untuk menjaga kestabilan antarelemen khususnya pada sambungan antara elemen bidang tegak dan tegak lurus bidang gambar yang dapat dilihat pada Gambar 5.23.

Assign Frame Releases

Frame Releases	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 22 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0

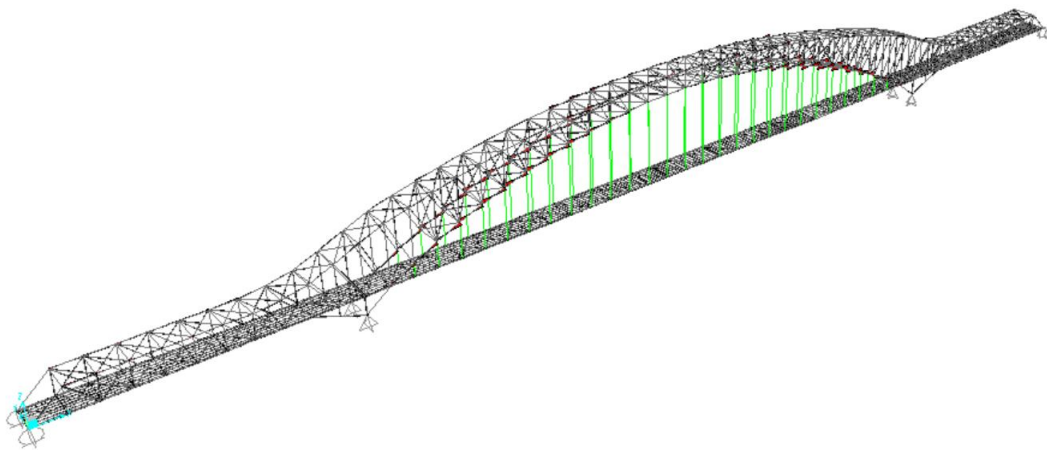
No Releases

Units: KN, m, C

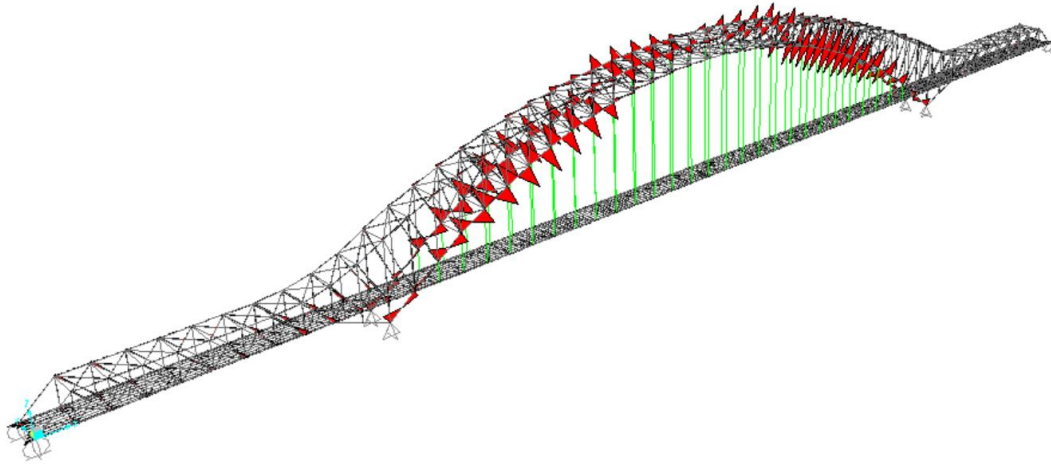
OK Cancel

**Gambar 5.23** Fitur *Frame Releases* pada SAP2000

Berdasarkan hal tersebut, elemen bidang tegak gambar terdapat reaksi momen arah Y ( $M_2$ ) sehingga BMD (*Bending Moment Diagram*) dari kedua model jembatan seperti pada Gambar 5.24.



(a)

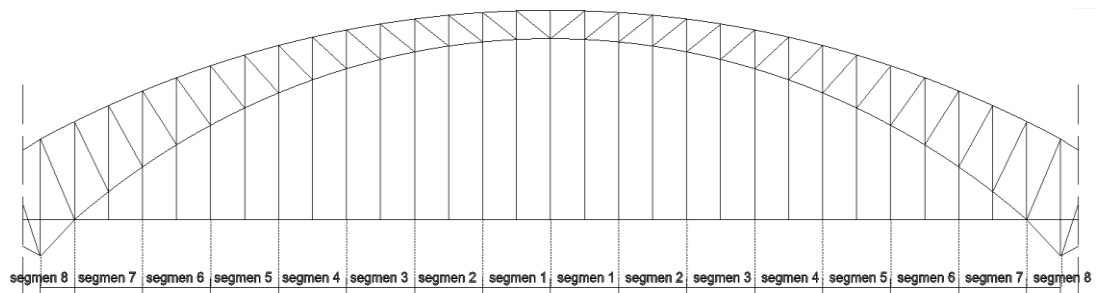


(b)

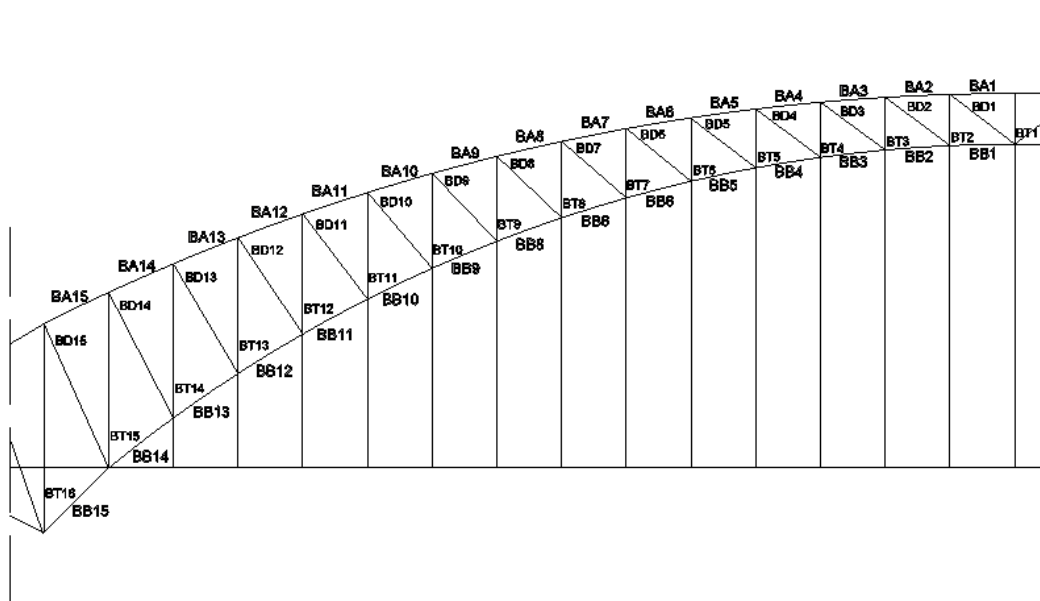
**Gambar 5.24 BMD Akibat Beban COMB2, (a) Jembatan I, (b) Jembatan II**

#### 5.4 Perbandingan Respon Struktur Busur Rangka Baja

Dalam penelitian ini, respon struktur yang ditinjau adalah respon struktur maksimum akibat beban kombinasi pada struktur utama busur rangka. Untuk mempermudah analisis data, struktur utama dibagi menjadi beberapa segmen dan diberi kodefikasi batang profil busur yang dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26.



**Gambar 5.25 Segmen pada Struktur Utama Busur Rangka**



**Gambar 5.26 Kodefikasi pada Struktur Utama Busur Rangka**

Keterangan:

BA = Batang atas

BB = Batang bawah

BD = Batang Diagonal

BT = Batang Tegak

Berdasarkan hasil analisis program SAP2000, diperoleh hasil perbandingan gaya dalam pada model jembatan akibat beban kombinasi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.3, Tabel 5.4, Tabel 5.5, dan Tabel 5.6.

**Tabel 5. 3 Gaya Dalam pada Batang Atas (BA)**

Segmen ke-	Gaya Dalam	Jembatan I		Jembatan II	
			Kombinasi		Kombinasi
1	Pu (kN)	-29090.058	COMB2	-26280.843	COMB2
	V2 (kN)	7.939E-15	COMB2	7.939E-15	COMB2
	V3 (kN)	-592.933	COMB2	-533.212	COMB4
	M2 (kN-m)	2280.2547	COMB4	2121.231	COMB4
	M3(kN-m)	1.787E-14	COMB2	1.788E-14	COMB5-b
2	Pu (kN)	-27462.67	COMB2	-24964.613	COMB2
	V2 (kN)	7.939E-15	COMB2	5.802E-15	COMB2
	V3 (kN)	-871.106	COMB2	-633.944	COMB5-a
	M2 (kN-m)	3539.6476	COMB2	-2296.6751	COMB2
	M3(kN-m)	1.791E-14	COMB2	1.312E-14	COMB2
3	Pu (kN)	-22987.79	COMB2	-20604.202	COMB2
	V2 (kN)	6.562E-15	COMB2	5.802E-15	COMB2
	V3 (kN)	-907.919	COMB2	-704.536	COMB2
	M2 (kN-m)	-3463.7806	COMB2	2913.8674	COMB2
	M3(kN-m)	1.486E-14	COMB2	1.318E-14	COMB2
4	Pu (kN)	-16868.573	COMB2	-14414.214	COMB4
	V2 (kN)	5.296E-15	COMB2	4.828E-15	COMB4
	V3 (kN)	-275.209	COMB2	-220.155	COMB2
	M2 (kN-m)	987.371	COMB2	768.7886	COMB2
	M3(kN-m)	1.202E-14	COMB2	1.107E-14	COMB2
5	Pu (kN)	-9725.347	COMB1	-8230.038	COMB1
	V2 (kN)	3.079E-15	COMB1	3.079E-15	COMB1
	V3 (kN)	-150.096	COMB2	-130.224	COMB2
	M2 (kN-m)	532.3126	COMB2	450.0017	COMB2
	M3(kN-m)	7.056E-15	COMB2	7.224E-15	COMB2
6	Pu (kN)	-3131.829	COMB1	-2616.489	COMB1
	V2 (kN)	2.882E-15	COMB1	2.882E-15	COMB1
	V3 (kN)	-131.506	COMB2	-106.538	COMB2
	M2 (kN-m)	460.8323	COMB2	356.2914	COMB2
	M3(kN-m)	6.663E-15	COMB5-b	6.904E-15	COMB2
7	Pu (kN)	8223.81	COMB2	6164.252	COMB2
	V2 (kN)	2.882E-15	COMB1	2.882E-15	COMB1
	V3 (kN)	-112.248	COMB2	-91.213	COMB2
	M2 (kN-m)	375.8243	COMB2	290.3478	COMB2
	M3(kN-m)	6.696E-15	COMB2	6.991E-15	COMB2
8	Pu (kN)	11627.519	COMB2	8231.484	COMB2
	V2 (kN)	2.685E-15	COMB2	2.685E-15	COMB2
	V3 (kN)	-67.035	COMB1	-65.082	COMB1
	M2 (kN-m)	183.0185	COMB5-b	179.0351	COMB1
	M3(kN-m)	6.498E-15	COMB1	6.703E-15	COMB1

**Tabel 5. 4 Gaya Dalam pada Batang Bawah (BB)**

Segmen ke-	Gaya Dalam	Jembatan I		Jembatan II	
			Kombinasi		Kombinasi
1	Pu (kN)	-13107.476	COMB4	-8175.754	COMB4
	V2 (kN)	3.99E-15	COMB4	2.488E-15	COMB4
	V3 (kN)	127.503	COMB2	72.268	COMB2
	M2 (kN-m)	378.8114	COMB2	203.7925	COMB2
	M3(kN-m)	8.991E-15	COMB2	5.61E-15	COMB2
2	Pu (kN)	-17476.254	COMB4	-12523.056	COMB4
	V2 (kN)	7.939E-15	COMB4	3.99E-15	COMB4
	V3 (kN)	902.415	COMB2	157.164	COMB2
	M2 (kN-m)	3700.7287	COMB2	518.2574	COMB2
	M3(kN-m)	1.8E-14	COMB2	9.092E-15	COMB2
3	Pu (kN)	-24191.839	COMB2	-19352.346	COMB2
	V2 (kN)	9.632E-15	COMB2	6.562E-15	COMB2
	V3 (kN)	1481.081	COMB2	855.302	COMB4
	M2 (kN-m)	6315.5835	COMB2	3641.6747	COMB2
	M3(kN-m)	2.21E-14	COMB2	1.524E-14	COMB2
4	Pu (kN)	-32696.693	COMB2	-26955.573	COMB2
	V2 (kN)	1.169E-14	COMB2	8.744E-15	COMB2
	V3 (kN)	2100.746	COMB2	1186.971	COMB2
	M2 (kN-m)	9216.6389	COMB2	5223.5078	COMB2
	M3(kN-m)	2.731E-14	COMB4	2.092E-14	COMB2
5	Pu (kN)	-41309.859	COMB2	-34857.424	COMB2
	V2 (kN)	1.169E-14	COMB2	9.632E-15	COMB2
	V3 (kN)	2087.99	COMB2	1248.466	COMB2
	M2 (kN-m)	9260.7383	COMB2	5575.0181	COMB2
	M3(kN-m)	2.797E-14	COMB2	2.4E-14	COMB2
6	Pu (kN)	-50017.509	COMB2	-42765.363	COMB2
	V2 (kN)	1.169E-14	COMB2	1.056E-14	COMB2
	V3 (kN)	1824.917	COMB2	1093.002	COMB2
	M2 (kN-m)	8240.3021	COMB2	5001.7701	COMB2
	M3(kN-m)	2.887E-14	COMB2	2.782E-14	COMB2
7	Pu (kN)	-58882.354	COMB2	-50815.152	COMB2
	V2 (kN)	1.169E-14	COMB2	1.169E-14	COMB2
	V3 (kN)	1263.979	COMB2	669.297	COMB4
	M2 (kN-m)	5716.1398	COMB4	2956.9653	COMB4
	M3(kN-m)	3.003E-14	COMB2	3.19E-14	COMB4
8	Pu (kN)	-63489.689	COMB2	-56516.272	COMB2
	V2 (kN)	1.169E-14	COMB2	1.169E-14	COMB2
	V3 (kN)	313.794	COMB6	505.599	COMB1
	M2 (kN-m)	1063.0374	COMB1	2156.4923	COMB1
	M3(kN-m)	3.333E-14	COMB1	3.333E-14	COMB1

**Tabel 5. 5 Gaya Dalam pada Batang Diagonal (DG)**

Segmen ke-	Gaya Dalam	Jembatan I		Jembatan II	
			Kombinasi		Kombinasi
1	Pu (kN)	1680.071	COMB2	1518.068	COMB2
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB2
	V3 (kN)	52.813	COMB4	52.071	COMB2
	M2 (kN-m)	159.6286	COMB4	154.6194	COMB2
	M3(kN-m)	6.386E-15	COMB2	6.372E-15	COMB2
2	Pu (kN)	3084.198	COMB2	3344.831	COMB2
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB2
	V3 (kN)	55.504	COMB2	59.547	COMB2
	M2 (kN-m)	176.79	COMB4	196.7655	COMB2
	M3(kN-m)	6.42E-15	COMB2	6.321E-15	COMB2
3	Pu (kN)	4233.672	COMB2	4306.27	COMB2
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB2
	V3 (kN)	59.825	COMB4	60.78	COMB2
	M2 (kN-m)	210.2942	COMB2	209.8067	COMB2
	M3(kN-m)	6.703E-15	COMB4	6.526E-15	COMB2
4	Pu (kN)	5346.253	COMB2	4544.754	COMB2
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB2
	V3 (kN)	60.887	COMB2	59.714	COMB2
	M2 (kN-m)	225.2237	COMB2	215.7677	COMB2
	M3(kN-m)	7.247E-15	COMB1	6.983E-15	COMB2
5	Pu (kN)	5935.723	COMB2	5104.192	COMB1
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB1
	V3 (kN)	58.247	COMB5-b	56.84	COMB2
	M2 (kN-m)	228.9533	COMB5-b	210.6049	COMB2
	M3(kN-m)	8.126E-15	COMB5-b	7.787E-15	COMB2
6	Pu (kN)	6425.274	COMB2	4688.477	COMB1
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB1
	V3 (kN)	50.681	COMB5-b	48.12	COMB2
	M2 (kN-m)	202.6042	COMB5-b	174.4409	COMB2
	M3(kN-m)	9.419E-15	COMB4	9.075E-15	COMB4
7	Pu (kN)	6648.033	COMB2	4261.646	COMB2
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB2
	V3 (kN)	42.593	COMB5-b	40.465	COMB4
	M2 (kN-m)	164.7955	COMB5-b	141.1292	COMB4
	M3(kN-m)	1.124E-14	COMB5-b	1.105E-14	COMB4
8	Pu (kN)	2889.102	COMB6	5881.446	COMB1
	V2 (kN)	2.251E-15	COMB2	2.251E-15	COMB1
	V3 (kN)	36.516	COMB4	-39.814	COMB1
	M2 (kN-m)	151.3225	COMB4	168.1675	COMB1
	M3(kN-m)	1.193E-14	COMB5-b	1.237E-14	COMB1

**Tabel 5. 6 Gaya Dalam pada Batang Tegak (BT)**

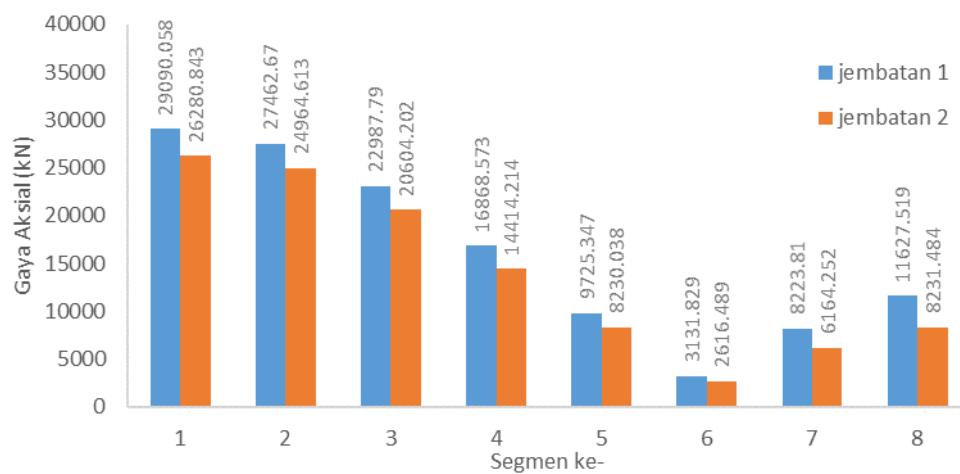
Segmen ke-	Gaya Dalam	Jembatan I		Jembatan II	
			Kombinasi		Kombinasi
1	Pu (kN)	-690.274	COMB2	505.107	COMB2
	V2 (kN)	-		-	
	V3 (kN)	0.805	COMB1	1.483	COMB4
	M2 (kN-m)	3.0499	COMB1	5.4196	COMB4
	M3(kN-m)	-		-	
2	Pu (kN)	-1905.367	COMB2	-1792.536	COMB2
	V2 (kN)	-		-	
	V3 (kN)	4.668	COMB4	4.801	COMB4
	M2 (kN-m)	19.0808	COMB2	18.3869	COMB4
	M3(kN-m)	-		-	
3	Pu (kN)	-3644.229	COMB2	-2964.269	COMB2
	V2 (kN)	-		-	
	V3 (kN)	10.43	COMB2	2.692	COMB1
	M2 (kN-m)	50.1637	COMB1	11.8158	COMB1
	M3(kN-m)	-		-	
4	Pu (kN)	-4450.334	COMB2	-3850.809	COMB1
	V2 (kN)	-		-	
	V3 (kN)	15.021	COMB4	-2.322	COMB4
	M2 (kN-m)	88.0402	COMB4	13.6908	COMB4
	M3(kN-m)	-		-	
5	Pu (kN)	-5608.93	COMB2	-5148.907	COMB1
	V2 (kN)	-		-	
	V3 (kN)	20.523	COMB2	-6.602	COMB1
	M2 (kN-m)	149.0977	COMB2	48.5256	COMB1
	M3(kN-m)	-		-	
6	Pu (kN)	-6499.146	COMB2	-5125.428	COMB4
	V2 (kN)	-253.243	COMB5-a	18.504	COMB4
	V3 (kN)	-19.207	COMB5-b	-182.709	COMB1
	M2 (kN-m)	164.5453	COMB4	249.3974	COMB1
	M3(kN-m)	-		-	
7	Pu (kN)	-8848.836	COMB2	-5588.574	COMB2
	V2 (kN)	-		1.508E-13	COMB2
	V3 (kN)	18.895	COMB2	163.308	COMB4
	M2 (kN-m)	224.3301	COMB2	1987.4524	COMB4
	M3(kN-m)	-		8.068E-13	COMB4
8	Pu (kN)	-3987.848	COMB6	-7603.191	COMB2
	V2 (kN)	-		-	
	V3 (kN)	7.1	COMB4	45.347	COMB4
	M2 (kN-m)	68.1558	COMB4	454.6048	COMB4
	M3(kN-m)	-		-	

#### 5.4.1 Respon Struktur Utama Rangka Pelengkung Akibat Beban Kombinasi

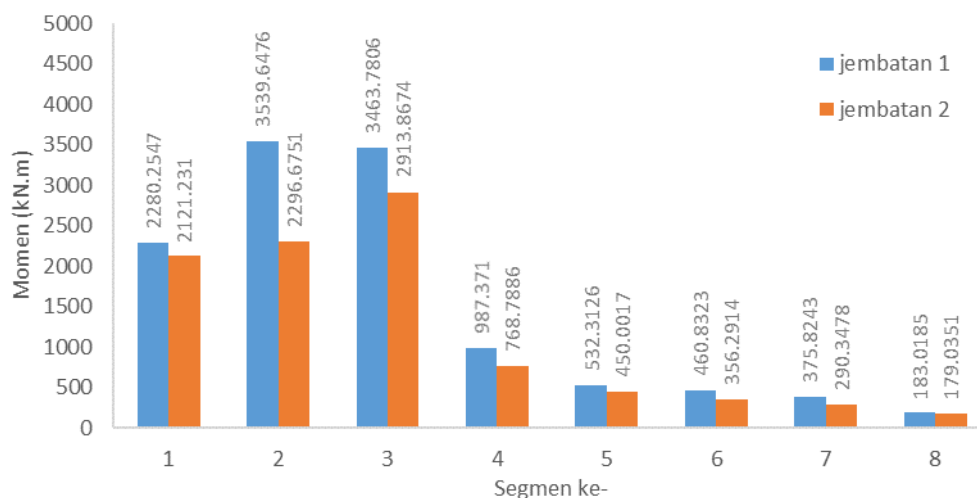
Berdasarkan analisis dan pengolahan data diperoleh gaya-gaya dalam pada struktur utama pelengkung akibat beban kombinasi seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.3. Perbandingan gaya-gaya tersebut disajikan dalam bentuk grafik diantaranya adalah gaya aksial dan momen yang merupakan respon utama pada analisis struktur baja.

##### 1. Perbandingan gaya aksial dan momen pada batang atas (BA)

Pada Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa momen (M3) pada kedua model jembatan mendekati 0. Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat ketelitian program SAP2000 yang digunakan. Perbandingan gaya aksial dan momen maksimum akibat beban kombinasi pada batang profil balok bawah dari masing-masing jembatan ditunjukkan pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28.



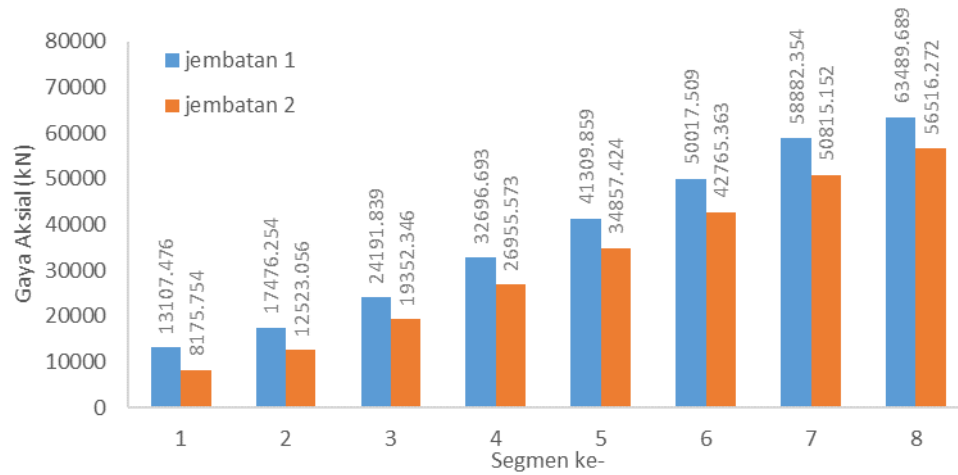
**Gambar 5. 27 Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Atas (BA)**



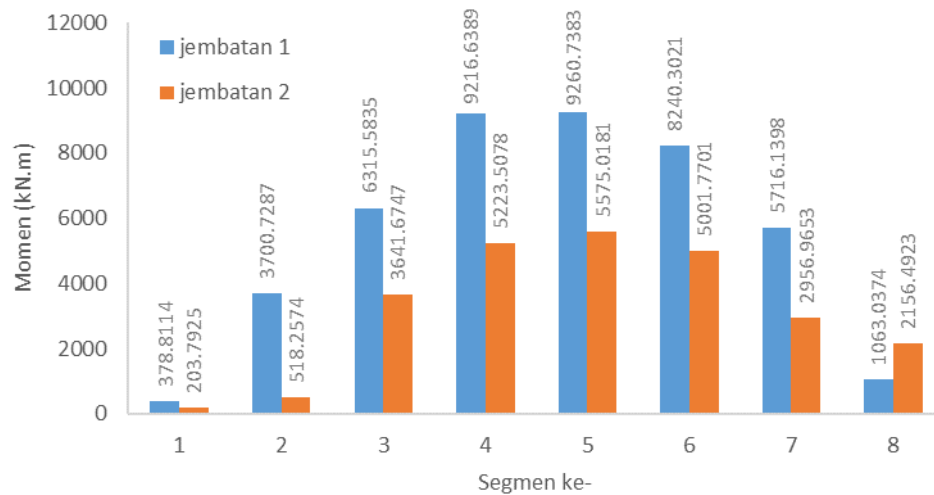
**Gambar 5. 28 Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Atas (BA)**

Pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 dapat dilihat bahwa grafik perbandingan gaya aksial dan momen yang terjadi pada batang atas (BA) dari masing-masing model jembatan memiliki pola yang relatif sama. Terlihat bahwa gaya aksial dan momen pada jembatan 1 lebih besar dari pada jembatan 2.

2. Perbandingan gaya aksial dan momen pada batang profil Batang Bawah (BB)  
 Pada Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa momen (M3) pada kedua model jembatan mendekati 0. Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat ketelitian program SAP2000 yang digunakan. Perbandingan gaya aksial dan momen maksimum akibat beban kombinasi pada batang bawah dari masing-masing jembatan ditunjukkan pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30.



**Gambar 5. 29 Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Bawah (BB)**

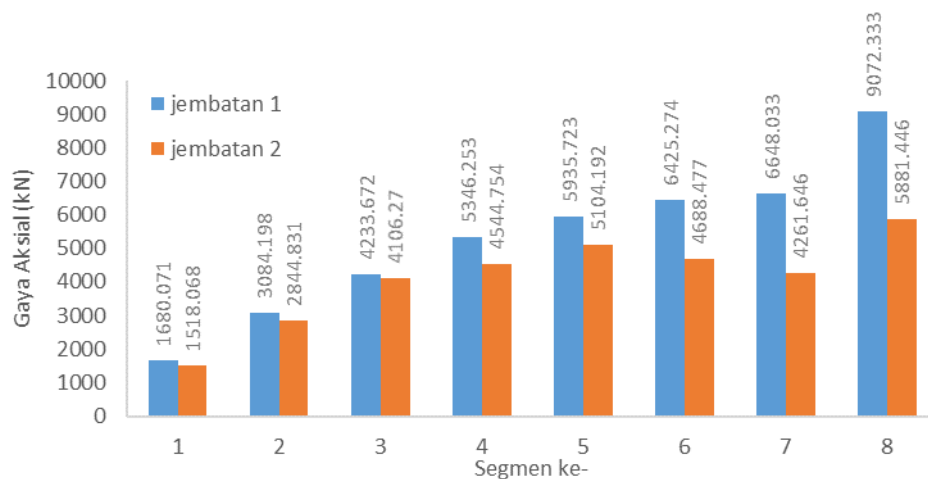


**Gambar 5. 30 Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Bawah (BB)**

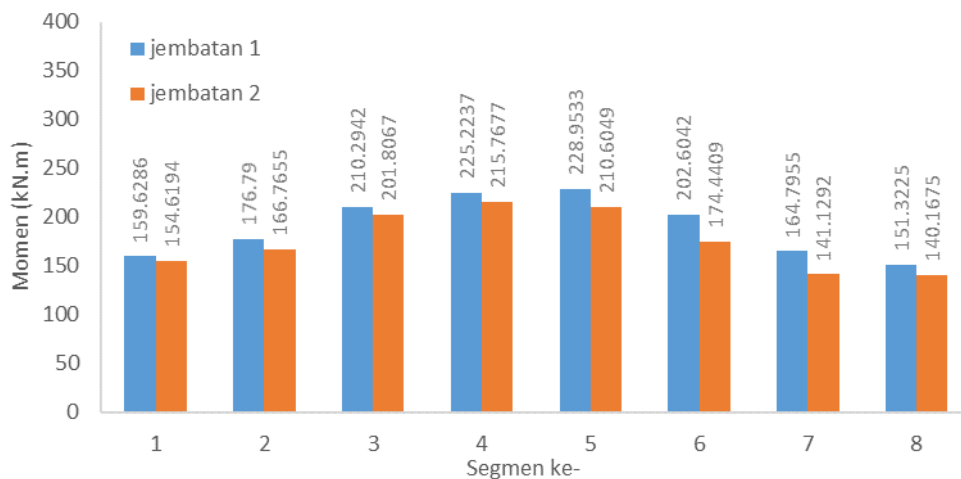
Pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 dapat dilihat bahwa grafik perbandingan gaya aksial dan momen yang terjadi pada batang bawah (BB) dari masing-masing model jembatan memiliki pola yang relatif sama. Terlihat bahwa gaya aksial dan momen pada jembatan 1 lebih besar dari pada jembatan 2, namun pada segmen ke-8 jembatan 1 memiliki momen lebih kecil dari jembatan 2.

3. Perbandingan gaya aksial momen pada batang diagonal (BD)

Pada Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa momen ( $M_3$ ) pada kedua model jembatan mendekati 0. Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat ketelitian program SAP2000 yang digunakan. Perbandingan gaya aksial dan momen maksimum akibat beban kombinasi pada batang diagonal dari masing-masing jembatan ditunjukkan pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32.



**Gambar 5. 31 Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Diagonal (BD)**

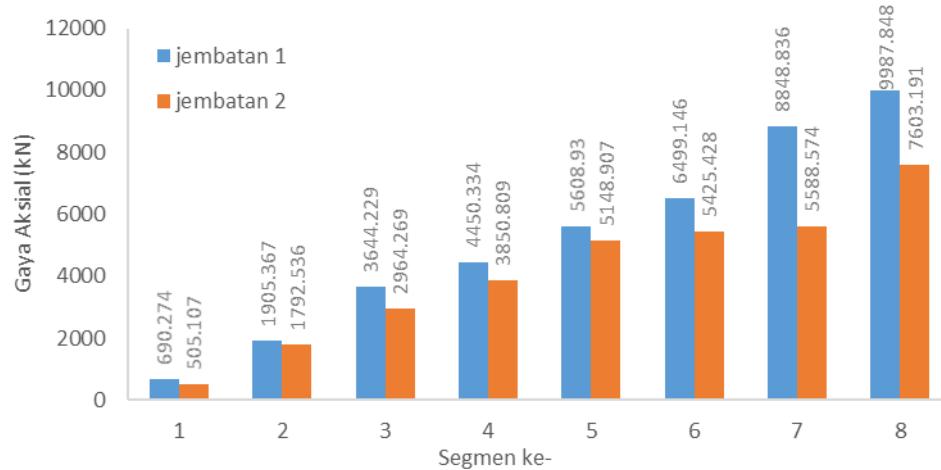


**Gambar 5. 32 Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Diagonal (BD)**

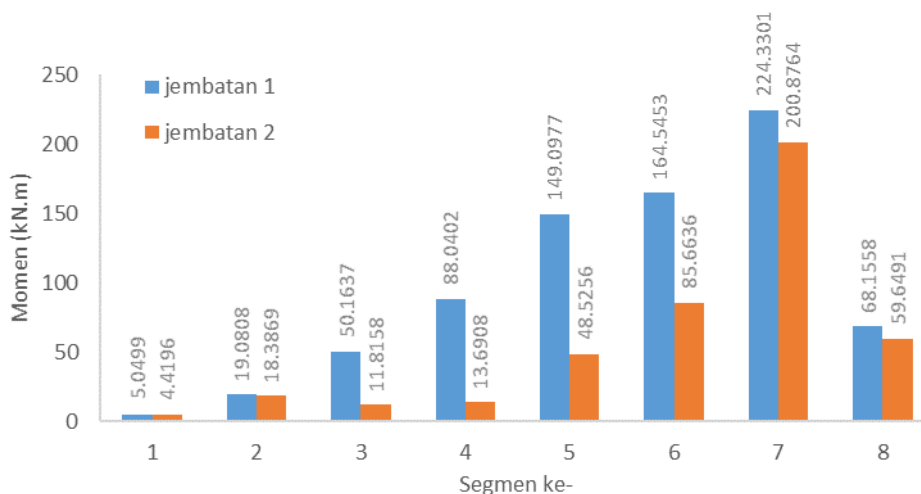
Pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 dapat dilihat bahwa grafik perbandingan gaya aksial dan momen yang terjadi pada batang diagonal (BD) dari masing-masing model jembatan memiliki pola yang relatif sama. Terlihat bahwa gaya aksial dan momen pada jembatan 1 lebih besar dari pada jembatan 2.

4. Perbandingan gaya aksial, gaya geser dan momen pada batang profil tegak (BT)

Pada Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa momen (M3) pada kedua model jembatan mendekati 0. Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat ketelitian program SAP2000 yang digunakan. Perbandingan gaya aksial dan momen maksimum akibat beban kombinasi pada batang tegak dari masing-masing jembatan ditunjukkan pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34.



**Gambar 5. 33 Diagram Perbandingan Gaya Aksial Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Tegak (BT)**



**Gambar 5. 34 Diagram Perbandingan Momen Maksimum Akibat Beban Kombinasi pada Batang Tegak (BT)**

Pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 dapat dilihat bahwa grafik perbandingan gaya aksial dan momen yang terjadi pada batang tegak (BT) dari masing-masing model jembatan memiliki pola yang relatif sama. Terlihat bahwa gaya aksial dan momen pada jembatan 1 lebih besar dari pada jembatan 2, namun pada segmen ke-8 jembatan 1 memiliki momen lebih kecil dari jembatan 2.

#### 5.4.2 Hasil Desain Profil Baja

Dalam tugas akhir ini desain profil baja menggunakan program SAP2000 dan tabel baja AISC, sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 5.7, Tabel 5.8, Tabel 5.9, Tabel 5.10, Tabel 5.11.

**Tabel 5.7 Desain Profil Batang Atas (BA)**

No	Kodefikasi	Jembatan I	Jembatan II
1	BA1	W14X550 Double	W14X550 Double
2	BA2	W14X550 Double	W14X550 Double
3	BA3	W14X550 Double	W14X500 Double
4	BA4	W14X550 Double	W14X500 Double
5	BA5	W14X455 Double	W14X500 Double
6	BA6	W14X455 Double	W14X730
7	BA7	W14X730	W14X665

**Lanjutan Tabel 5.7**

8	BA8	W14X665	W14X500
9	BA9	W14X426	W14X426
10	BA10	W14X426	W14X426
11	BA11	W14X398	W14X398
12	BA12	W14X398	W14X398
13	BA13	W14X398	W14X398
14	BA14	W14X370	W14X370
15	BA15	W14X370	W14X370

**Tabel 5.8 Desain Profil Batang Bawah (BB)**

No	Kodefikasi	Jembatan I	Jembatan II
1	BB1	W14X550	W14X342
2	BB2	W14X550	W14X342
3	BB3	W14X665	W14X398
4	BB4	W14X550 Double	W14X550
5	BB5	W14X550 Double	W14X665
6	BB6	W14X665 Double	W14X455 Double
7	BB7	W14X730 Double	W14X605 Double
8	BB8	W14X880 Double	W14X605 Double
9	BB9	W14X880 Double	W14X665 Double
10	BB10	W14X880 Double	W14X665 Double
11	BB11	W14X880 Double	W14X730 Double
12	BB12	W14X880 Double	W14X730 Double
13	BB13	W14X880 Double	W14X880 Double
14	BB14	W14X880 Double	W14X730 Double
15	BB15	W14X880 Double	W14X880 Double

**Tabel 5.9 Desain Profil Batang Diagonal (BD)**

No	Kodefikasi	Jembatan I	Jembatan II
1	BD1	W14X311	W14X193
2	BD2	W14X311	W14X193
3	BD3	W14X311	W14X193
4	BD4	W14X311	W14X193
5	BD5	W14X311	W14X193
6	BD6	W14X311	W14X193
7	BD7	W14X311	W14X193
8	BD8	W14X311	W14X193
9	BD9	W14X311	W14X193

**Lanjutan Tabel 5.9**

10	BD10	W14X311	W14X193
11	BD11	W14X311	W14X193
12	BD12	W14X311	W14X193
13	BD13	W14X311	W14X193
14	BD14	W14X311	W14X193
15	BD15	W14X311	W14X193

**Tabel 5.10 Desain Profil Batang Tegak (BT)**

No	Kodefikasi	Jembatan I	Jembatan II
1	BT1	W14X22	W14X22
2	BT2	W14X48	W14X22
3	BT3	W14X61	W14X61
4	BT4	W14X90	W14X90
5	BT5	W14X90	W14X90
6	BT6	W14X120	W14X109
7	BT7	W14X145	W14X132
8	BT8	W14X193	W14X176
9	BT9	W14X233	W14X233
10	BT10	W14X342	W14X342
11	BT11	W14X398	W14X398
12	BT12	W14X500	W14X370
13	BT13	W14X730	W14X398
14	BT14	W14X808	W14X808
15	BT15	W14X808 Double	W14X808 Double
16	BT16	W14X605	W14X808

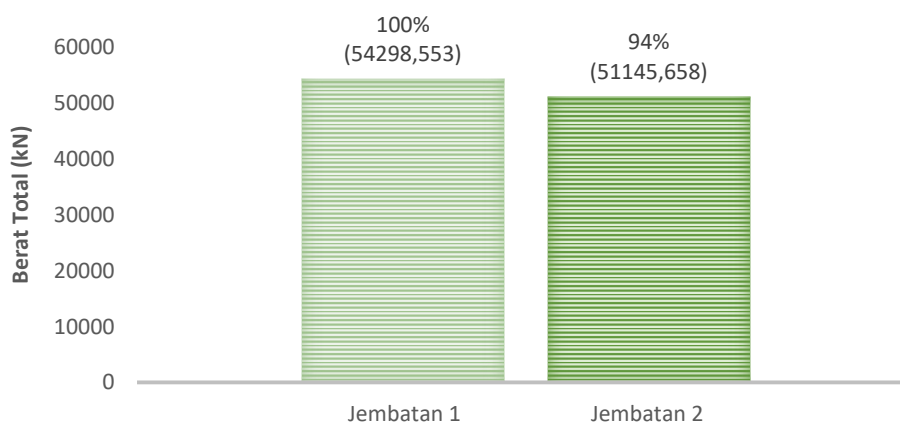
**Tabel 5.11 Desain Batang Profil pada Dek dan Profil Melintang Struktur Atas Jembatan**

No.	Kodefikasi	Jembatan 1	Jembatan 2	Keterangan
Batang Profil pada Dek Jembatan				
1	GU1	W36X194	W36X150	Gelagar utama-1
2	GU2	W35X160	W36X330	Gelagar utama-2
3	GM	W36X395	W36X395	Gelagar melintang
4	GMJ1	W36X150	W36X141	Gelagar memanjang-1
5	GMJ2	W36X135	W36X141	Gelagar memanjang-2
6	BR	HSS9.625X500	HSS9.625X375	<i>Bracing Deck</i>
Batang Profil Melintang Struktur atas				

Lanjutan Tabel 5.11

Jembatan utama				
7	BMA	HSS8.625X188	HSS8.625X188	Batang melintang atas
8	BMB	HSS6.875X188	HSS6.875X188	Batang melintang bawah
9	BRA	HSS9.625X312	HSS9.625X312	<i>Bracing</i> atas
10	BRB	HSS9.625X500	HSS9.625X500	<i>Bracing</i> bawah
Jembatan pendekat				
11	BA-t	W14X550	W14X342	Batang atas pendekat
12	BD-t	W14X257	W14X257	Batang diagonal pendekat
13	BT-t	W14X500	W14X500	Batang tegak pendekat
14	BR-t	HSS14X.625	HSS14X.625	<i>Bracing</i> pendekat
15	BM-t	HSS8.625X188	HSS8.625X188	Batang melintang pendekat

Secara teori, semakin tinggi busur maka gaya horisontal pada perletakkan akan semakin kecil, sehingga beban pada perletakkan dapat diperkecil. Hal ini akan mengakibatkan semakin berkurangnya momen pada busur tersebut. Dengan demikian dapat mengurangi dimensi komponen busur. Kebutuhan material profil baja dapat dilihat dari berat sendiri pada program SAP2000 yang terdiri atas satu jembatan utama busur rangka baja dan dua jembatan pendekat berupa *truss*. Jembatan 1 dengan tinggi 40,75 m memiliki berat sebesar 54298,553 kN dan Jembatan 2 dengan tinggi 52 m memiliki berat sendiri sebesar 51145,658 kN. Diagram perbandingan berat sendiri pada kedua model jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.35.



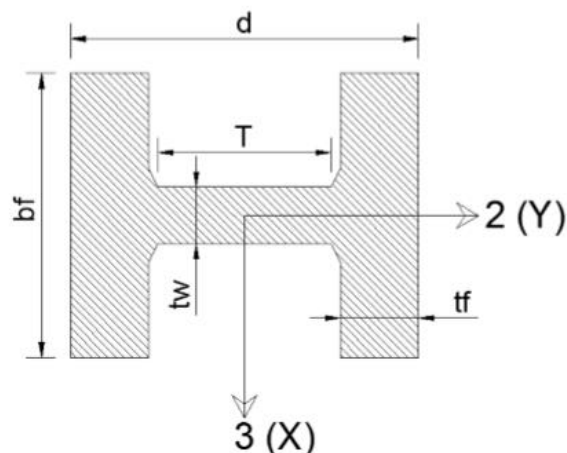
**Gambar 5.35 Diagram Perbandingan Berat Sendiri Jembatan I dan Jembatan II**

### 5.4.3 Kontrol Desain Batang Profil Jembatan

Dalam penelitian ini, semua desain batang profil diperoleh dari analisis SAP2000 sehingga diperlukan pengecekan berupa perhitungan manual mengenai hasil desain tersebut. Pengecekan keamanan yang dilakukan adalah pengecekan kemaan profil terhadap gaya aksial, momen dan interaksi gaya aksial dan momen.

1. Kontrol batang profil pada batang atas (BA) Dari hasil analisis struktur program SAP2000 didapat gaya aksial tekan maksimum pada batang atas sebesar -17610,06 kN dan momen maksimum sebesar 862,63 kN-m (M2). Dalam mendesain profil struktur rangka utama jembatan perlu dilakukan pengecekan keamanan profil yang dipilih. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungannya.

Profil yang digunakan adalah profil W14X730, dapat dilihat pada Gambar 5.36.



**Gambar 5.36 Profil W14X730**

Data-data profil:

$$f_y = 50 \text{ ksi} = 345 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 138709 \text{ mm}^2$$

$$d = 568,96 \text{ mm}$$

$$t_w = 77,978 \text{ mm}$$

$$b_f = 454,66 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_f &= 124,714 \text{ mm} \\
 h &= 284,48 \text{ mm} \\
 I_x &= 5951660000 \text{ mm}^4 \\
 I_y &= 1964464000 \text{ mm}^4 \\
 r_y &= 144,272 \text{ mm} \\
 S_x &= 20966400 \text{ mm}^3 \\
 S_y &= 8632260 \text{ mm}^3 \\
 Z_y &= 13366080 \text{ mm}^3 \\
 L &= 9120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- a. Perhitungan kuat desak  
Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{L_k}{r} \\
 &= \frac{9120}{144,272} \\
 &= 63,214 < 200 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Klasifikasi penampang berdasarkan tabel 4 RSNI T-03-2005

- 1) Pada sayap

$$\begin{aligned}
 \frac{b_f}{2 \cdot t_f} &= \frac{454,66}{2 \cdot 124,714} = 1,822 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{345}} = 9,152 \\
 \frac{b_f}{2 \cdot t_f} &= 1,822 < \lambda_p = 9,152
 \end{aligned}$$

- 2) Pada badan

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{284,48}{77,978} = 3,648 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{345}} = 90,448 \\
 \frac{h}{t_w} &= 3,648 < \lambda_p = 90,448
 \end{aligned}$$

Dari kedua syarat tekuk lokal diatas diketahui bahwa profil adalah penampang kompak.

$$k_c = 1$$

$$L_k = k_c \times L$$

$$\begin{aligned}
&= 1 \times 9120 \\
&= 9120 \\
\lambda_c &= \frac{L_k}{r \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\
&= \frac{9120}{144,272 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} \\
&= 0,836 < 1,5
\end{aligned}$$

Sehingga kapasitas aksial tekan penampang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
N_n &= 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A \cdot f_y \\
&= 0,66^{0,836^2} \cdot 138709 \cdot 345 \\
&= 35800584 \text{ N} \\
&= 35800,584 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi N_n &= 0,85 \cdot N_n \\
&= 0,85 \cdot 30430,5 \\
&= 30430,5 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\phi N_n = 35800,584 > N_u = 17610,06 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Rasio} = N_u / \phi N_n = 0,58$$

b. Perhitungan kuat lentur

Berdasarkan perhitungan klasifikasi penampang, profil yang digunakan merupakan penampang kompak sehingga perhitungan kapasitas lentur adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
M_n &= M_p \\
M_p &= Z_y \cdot f_y \\
&= 13366080 \cdot 345 \\
&= 4611297600 \text{ N.mm} \\
1,5 \cdot M_y &= 1,5 \cdot S_x \cdot f_y \\
&= 1,5 \cdot 20966400 \cdot 345 \\
&= 10850112000 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Jadi:

$$M_n = 4611297600 \text{ N.mm}$$

$$= 4611,29 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,85 \cdot 4611,29$$

$$= 3919,60 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 862,63 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = M_u / \phi M_n = 0,22$$

Tekuk lateral

$$L_b = 9120 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \cdot 144,272 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}}$$

$$= 6113,64 \text{ mm}$$

$$L_r = r_y \cdot \left[ \frac{X_1}{f_L} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$= 345 - 70$$

$$= 275 \text{ MPa}$$

$$J = 603490000 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 15899040 \text{ mm}^6$$

$$G = 80000$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$= \frac{\pi}{8632260} \cdot \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 603490000 \cdot 138709}{2}}$$

$$= 297822,643 \text{ N/mm}^2$$

$$X_2 = 4 \cdot \left( \frac{S_y}{G \cdot J} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y}$$

$$= 4 \cdot \left( \frac{8632260}{8000 \cdot 603490000} \right)^2 \cdot \frac{15899040}{1964464000}$$

$$= 1,198 \cdot 10^{-22} \text{ N/mm}^2$$

$$L_r = 144,272 \cdot \left[ \frac{297822,643}{275} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 1,198 \cdot 10^{-22} \cdot 275^2}}$$

$$= 220964,278 \text{ mm}$$

$$L_p = 6113,64 \text{ mm} < L_b = 9120 \text{ mm} < L_r = 220964,278 \text{ mm}$$

Batang profil merupakan batang bentang menengah, sehingga:

$$M_{u_{max}} = 862,63 \text{ kN.m}$$

$$M_A = 332,71 \text{ kN.m}$$

$$M_B = 65,66 \text{ kN.m}$$

$$M_C = 398,57 \text{ kN.m}$$

$$M_n = C_b \cdot \left[ M_r - M_r \cdot \left( \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{u_{max}}}{2,5 \cdot M_{u_{max}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 862,63}{2,5 \times 862,63 + 3 \times 332,71 + 4 \times 65,66 + 3 \times 398,57} \leq 2,3$$

$$= 2,3 \leq 2,3$$

$$M_r = S_y \cdot (f_y - f_r)$$

$$= 8632260 (245 - 70)$$

$$= 2373871500 \text{ N.mm}$$

$$= 2373,8715 \text{ kN.m}$$

$$M_p = 4611.2976 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 2,3 \cdot \left[ 2373,8715 - 2373,8715 \left( \frac{220,964-9,12}{220,964-6,11} \right) \right]$$

$$= 10856.41095 \text{ kN.m} > M_p = 4611.2976 \text{ kN.m}$$

Sehingga dipakai  $M_n = M_p = 4611.2976 \text{ kN.m}$

$$M_{u_{max}} = 862,63 \text{ kN.m} \leq \phi M_n = 0,9 \cdot 4611.2976 = 9770,77 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = M_{u_{max}} / \phi M_n$$

$$= 0,088$$

c. Interaksi aksial dan lentur

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,58 > 0,2$$

Sehingga,

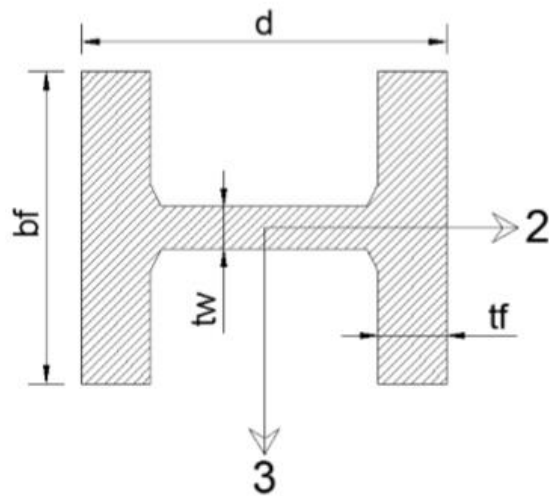
$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{u_x}}{\phi M_{n_x}} + \frac{M_{u_y}}{\phi M_{n_y}} \right) \leq 1,0$$

$$0,58 + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{862,63}{9770,77} \right) = 0,65 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

2. Kontrol batang profil pada batang bawah (BB)

Dari hasil analisis struktur program SAP2000 didapat gaya aksial tekan maksimum pada batang atas sebesar -10062,33 kN dan momen maksimum sebesar 303,474 kN-m (M2). Dalam mendesain profil struktur rangka utama jembatan perlu dilakukan pengecekan keamanan profil yang dipilih. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungannya.

Profil yang digunakan adalah profil W14X398, dapat dilihat pada Gambar 5.37.



**Gambar 5.37 Profil W14X398**

Data-data profil:

$$f_y = 50 \text{ ksi} = 345 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 754836,966 \text{ mm}^2$$

$$d = 464,82 \text{ mm}$$

$$t_w = 45 \text{ mm}$$

$$b_f = 421,41 \text{ mm}$$

$$t_f = 72 \text{ mm}$$

$$h = 232,41 \text{ mm}$$

$$I_x = 2497200000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 90315400 \text{ mm}^4$$

$$r_y = 109 \text{ mm}$$

$$S_x = 10745280 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 4291560 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 6584760 \text{ mm}^3$$

$$L = 9050 \text{ mm}$$

- a. Perhitungan kuat desak  
Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{L_k}{r} \\ &= \frac{9050}{109} \\ &= 82,668 < 200 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Klasifikasi penampang berdasarkan tabel 4 RSNI T-03-2005

1) Pada sayap

$$\begin{aligned}\frac{b_f}{2.t_f} &= \frac{421,41}{2 \cdot 72} = 2,91 \\ \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{fy}} = \frac{170}{\sqrt{345}} = 9,152 \\ \frac{b_f}{2.t_f} &= 2,91 < \lambda_p = 9,152\end{aligned}$$

2) Pada badan

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &= \frac{232,41}{45} = 5,169 \\ \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{345}} = 90,448 \\ \frac{h}{t_w} &= 5,169 < \lambda_p = 90,448\end{aligned}$$

Dari kedua syarat tekuk lokal diatas diketahui bahwa profil adalah penampang kompak.

$$k_c = 1$$

$$\begin{aligned}L_k &= k_c \times L \\ &= 1 \times 9050 \\ &= 9050\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{L_k}{r \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\ &= \frac{9050}{109 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} \\ &= 1,093 < 1,5\end{aligned}$$

Sehingga kapasitas aksial tekan penampang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}N_n &= 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A \cdot f_y \\ &= 0,66^{1,093^2} \cdot 754836,966 \cdot 345 \\ &= 158536116,1 \text{ N}\end{aligned}$$

$$= 158536,12 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0,85 \times N_n \\ &= 0,85 \cdot 158536,12 \\ &= 134755,699 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi N_n = 134755,699 > N_u = 10062,326 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Rasio} = N_u / \phi N_n = 0,075$$

b. Perhitungan kuat lentur

Berdasarkan perhitungan klasifikasi penampang, profil yang digunakan merupakan penampang kompak sehingga perhitungan kapasitas lentur adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}M_n &= M_p \\ M_p &= Z_y \cdot f_y \\ &= 6584760 \cdot 345 \\ &= 2271742200 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1,5 \cdot M_y &= 1,5 \cdot S_x \cdot f_y \\ &= 1,5 \cdot 10745280 \cdot 345 \\ &= 5560682400 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Jadi:

$$\begin{aligned}M_n &= 2271742200 \text{ N.mm} \\ &= 2271,742 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,85 \cdot 2271,742 \\ &= 1930,980 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$M_u = 303,4739 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = M_u / \phi M_n = 0,157$$

Tekuk lateral

$$L_b = 9050 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1,76 \cdot 109 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}} \\
 &= 4639,050 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_r = r_y \cdot \left[ \frac{X_1}{f_L} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}}$$

$$\begin{aligned}
 f_L &= f_y - f_r \\
 &= 345 - 70 \\
 &= 275 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$J = 113622600 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 5665680 \text{ mm}^6$$

$$G = 80000$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{4291560} \cdot \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 113622600 \cdot 754836.966}{2}} \\
 &= 606371,274 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \cdot \left( \frac{S_y}{G \cdot J} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y} \\
 &= 4 \cdot \left( \frac{4291560}{8000 \cdot 113622600} \right)^2 \cdot \frac{5665680}{903154000} \\
 &= 1,303 \cdot 10^{-20} \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 109 \cdot \left[ \frac{606371,2741}{275} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 1,303 \cdot 10^{-20} \cdot 275^2}} \\
 &= 341375,154 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_p = 4639,05 \text{ mm} < L_b = 9050 \text{ mm} < L_r = 341375,154 \text{ mm}$$

Batang profil merupakan batang bentang menengah, sehingga:

$$Mu_{max} = 303,473 \text{ kN.m}$$

$$M_A = 133,047 \text{ kN.m}$$

$$M_B = 35,202 \text{ kN.m}$$

$$M_C = 97,178 \text{ kN.m}$$

$$M_n = C_b \cdot \left[ M_r - M_r \cdot \left( \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot Mu_{max}}{2,5 \cdot Mu_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 303,473}{2,5 \times 303,473 + 3 \times 133,047 + 4 \times 35,202 + 3 \times 97,178} \leq 2,3$$

$$= 2,385 \leq 2,3$$

$$M_r = S_y \cdot (f_y - f_r)$$

$$= 4291560 (245 - 70)$$

$$= 1180179000 \text{ N.mm}$$

$$= 1180,179 \text{ kN.m}$$

$$M_p = 2271,742 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 2,3 \cdot \left[ 1180,179 - 1180,179 \left( \frac{341,375 - 9,05}{341,375 - 4,63} \right) \right]$$

$$= 5456,232 \text{ kN.m} > M_p = 2271,742 \text{ kN.m}$$

Sehingga dipakai  $M_n = M_p = 5456,232 \text{ kN.m}$

$$Mu_{max} = 303,473 \text{ kN.m} \leq \phi M_n = 0,9 \cdot 5456,232 = 4910,609 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = Mu_{max} / \phi M_n$$

$$= 0,062$$

c. Interaksi aksial dan lentur

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,075 > 0,2$$

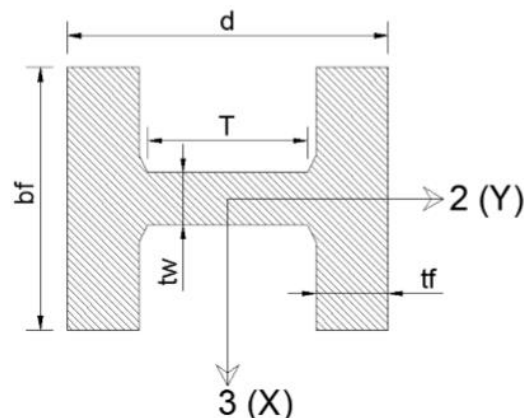
Sehingga,

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mu_x}{\phi Mn_x} + \frac{Mu_y}{\phi Mn_y} \right) \leq 1,0$$

$$0,075 + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{303,473}{4910,609} \right) = 0,65 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

3. Kontrol batang profil pada batang diagonal (BD) Dari hasil analisis struktur program SAP2000 didapat gaya aksial tekan maksimum pada batang atas sebesar -2802,155 kN dan momen maksimum sebesar 151,322 kN-m (M2). Dalam mendesain profil struktur rangka utama jembatan perlu dilakukan pengecekan keamanan profil yang dipilih. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungannya.

Profil yang digunakan adalah profil W14X311, dapat dilihat pada Gambar 5.38.



**Gambar 5.38 Profil W14X311**

Data-data profil:

$$f_y = 50 \text{ ksi} = 345 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 366450,776 \text{ mm}^2$$

$$d = 434,340 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_w &= 35,814 \text{ mm} \\
 b_f &= 411,480 \text{ mm} \\
 t_f &= 57,404 \text{ mm} \\
 h &= 217,170 \text{ mm} \\
 I_x &= 1802146000 \text{ mm}^4 \\
 I_y &= 67008200 \text{ mm}^4 \\
 r_y &= 106,680 \text{ mm} \\
 S_x &= 8288280 \text{ mm}^3 \\
 S_y &= 3259620 \text{ mm}^3 \\
 Z_y &= 4979520 \text{ mm}^3 \\
 L &= 21980 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

a. Perhitungan kuat desak

Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{L_k}{r} \\
 &= \frac{21980}{106,680} \\
 &= 196,037 < 200 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Klasifikasi penampang berdasarkan tabel 4 RSNI T-03-2005

1) Pada sayap

$$\begin{aligned}
 \frac{b_f}{2 \cdot t_f} &= \frac{411,480}{2 \cdot 57,404} = 3,584 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{345}} = 9,152 \\
 \frac{b_f}{2 \cdot t_f} &= 3,584 < \lambda_p = 9,152
 \end{aligned}$$

2) Pada badan

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{217,17}{35,814} = 6,064 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{345}} = 90,448 \\
 \frac{h}{t_w} &= 6,064 < \lambda_p = 90,448
 \end{aligned}$$

Dari kedua syarat tekuk lokal diatas diketahui bahwa profil adalah penampang kompak.

$$k_c = 1$$

$$\begin{aligned} L_k &= k_c \times L \\ &= 1 \times 21980 \\ &= 21980 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_c &= \frac{L_k}{r \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\ &= \frac{21980}{106,68 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} \\ &= 2,724 > 1,5 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas aksial tekan penampang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} N_n &= 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A \cdot f_y \\ &= 0,66^{2,724^2} \cdot 366450,766 \cdot 345 \\ &= 5793332 \text{ N} \\ &= 5793,332 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,85 \times N_n \\ &= 0,85 \cdot 5793,332 \\ &= 4924,332 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 4924,332 > N_u = 2802,155 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Rasio} = N_u / \phi N_n = 0,57$$

b. Perhitungan kuat lentur

Berdasarkan perhitungan klasifikasi penampang, profil yang digunakan merupakan penampang kompak sehingga perhitungan kapasitas lentur adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ M_p &= Z_y \cdot f_y \\ &= 4979520 \cdot 345 \\ &= 1717934400 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$1,5 \cdot M_y = 1,5 \cdot S_x \cdot f_y$$

$$= 1,5 \cdot 8288280 \cdot 345$$

$$= 4289184900 \text{ N.mm}$$

Jadi:

$$M_n = 1717934400 \text{ N.mm}$$

$$= 1717,9344 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,85 \cdot 1717,9344$$

$$= 1460,244 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 151,3225 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = M_u / \phi M_n = 0,104$$

Tekuk lateral

$$L_b = 21980 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \cdot 106,68 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}}$$

$$= 4520,652 \text{ mm}$$

$$L_r = r_y \cdot \left[ \frac{X_1}{f_L} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$= 345 - 70$$

$$= 275 \text{ MPa}$$

$$J = 765865823,1 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 1,163 \cdot 10^{14} \text{ mm}^6$$

$$G = 80000$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\pi}{S} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \\ &= \frac{\pi}{8288280} \cdot \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 765865823,1 \cdot 366450,766}{2}} \\ &= 1444149,168 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= 4 \cdot \left( \frac{S_y}{G \cdot J} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y} \\ &= 4 \cdot \left( \frac{3259620}{8000 \cdot 765865823,1} \right)^2 \cdot \frac{1,163 \cdot 10^{14}}{67008200} \\ &= 6,028 \cdot 10^{-15} \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 107 \cdot \left[ \frac{1444149,168}{275} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,028 \cdot 10^{-15} \cdot 275^2}} \\ &= 792277,578 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_p = 4520,652 \text{ mm} < L_b = 21980 \text{ mm} < L_r = 792277,578 \text{ mm}$$

Batang profil merupakan batang bentang menengah, sehingga:

$$Mu_{max} = 151,322 \text{ kN.m}$$

$$M_A = 22,784 \text{ kN.m}$$

$$M_B = 57,375 \text{ kN.m}$$

$$M_C = 50,239 \text{ kN.m}$$

$$M_n = C_b \cdot \left[ M_r - M_r \cdot \left( \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot Mu_{max}}{2,5 \cdot Mu_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 862,63}{2,5 \times 862,63 + 3 \times 332,71 + 4 \times 65,66 + 3 \times 398,57} \leq 2,3$$

$$= 2,3 \leq 2,3$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= S_y \cdot (f_y - f_r) \\
 &= 3259620 (245 - 70) \\
 &= 896395500 \text{ N.mm} \\
 &= 896,395 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$M_p = 1717,934 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 2,3 \cdot \left[ 896,395 + 1717,9344 - 896,395 \left( \frac{792,277 - 21,98}{792,277 - 4,52} \right) \right] \\
 &= 3975,335 \text{ kN.m} > M_p = 1717,934 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai  $M_n = M_p = 3975,335 \text{ kN.m}$

$$Mu_{max} = 151,322 \text{ kN.m} \leq \phi M_n = 0,9 \cdot 3975,335 = 3577,8 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio} &= M_u / \phi M_n \\
 &= 0,042
 \end{aligned}$$

c. Interaksi aksial dan lentur

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,57 > 0,2$$

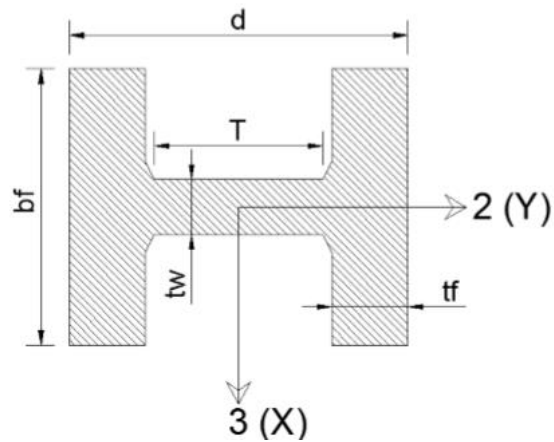
Sehingga,

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mu_x}{\phi M_{nx}} + \frac{Mu_y}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$0,57 + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{151,322}{3577,8} \right) = 0,606 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

4. Kontrol batang profil pada batang atas (BA) Dari hasil analisis struktur program SAP2000 didapat gaya aksial tekan maksimum pada batang atas sebesar -4791.526 kN dan momen maksimum sebesar 268.491kN-m (M2). Dalam mendesain profil struktur rangka utama jembatan perlu dilakukan pengecekan keamanan profil yang dipilih. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungannya.

Profil yang digunakan adalah profil W14X370, dapat dilihat pada Gambar 5.39.



**Gambar 5.39 Profil W14X370**

Data-data profil:

$$f_y = 50 \text{ ksi} = 345 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 703224,182 \text{ mm}^2$$

$$d = 454,66 \text{ mm}$$

$$t_w = 42 \text{ mm}$$

$$b_f = 419,1 \text{ mm}$$

$$t_f = 68 \text{ mm}$$

$$h = 227,33 \text{ mm}$$

$$I_x = 2264128000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 82823800 \text{ mm}^4$$

$$r_y = 108 \text{ mm}$$

$$S_x = 9942660 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 3947580 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 6060600 \text{ mm}^3$$

$$L = 16670 \text{ mm}$$

a. Perhitungan kuat desak

Kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{L_k}{r}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{16670}{108} \\
 &= 153.7000498 < 200 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Klasifikasi penampang berdasarkan tabel 4 RSNI T-03-2005

1) Pada sayap

$$\begin{aligned}
 \frac{b_f}{2 \cdot t_f} &= \frac{419,1}{2 \cdot 68} = 3,101 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{fy}} = \frac{170}{\sqrt{345}} = 9,152 \\
 \frac{b_f}{2 \cdot t_f} &= 3,101 < \lambda_p = 9,152
 \end{aligned}$$

2) Pada badan

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{227,33}{42} = 5,391 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{345}} = 90,448 \\
 \frac{h}{t_w} &= 5,391 < \lambda_p = 90,448
 \end{aligned}$$

Dari kedua syarat tekuk lokal diatas diketahui bahwa profil adalah penampang kompak.

$$k_c = 1$$

$$L_k = k_c \times L$$

$$= 1 \times 16670$$

$$= 16670$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_c &= \frac{L_k}{r \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} \\
 &= \frac{16670}{108 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} \\
 &= 0,836 < 1,5
 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas aksial tekan penampang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 N_n &= 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A \cdot f_y \\
 &= 0,66^{0,836^2} \cdot 703224,182 \cdot 345 \\
 &= 43633765,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 43633,765 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0,85 \times N_n \\ &= 0,85 \cdot 43633,765 \\ &= 37088,7 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi N_n = 37088,7 > N_u = 4791,526 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Rasio} = N_u / \phi N_n = 0,229$$

b. Perhitungan kuat lentur

Berdasarkan perhitungan klasifikasi penampang, profil yang digunakan merupakan penampang kompak sehingga perhitungan kapasitas lentur adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}M_n &= M_p \\ M_p &= Z_y \cdot f_y \\ &= 6060600 \cdot 345 \\ &= 2090907000 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1,5 \cdot M_y &= 1,5 \cdot S_x \cdot f_y \\ &= 1,5 \cdot 9942660 \cdot 345 \\ &= 5145326550 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Jadi:

$$\begin{aligned}M_n &= 2090907000 \text{ N.mm} \\ &= 2090,907 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,85 \cdot 2090,907 \\ &= 1777,270 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$M_u = 268,491 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = M_u / \phi M_n = 0,151$$

Tekuk lateral

$$L_b = 16670 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1,76 \cdot 108 \cdot \sqrt{\frac{200000}{345}} \\
 &= 4595,996 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_r = r_y \cdot \left[ \frac{X_1}{f_L} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}}$$

$$\begin{aligned}
 f_L &= f_y - f_r \\
 &= 345 - 70 \\
 &= 275 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$J = 92396400 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 5094720 \text{ mm}^6$$

$$G = 80000$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{9942660} \cdot \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 92396400 \cdot 703224,182}{2}} \\
 &= 573770,677 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \cdot \left( \frac{S_y}{G \cdot J} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y} \\
 &= 4 \cdot \left( \frac{3947580}{8000 \cdot 92396400} \right)^2 \cdot \frac{5094720}{82823800} \\
 &= 1,78 \cdot 10^{-20} \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 108 \cdot \left[ \frac{573770,677}{275} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 1,78 \cdot 10^{-20} \cdot 275^2}} \\
 &= 320023,776 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_p = 4595,996 \text{ mm} < L_b = 16670 \text{ mm} < L_r = 320023,776 \text{ mm}$$

Batang profil merupakan batang bentang menengah, sehingga:

$$Mu_{max} = 268,491 \text{ kN.m}$$

$$M_A = 49,375 \text{ kN.m}$$

$$M_B = 3,421 \text{ kN.m}$$

$$M_C = 17,405 \text{ kN.m}$$

$$M_n = C_b \cdot \left[ M_r - (M_p - M_r) \cdot \left( \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot Mu_{max}}{2,5 Mu_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 268,491}{2,5 \times 268,491 + 3 \times 49,375 + 4 \times 3,421 + 3 \times 17,405} \leq 2,3$$

$$= 2,3 \leq 2,3$$

$$M_r = S_y \cdot (f_y - f_r)$$

$$= 3947580 (245 - 70)$$

$$= 1085584500 \text{ N.mm}$$

$$= 1085,585 \text{ kN.m}$$

$$M_p = 2090,907 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 2,3 \cdot \left[ 1085,585 - 2090,907 \cdot \left( \frac{320,023 - 16,67}{320,023 - 4,59} \right) \right]$$

$$= 8084,519 \text{ kN.m} > M_p = 2090,907 \text{ kN.m}$$

Sehingga dipakai  $M_n = M_p = 8084,519 \text{ kN.m}$

$$Mu_{max} = 268,491 \text{ kN.m} \leq \phi M_n = 0,9 \cdot 8084,519 = 7276,067 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio} = M_u \text{ max} / \phi M_n$$

$$= 0,036$$

## c. Interaksi aksial dan lentur

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,229 > 0,2$$

Sehingga,

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$0,229 + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{268,491}{7276,07} \right) = 0,262 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

## **BAB VI**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Simpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut ini.

1. Hasil analisis perbedaan tinggi busur terhadap respon struktur dari kedua model jembatan menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam yang terjadi pada batang profil dari struktur utama busur rangka jembatan I dengan tinggi 40,75 m lebih tinggi dibandingkan jembatan II dengan tinggi 52 m. Pola grafik perbandingan gaya-gaya dalam yang dihasilkan adalah relatif sama.
2. Berat total struktur atas dari kedua model jembatan diketahui bahwa jembatan I memiliki berat sebesar 54298,553 kN dan jembatan II sebesar 51145,658 kN, sehingga kebutuhan material profil baja pada jembatan I lebih besar dibandingkan jembatan II dengan rasio perbandingan 1:0,94.
3. Dengan membandingkan kedua model jembatan, berdasarkan berat total struktur atas dapat disimpulkan bahwa tinggi jembatan II lebih efektif daripada tinggi jembatan I yaitu sebesar 52 m dengan bentang utama sebesar 270 m.

#### **6.1 Saran**

Dengan memperhatikan hasil analisis pada bab sebelumnya, maka beberapa saran dapat diberikan sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya membahas respon struktur terhadap gaya-gaya dalam pada batang profil, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh terhadap *hanger* jembatan.
2. Penelitian ini hanya memperhitungkan beban mati, beban lajur *D*, beban rem, beban pejalan kaki, beban angin, dan beban gempa, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat ditambah dengan beban-beban lainnya termasuk beban lajur *D* yang terdapat pada program SAP2000 v.14.

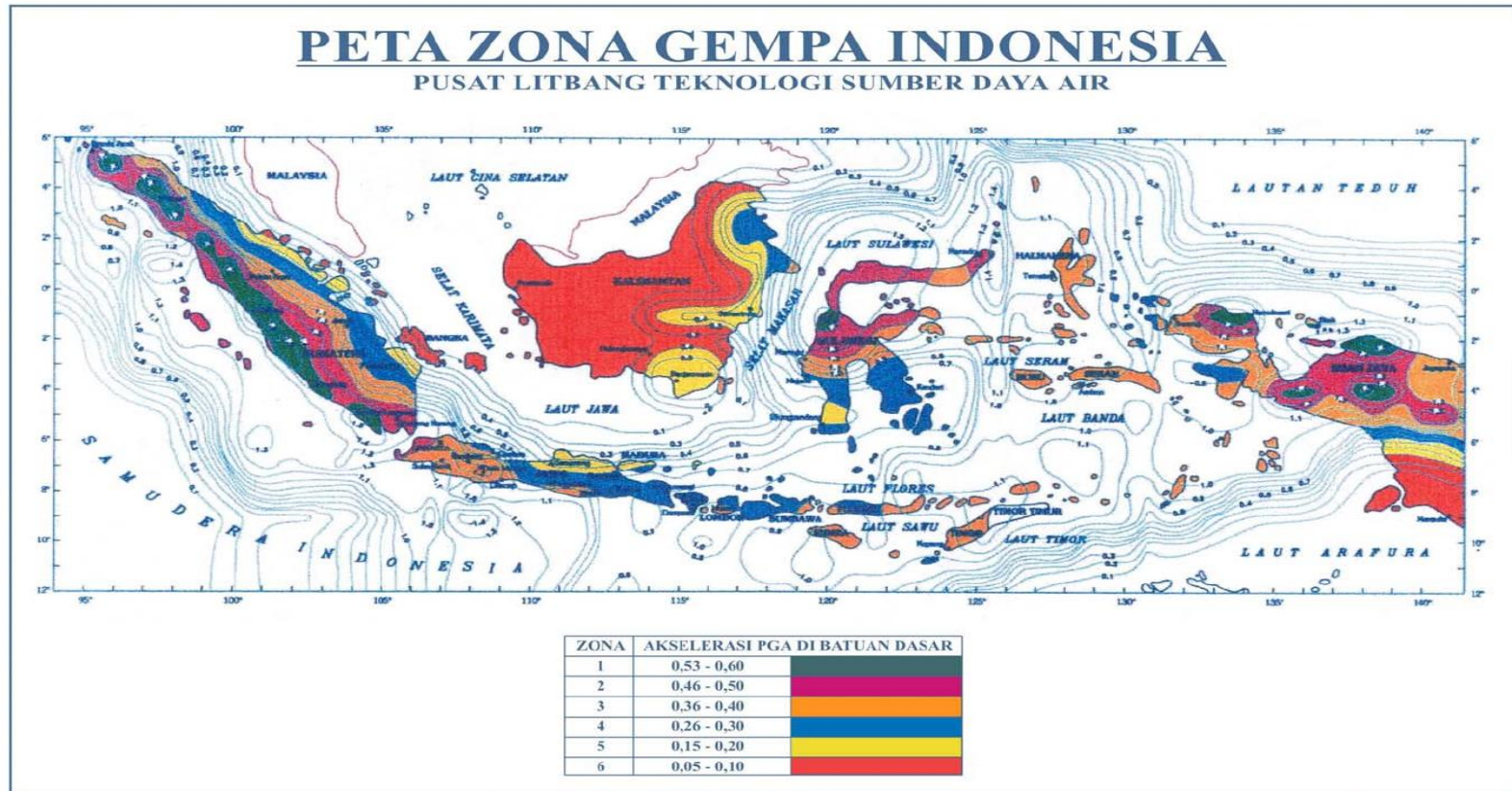
3. Penelitian ini tidak mencakup perhitungan sambungan, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut yang membahas perhitungan sambungan.
4. Dalam penelitian ini tidak mencakup perbandingan biaya, sehingga diperlukan penelitian lanjutan yang membahas perbandingan biaya dari kedua model jembatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction, 2005, *Steel Construction Manual Thirteenth Edition*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago.
- Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, 2005, RSNI-T-02-2005, Standar Pembebanan Untuk Jembatan, Penerbit Bina Marga, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008, SNI 2833:2008, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan, BSN, Jakarta.
- Ertanto, Alfon., 2010, Perencanaan Jembatan Beton Tipe Pelengkung Atas diatas Sungai Kretek Bantul Yogyakarta, *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Ohorella, Sumaiyah., 2017, Analisis Kestabilan Cable Stayed Bridge Akibat Pengaruh Rasio Lebar Terhadap Bentang Jembatan, *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Olyvia, Yumna Cici, 2015, Analisis Konstruksi Jembatan Busur Rangka Baja Tipe A-Half Through Arch, *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan), Universitas Lampung, Lampung.
- Supriyadi, Bambang dan Muntohar, Agus S., 2007, Jembatan, Beta Offset, Yogyakarta.
- Wahyudi, Ragil., 2017, Studi Perbandingan Desain Struktur Atas Jmebatan Baja dengan Tipe Through Arch Bridge, *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Windu N Z, Siadari., 2012, Desain Jembatan Air Pangi II dengan Tipe Lengkung Atas (The Tied Arch), *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

# **LAMPIRAN**

## Lampiran 1. Peta Zona Gempa Indonesia



(sumber: SNI 2833-2008)

