

1126/FT.01/SKRIP/07/2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI VARIASI PENAMPANG NONPRISMATIS BAJA
TERHADAP PERILAKU DAN KEKUATAN *TIED ARCH*
*BRIDGE***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

MUHAMAD ARDIMAS RIYONO

0806329464

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhamad Ardimas Riyono

NPM : 0806329464

Tanda Tangan : 

Tanggal : 5 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhamad Ardimas Riyono
NPM : 0806329464
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Variasi Penampang Nonprismatis Baja
terhadap Perilaku dan Kekuatan *Tied Arch Bridge*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng ()
Pembimbing : Mulia Orientilize, ST, M.Eng ()
Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo ()
Penguji : Dr. -Ing. Ir. Henki W. Ashadi ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 5 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Pertama-tama, penulis ingin mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia dan nikmat yang telah diberikan. Karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan segala kegiatan yang terkait dengan penulisan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat dalam mata kuliah Skripsi dan merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik, Program Studi Teknik, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis sangat menyadari bahwa isi maupun teknis penulisan dari tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis pun tidak akan bisa menyelesaikan tulisan ini jika bukan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini. Begitu banyak bentuk bantuan maupun dukungan yang telah diberikan oleh pihak-pihak yang mungkin nantinya tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

- (1) Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng, selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia memberikan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini
- (2) Mulia Orientilize, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia memberikan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini
- (3) Kedua orang tua dari penulis, Achmad Lutfi dan Sri Rahayuningsih, yang telah merawat dan membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang serta atas segala pengorbanan yang telah dilakukan untuk membuat penulis bisa sampai kepada kehidupan saat ini
- (4) Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir ini, Laskar TAB, Riki dan Nico, yang telah bersama-sama melewati segala suka dan duka selama kurang lebih satu tahun, *we've done it guys!*
- (5) *The best hangout friends ever*, Fatih, Fatchur, Janit, Ridha, Dodo, Qi, Cipta, Rendy, Rozi, Jauzy, Tekad, Tony, Teddy, Tadho, Damar, Nanda, Wan Abud,

Ezi, Ganjar, Acu, Budi, Sandy, Meydam, Asrovi, Ryan, Gabby, Mila, Bundo, Eqhi, Cia, Dita, Inal, Piti, Amel, Dahel, Icha, selalu ada tawa dan senyuman bersama kalian

- (6) Seluruh kawan-kawan Departemen Teknik Sipil angkatan 2008 atas waktu dan pengalaman yang sangat berharga bagi penulis, serta semua sahabat dan teman yang telah memberikan bantuan/dukungan semangat dan doa untuk kelancaran penyusunan tugas akhir ini
- (7) Teman dan sahabat di SMAN 14 dan IPA 4, Fikri, Aul, Betet, Pyong, Rama, Imam, Dimas Bos, Farhan, Ucup, Azka, Shinta, Putri, Tiara, Umi, Dewa
- (8) *Best friends from Junior High*, Sandi dan Suhita atas nasehat dan dorongan semangatnya
- (9) Tri Listyowati, yang selalu mengingatkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini dan untuk kehadirannya saat sidang, *you always have your place in me*
- (10) Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam penyusunan tulisan ini dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu

Akhir kata, penulis hanya bisa berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Semoga penyusunan dan hasil dari penulisan tugas akhir ini dapat menjadi manfaat bagi semua pihak, rakyat Indonesia dan umat manusia pada umumnya, serta bagi penulis dan pembaca pada khususnya.

Depok, 5 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhamad Ardimas Riyono
NPM : 0806329464
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi mengembangkan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Studi Variasi Penampang Nonprismatis Baja terhadap Perilaku dan
Kekuatan *Tied Arch Bridge***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 5 Juli 2012

Yang menyatakan



(Muhamad Ardimas Riyono)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Ardimas Riyono
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Variasi Penampang Nonprismatis Baja terhadap Perilaku dan Kekuatan *Tied Arch Bridge*

Dewasa ini, penggunaan material baja untuk konstruksi jembatan sangat bervariasi jika dikaitkan dengan tipe dan kebutuhan dari bentang jembatan tersebut. Salah satunya adalah tipe jembatan busur baja. Di dalam studi ini akan dibahas mengenai pengaruh dari variasi penampang nonprismatis pada elemen pelengkung jembatan tersebut. Pengaruh tersebut ditinjau dari segi efisiensi material, kekuatan profil, serta perilaku dari struktur jembatan itu sendiri terhadap pembebanan yang diberikan. Variasi yang diberikan adalah terhadap *spring-crown ratio* dari pelengkung utama dengan rasio 1:1, 1:1.2, 1:1.25, 1.25:1, dan 1.2:1. Analisis dari model struktur menggunakan bantuan program SAP2000 v11. Dari analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa model dengan variasi penampang semakin mengecil di tengah dengan rasio 1.25:1, merupakan alternatif terbaik dalam studi ini.

Kata Kunci :

Jembatan, jembatan busur baja, penampang nonprismatis, perilaku jembatan, pembebanan jembatan

ABSTRACT

Name : Muhamad Ardimas Riyono
Study Program : Civil Engineering
Title : Variation Study of Nonprismatic Steel Cross Section on Behaviour and Strength of Tied Arch Bridge

Nowadays, the use of steel for bridge construction materials vary greatly in relation to the type and requirements of the bridge span. One of those types is steel arch bridge. In the present study, it will discuss the influence of variations in cross section for nonprismatic arch element in steel arch bridge. These effects are taking into account in terms of material efficiency, element strength, as well as the behavior of the structure of the bridge itself against given loads. The variation in this study will be given to the spring-crown ratio of the bridge's arch with the value of 1:1, 1:1.2, 1:1.25, 1.25:1, and 1.2:1. Analysis of models use the aid from a computer's software, SAP2000 v11. The result from the analysis shown that the model with ratio value of 1.25:1 is the most recommended to be implemented on the field in this study.

Keywords :

Bridge, steel arch bridge, nonprismatic cross section, behaviour on bridges, bridge loading

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
KATA PENGANTAR	IV
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	VI
ABSTRAK	VI
ABSTRACT.....	VIII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR TABEL.....	XI
DAFTAR GAMBAR	XII
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	5
1.5 HIPOTESIS PENELITIAN.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	6
2 DASAR TEORI.....	7
2.1 DEFINISI JEMBATAN PELENGKUNG (<i>ARCH BRIDGE</i>).....	7
2.2 TIPE DAN JENIS JEMBATAN PELENGKUNG.....	10
2.3 DESAIN DAN STRUKTUR JEMBATAN PELENGKUNG.....	13
2.4 PEMBEBANAN PADA JEMBATAN.....	18
2.4.1 BEBAN TETAP	18
2.4.1.1 Berat Sendiri	18
2.4.1.2 Beban Mati Tambahan.....	19
2.4.2 BEBAN LALU LINTAS.....	20
2.4.2.1 Lajur Lalu Lintas rencana.....	20
2.4.2.2 Beban Lajur “D”.....	21
2.4.2.3 Pembebanan Truk “T”.....	23
2.4.3 GAYA REM	25
2.4.4 PEMBEBANAN UNTUK PEJALAN KAKI.....	26
2.4.5 BEBAN ANGIN.....	27
2.4.6 BEBAN GEMPA.....	28
2.5 TINJAUAN UMUM BAJA DAN METODE PERHITUNGAN LRFD.....	31
2.5.1 GAMBARAN UMUM BAJA	31
2.5.2 METODE PERHITUNGAN LRFD.....	33
2.5.2.1 Komponen Struktur Tarik.....	34
2.5.2.2 Komponen Struktur Tekan	34
2.5.2.3 Komponen Balok.....	36
3 METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1 PERMODELAN STRUKTUR.....	40
3.2 DIAGRAM ALIR METODOLOGI PENELITIAN	41
3.3 MODELISASI DAN DESAIN STRUKTUR.....	42

3.4 VARIASI PERMODELAN.....	44
3.4.1 MODEL 1 (SPRING-CROWN RATIO = 1:1)	45
3.4.2 MODEL 2 (SPRING-CROWN RATIO = 1:1.2).....	49
3.4.3 MODEL 3 (<i>SPRING-CROWN RATIO</i> = 1:1.25).....	52
3.4.4 MODEL 4 (<i>SPRING-CROWN RATIO</i> = 1.25:1).....	54
3.4.5 MODEL 5 (<i>SPRING-CROWN RATIO</i> = 1.2:1).....	57
3.5 PEMBEBANAN STRUKTUR.....	60
3.5.1 BEBAN TETAP	60
3.5.2 BEBAN LALU LINTAS	61
3.5.3 BEBAN AKSI LINGKUNGAN.....	62
3.5.4 KOMBINASI PEMBEBANAN.....	64
3.5.4.1 Kombinasi beban untuk keadaan batas daya layan.....	65
3.5.4.2 Kombinasi beban untuk keadaan batas ultimit.....	66
4 HASIL DAN ANALISIS.....	67
4.1 HASIL PERHITUNGAN MODEL STRUKTUR	67
4.1.1 LENDUTAN (DEFLEKSI) STRUKTUR.....	69
4.1.2 REAKSI PERLETAKAN DAN BERAT STRUKTUR.....	70
4.1.3 GAYA DALAM AKSIAL.....	73
4.1.4 GAYA DALAM MOMEN.....	80
4.1.5 RESPON GEMPA DAN PERIODE GETAR STRUKTUR.....	82
4.2 ANALISIS HASIL	83
4.2.1 LENDUTAN PADA <i>ARCH</i> DAN <i>TIE BEAM</i>	84
4.2.2 LENDUTAN TERHADAP BERAT STRUKTUR	85
4.2.3 PERBANDINGAN GAYA AKSIAL	87
4.2.4 PERBANDINGAN MOMEN LAPANGAN DAN TUMPUAN.....	89
4.2.5 RASIO TEGANGAN DAN KAPASITAS PENAMPANG.....	93
4.2.6 RESPON STRUKTUR TERHADAP BEBAN GEMPA.....	96
4.2.6.1 Model 1.....	96
4.2.6.2 Model 2.....	98
4.2.6.3 Model 3.....	100
4.2.6.4 Model 4.....	102
4.2.6.5 Model 5.....	104
5 KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.1 KESIMPULAN	107
5.2 SARAN.....	108
DAFTAR REFERENSI	109
LAMPIRAN.....	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Jembatan dan Aplikasi Bentangnya	10
Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati	19
Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	19
Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	20
Tabel 2.5 Jumlah Jalur Lalu Lintas Rencana	21
Tabel 2.6 Faktor Distribusi untuk Pembebanan Truk "T"	25
Tabel 2.7 Kecepatan Angin Rencana V_w	27
Tabel 2.8 Koefisien Seret C_w	28
Tabel 2.9 Kategori Kinerja Seismik	29
Tabel 2.10 Prosedur Analisis Berdasarkan Kategori Kinerja Seismik	29
Tabel 2.11 Koefisien Tanah (S)	30
Tabel 2.12 Akselerasi Puncak di Batuan Dasar Sesuai Periode Ulang	31
Tabel 2.13 Tabel Sifat Mekanis Baja Struktural	32
Tabel 2.14 Rasio Ketebalan <i>Web</i> dan <i>Flange</i> Berbagai Jenis Penampang	36
Tabel 2.15 Batasan Parameter <i>Width to Thickness Rati</i>	37
Tabel 3.1 Tinggi dan Panjang Segmen <i>Arch Rib</i> untuk Model 2	49
Tabel 3.2 Tinggi dan Panjang Segmen <i>Arch Rib</i> untuk Model 3	52
Tabel 3.3 Tinggi dan Panjang Segmen <i>Arch Rib</i> untuk Model 4	54
Tabel 3.4 Tinggi dan Panjang Segmen <i>Arch Rib</i> untuk Model 5	57
Tabel 3.5 Variasi dan Ukuran Penampang Model Struktur	59
Tabel 3.6 Kombinasi Beban Untuk Keadaan Batas Daya Layan	65
Tabel 3.7 Faktor Untuk Kombinasi Beban Keadaan Batas Daya Layan	65
Tabel 3.8 Faktor Untuk Kombinasi Beban Keadaan Batas Ultimit	66
Tabel 4.1 Nilai Lendutan Maksimum Elemen Struktur	70
Tabel 4.2 Reaksi Perletakan dan Berat Struktur	72
Tabel 4.3 Gaya Aksial Maksimum <i>Arch</i> untuk Tiap Kombinasi Pembebanan	74
Tabel 4.4 Gaya Aksial Maksimum <i>Tie Beam</i> untuk Tiap Kombinasi	75
Tabel 4.5 Periode Getar Model Struktur	79
Tabel 4.6 Gaya Aksial Maksimum Struktur	83
Tabel 4.7 Gaya Dalam Momen Lapangan Maksimum Elemen Struktur	86
Tabel 4.8 Gaya Dalam Momen Tumpuan Maksimum Elemen Struktur	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jembatan <i>Sydney Harbour</i> , Australia	1
Gambar 1.2 Ilustrasi Elemen Balok dengan Penampang Nonprismatis	3
Gambar 2.1 <i>Deck Arch Bridge</i>	11
Gambar 2.2 <i>Half-through Arch Bridge</i>	11
Gambar 2.3 <i>Through Arch Bridge</i>	11
Gambar 2.4 Tipe Busur <i>Fixed Arch</i>	12
Gambar 2.5 Tipe Busur <i>Two Hinged Arch</i>	12
Gambar 2.6 Tipe Busur <i>Three Hinged Arch</i>	12
Gambar 2.7 <i>Tied Arch Bridge</i>	13
Gambar 2.8 Beban Lajur “D”	21
Gambar 2.9 BTR vs Panjang Dibebani	22
Gambar 2.10 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang	23
Gambar 2.11 Pembebanan Truk “T” (500 kN)	24
Gambar 2.12 Gaya Rem Per Lajur 2,75 m (KBU)	26
Gambar 2.13 Pembebanan untuk Pejalan Kaki	27
Gambar 2.14 Prosedur Analisis Tahan Gempa	29
Gambar 2.15 Peta Zonasi Gempa Indonesia	31
Gambar 2.16 Hubungan Antara Kekuatan Nominal Momen (M_n) dengan	38
Gambar 3.1 Permodelan Struktur 3 Dimensi	43
Gambar 3.2 Tampak Samping Model Struktur	43
Gambar 3.3 Potongan Melintang Jembatan	43
Gambar 3.4 Variasi Permodelan Struktur	44
Gambar 3.5 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 1	45
Gambar 3.6 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Tie Beam</i> Model 1	46
Gambar 3.7 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Edge Beam</i> Model 1	46
Gambar 3.8 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Floor Beam</i> Model 1	47
Gambar 3.9 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Stringer</i> Model 1	47
Gambar 3.10 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Bracing</i> Model 1	48
Gambar 3.11 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Hanger</i> Model 1	48
Gambar 3.12 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 2 (<i>Spring</i>)	50
Gambar 3.13 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 2 (<i>Crown</i>)	50
Gambar 3.14 <i>Nonprismatic Section Input</i> Segmen 1 untuk Model 2	51
Gambar 3.15 Pembagian Segmen Nonprismatis <i>Arch Rib</i>	51
Gambar 3.16 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 3 (<i>Spring</i>)	53
Gambar 3.17 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 3 (<i>Crown</i>)	53
Gambar 3.18 <i>Nonprismatic Section Input</i> Segmen 1 untuk Model 3	54
Gambar 3.19 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 4 (<i>Spring</i>)	55
Gambar 3.20 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 4 (<i>Crown</i>)	56
Gambar 3.21 <i>Nonprismatic Section Input</i> Segmen 1 untuk Model 4	56
Gambar 3.22 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 5 (<i>Spring</i>)	58
Gambar 3.23 <i>Frame Section Input</i> untuk <i>Arch Rib</i> Model 5 (<i>Crown</i>)	58
Gambar 3.24 <i>Nonprismatic Section Input</i> Segmen 1 untuk Model 5	59
Gambar 3.25 Konfigurasi Beban Truk “T”	61
Gambar 3.26 Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan	63

Gambar 3.27 Luas Ekuivalen Untuk Beban Angin Pada Kendaraan	63
Gambar 3.28 Spektrum Percepatan untuk Analisis Dinamis Gempa Wilayah 3 ..	64
Gambar 3.29 Input <i>Response Spectrum Function</i> untuk Model Struktur	64
Gambar 4.1 Identifikasi dan Penamaan Elemen Struktur	69
Gambar 4.2 Bentuk Lendutan yang Terjadi Pada Model Struktur	71
Gambar 4.3 Perbandingan Lendutan Tiap Variasi Model	71
Gambar 4.4 Arah Reaksi Perletakan Struktur	72
Gambar 4.5 Reaksi Perletakan Struktur Untuk Tiap Kombinasi Pembebanan	73
Gambar 4.6 Grafik Gaya Aksial Maksimum Tiap Kombinasi Pembebanan	74
Gambar 4.7 Grafik Gaya Aksial Maksimum Tiap Kombinasi Pembebanan	75
Gambar 4.8 Diagram Gaya Dalam Aksial Struktur	75
Gambar 4.9 Gaya Aksial pada <i>Hanger</i> untuk Model 1	75
Gambar 4.10 Gaya Aksial pada <i>Hanger</i> untuk Model 2	76
Gambar 4.11 Gaya Aksial pada <i>Hanger</i> untuk Model 3	77
Gambar 4.12 Gaya Aksial pada <i>Hanger</i> untuk Model 4	78
Gambar 4.13 Gaya Aksial pada <i>Hanger</i> untuk Model 5	79
Gambar 4.14 Diagram Gaya Dalam Momen Struktur	76
Gambar 4.15 Momen Lapangan Maksimum <i>Arch</i> untuk Tiap Kombinasi	77
Gambar 4.16 Momen Lapangan Maksimum <i>Tie Beam</i> untuk Tiap Kombinasi	77
Gambar 4.17 Momen Tumpuan Maksimum <i>Arch</i> untuk Tiap Kombinasi	78
Gambar 4.18 Momen Tumpuan Maksimum <i>Tie Beam</i> untuk Tiap Kombinasi	78
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Lendutan pada <i>Arch</i> dan <i>Tie Beam</i>	81
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Lendutan dan Berat Struktur	82
Gambar 4.21 Grafik Besar Gaya Aksial yang Terjadi pada Model Struktur	84
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Gaya Aksial	84
Gambar 4.23 Grafik Besar Momen Lapangan yang Terjadi pada Model	86
Gambar 4.24 Grafik Besar Momen Tumpuan yang Terjadi pada Model	87
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Momen Lapangan	88
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Momen Tumpuan	88
Gambar 4.27 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada <i>Arch</i>	90
Gambar 4.28 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada <i>Arch 2</i>	90
Gambar 4.29 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada <i>Tie 1</i>	91
Gambar 4.30 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada <i>Tie 2</i>	91
Gambar 4.31 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 1	94
Gambar 4.32 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 2	96
Gambar 4.33 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 3	98
Gambar 4.34 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 4	100
Gambar 4.35 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 5	102

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia sebagai makhluk hidup mempunyai kecenderungan untuk bergerak dan mentransportasikan dirinya serta barang-barang kebutuhannya dari suatu tempat ke tempat yang lain. Di waktu lampau, jalur air kerap digunakan selama memungkinkan. Faktor biaya merupakan salah satu pertimbangan penggunaan jenis transportasi ini. Namun, jalur air tidak selamanya mampu mengakomodir kebutuhan transportasi manusia. Transportasi yang cepat dan mudah lewat jalur darat mulai dirasakan sangat penting.

Jembatan adalah suatu struktur yang melintaskan alur jalan melewati rintangan yang ada di bawahnya tanpa menutupi rintangan tersebut. Alur jalan di sini dapat berupa lalu lintas jalan raya, kereta api, pejalan kaki, alur air atau pipa. Sedangkan rintangan dapat berupa sungai, jurang, saluran air (irigasi), jalan raya, rel kereta api, lembah, laut maupun selat. Menurut pengertian tersebut, maka dapat dikatakan bahwa fungsi jembatan sangat penting khususnya sebagai salah satu infrastruktur jaringan transportasi.



Gambar 1.1 Jembatan *Sydney Harbour*, Australia

Sementara itu, ditinjau dari material utama dari struktur jembatan yang umum digunakan, jembatan dapat dibangun dengan menggunakan bermacam-macam jenis material. Pemilihan jenis material dalam setiap bagian dalam jembatan merupakan tanggung jawab utama bagi seorang *bridge engineer*. Pemilihan material ini harus didasarkan pada informasi yang ada di lapangan, mulai dari kondisi daerah konstruksi sampai faktor-faktor alam yang mungkin dialami jembatan. Sejauh ini, material utama yang umum digunakan dalam konstruksi jembatan adalah beton dan baja. Beton mempunyai keuntungan karena kemudahan pekerjaannya (*workability*), ketersediaan dan produksinya mudah dijangkau, serta beton dapat dicetak hampir untuk semua jenis bentuk dan sangat bervariasi kekuatan dan properti yang bisa didapatkan dari campurannya. Namun, dalam beberapa hal, beton menjadi material yang kurang efisien jika dibandingkan dengan baja. Contohnya, untuk konstruksi jembatan dengan bentang yang cukup panjang, beton menjadi material yang tidak ekonomis karena volume yang dibutuhkan semakin banyak yang nantinya berdampak tidak hanya kepada berat dari struktur tersebut namun juga terhadap biaya konstruksi tentunya. Dalam hal ini, penggunaan baja sebagai material utama lebih mempunyai banyak keuntungan.

Dewasa ini, penggunaan baja sebagai material utama konstruksi bangunan telah mulai banyak dipilih. Hal ini menunjukkan bahwa baja memiliki banyak kelebihan-kelebihan yang tidak dimiliki oleh material struktur yang umum digunakan lainnya, seperti beton. Begitu juga dengan jembatan, pemakaian baja sebagai struktur utama lebih dipilih selama beberapa tahun terakhir. Kemudian, jika ditinjau dari segi penampang yang digunakan, belakangan ini mulai banyak digunakan balok dengan penampang non-prismatis terutama untuk bangunan atas jembatan (*superstructure*). Memang, umumnya dalam konstruksi jembatan baja yang telah ada kita lebih sering melihat penggunaan balok prismatis yang digunakan sebagai strukturnya, baik sebagai balok *girder*, maupun elemen penyokong jembatan. Padahal, banyak sekali keuntungan-keuntungan penting yang terdapat dalam penggunaan balok non-prismatis dalam konstruksi jembatan baja.

Salah satu keuntungan yang didapat dari penerapan balok non-prismatis diantaranya karena penyesuaian ukuran dimensi dan bahan terhadap momen-momen dari gaya-gaya geser, diperoleh penghematan yang cukup signifikan dari penggunaan material. Hal ini menyebabkan pengurangan pada besarnya beban mati dan momen-momen oleh beban mati, yang akan memberikan penghematan lebih lanjut dari bahan-bahan lainnya. Keuntungan lain yang didapat dari penggunaan balok berpenampang non-prismatis adalah akan didapat peralihan tidak ekstrem pada titik-titik simpulnya, sehingga jika ditinjau dari tegangan yang terjadi tentunya hal tersebut akan sangat menguntungkan. Selain itu, khusus dalam hal jembatan, faktor estetika juga menjadi hal yang penting untuk diperhatikan. Penggunaan balok non-prismatis ini sebagai elemen struktur jembatan tentunya akan menambah nilai estetika jembatan jika dibandingkan dengan penggunaan balok prismatis biasa. Pada jembatan pelengkung (*arch bridge*), aplikasi penggunaan balok non-prismatis dapat digunakan pada elemen *arch rib*, yaitu struktur pelengkung utama dari jembatan.



Gambar 1.2 Ilustrasi Elemen Balok dengan Penampang Nonprismatis

Dari tinjauan keuntungan di atas, maka penulisan tugas akhir ini dimaksudkan untuk menganalisa beberapa masalah yang ada pada penerapan balok non-prismatis tersebut pada konstruksi jembatan pelengkung (*arch bridge*). Beberapa hal yang ditinjau diantaranya adalah bagaimana pengaruh variasi perubahan penampang balok non-prismatis yang digunakan sebagai *arch rib* atau pelengkung utama dari jembatan terhadap distribusi tegangan dan reaksi yang terjadi. Permodelan dan analisis akan menggunakan bantuan program komputer

yaitu SAP2000 v.11.0.0 *Advanced*. Hasil dari penulisan ini adalah analisis perilaku dan kekuatan jembatan yang disajikan dalam bentuk paparan dan grafis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian dalam latar belakang di atas, maka perumusan masalah yang menjadi bahasan utama dalam tugas akhir ini adalah:

- Bagaimana pengaruh (hubungan) antara variasi perubahan luas penampang balok non-prismatis pada struktur pelengkung utama jembatan (vote) terhadap tegangan dan reaksi perletakan jembatan jika panjang bentang dan elemen lain selain pelengkung utama adalah tetap
- Bagaimana pendistribusian dan konsentrasi dari gaya-gaya dan tegangan yang terjadi pada struktur jembatan untuk masing-masing variasi permodelan
- Efisiensi dari penggunaan material pada model struktur jika dihubungkan dengan berat mati total dari struktur

Semua parameter, metode, analisis serta perhitungan yang ada di dalam tugas akhir ini berdasarkan pada asumsi sistem struktur yang elastis linear (*elastic linear*) dengan analisis gempa dinamis.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Menganalisa pengaruh dari variasi ukuran dan penebalan luas penampang balok non-prismatis yang digunakan sebagai struktur pelengkung utama terhadap perilaku dan kekuatan jembatan pelengkung
- Menganalisa pendistribusian gaya-gaya dan tegangan yang terjadi pada jembatan pelengkung akibat variasi dari pembebanan dan ukuran luas penampang struktur pelengkung
- Membandingkan efisiensi dari model struktur jika dihubungkan dengan berat mati total dari struktur.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- Model struktur yang digunakan adalah jembatan pelengkung dengan pengikat horizontal (*tied arch bridge*) dengan panjang bentang 200 meter dan hanya bagian superstruktur jembatan saja yang akan dimodelkan
- Variasi ukuran dan luas penampang balok pada pelengkung utama dengan perbandingan antara luas penampang pada kaki busur dengan puncak busur (*spring-crown ratio*) adalah 1:1, 1:1.2, 1:1.25, 1.25:1, dan 1.2:1
- Perbandingan antara tinggi puncak busur dengan panjang bentang jembatan (*rise to span ratio*) adalah 1:5, sehingga didapat jarak bersih dari kaki pelengkung hingga puncak busur adalah 40 meter
- Material yang digunakan untuk pelengkung utama (*arch rib*) dan balok pengikat (*tie beam*) adalah baja dengan mutu BJ 41 ($f_y = 250$ MPa, $f_u = 410$ MPa) dan untuk hanger jembatan adalah *cable* dengan tipe SS60 ($f_y = 990,566$ MPa, $f_u = 1632,075$ MPa)
- Pembebanan yang digunakan di dalam permodelan adalah pembebanan gravitasi (mati), pembebanan lalu lintas (dengan beban merata BTR hanya diletakan pada tengah bentang), pembebanan hidup, pembebanan angin, dan pembebanan gempa
- Analisis untuk pembebanan gempa menggunakan analisis dinamis (metode respon spektrum) karena tipe jembatan termasuk dalam jembatan khusus
- Metode yang digunakan dalam perhitungan adalah metode FEM / MEH (*Finite Element Method* - Metode Elemen Hingga) dengan asumsi perilaku struktur yang linear elastis.

1.5 Hipotesis Penelitian

Tied arch bridge memiliki komponen *arch rib* atau pelengkung utama sebagai penopang gaya dominan (aksial dan lentur) dalam strukturnya dan komponen *tie beam* yang akan menahan gaya tarik yang terjadi pada kaki busur dan sebagian momen yang terjadi pada struktur. Namun, distribusi tegangan yang terjadi di sepanjang pelengkung akan bervariasi terhadap koordinat dan jenis

pembebanannya. Dalam studi ini, pelengkung utama jembatan akan didesain dan divariasikan perubahan luas penampangnya dengan tujuan mendapatkan konfigurasi yang lebih efisien dan sesuai dengan distribusi tegangan yang terjadi. Hipotesis awal yang digunakan adalah bahwa dengan semakin besar luas penampang profil yang digunakan maka tegangan yang terjadi akan semakin kecil, sehingga dengan menyesuaikan luas penampang profil dengan tegangan yang terjadi (nonprismatis) akan diperoleh suatu struktur yang lebih efisien dan optimal.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- **BAB I : PENDAHULUAN**
Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis penelitian serta sistematika penulisan laporan.
- **BAB II : DASAR TEORI**
Bab ini memberikan penjelasan dasar teori dari penelitian yang akan dilakukan dan berdasarkan pada teori-teori yang sudah ada sebelumnya atau penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya.
- **BAB III : METODOLOGI**
Bab ini berisi tentang uraian mengenai prosedur penelitian, permodelan struktur, diagram alir metode penelitian, dan bagaimana pengaplikasian modelisasi struktur tersebut ke dalam *software*.
- **BAB IV : HASIL DAN ANALISIS**
Bab ini berisi tentang hasil dari *running* model struktur untuk kemudian dianalisis sesuai dengan rumusan dan tujuan awal dari studi.
- **BAB V : KESIMPULAN**
Bab ini berisi tentang rangkuman dari seluruh isi tugas akhir dan pengambilan kesimpulan mengenai hasil studi yang telah dilakukan dan dilakukan perbandingan dengan hipotesis awal yang telah dibuat untuk mengetahui keabsahan dari hipotesis tersebut.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Definisi Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung (*arch bridge*) merupakan salah satu tipe struktur jembatan yang umum digunakan dalam dunia konstruksi jembatan. Bahkan, sejarah mencatat bahwa tipe jembatan yang memanfaatkan bentuk dan sifat distribusi gaya pada bentuk busur adalah salah satu jenis jembatan tertua yang pernah dibuat oleh umat manusia (C.P. Heins, 1979). Sebagai bukti, banyak diantara jembatan-jembatan bertipe pelengkung ini yang merupakan peninggalan dari peradaban manusia yang telah bertahan selama berabad-abad lalu dan masih kokoh berdiri hingga saat ini. Hal ini juga menegaskan bagaimana kekuatan dan kekokohan dari jembatan tipe ini sangatlah memadai bagi fungsi dari jembatan itu sendiri. Selain dari segi kekuatannya yang bersifat *durable*, jenis jembatan semacam ini juga memberi nilai tambah bagi keberadaannya karena diakui bahwa jembatan yang membentuk busur sebagai bentuk strukturnya mempunyai nilai estetika dan keindahan yang tidak dimiliki oleh jenis jembatan lain. Tentunya, faktor estetika dan nilai seni dari *display* suatu jembatan akan semakin menegaskan karakter serta dapat juga menjadi sebuah *landmark* bagi daerah dimana jembatan tersebut dibangun.

Jembatan pelengkung adalah struktur dengan bentuk lengkung yang ditopang abutmen di kedua sisinya. Desain pelengkung secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak kesamping. Ketika menahan beban akibat berat sendiri dan beban lalu lintas, setiap bagian pelengkung menerima gaya tekan, karena alasan itulah jembatan pelengkung harus terdiri dari material yang tahan terhadap gaya tekan. Walaupun pelengkung tidak mengalami gaya tarik yang membuat pelengkung lebih efisien dari jembatan balok, namun kekuatan struktur jembatan pelengkung juga masih dibatasi. Misal, untuk jembatan yang struktur utamanya diatas lantai kendaraan, semakin besar sudut kelengkungannya (semakin tinggi lengkungannya) maka pengaruh gaya

tekan akan semakin kecil, namun itu berarti bentangnya menjadi lebih kecil, jika diinginkan membuat jembatan pelengkung dengan bentang panjang, maka sudut pelengkung harus diperkecil sehingga gaya tekanpun menjadi lebih besar dan diperlukan abutmen yang lebih besar untuk menahan gaya horizontal tersebut.

Umumnya, jembatan pelengkung yang dibangun di masa lampau menggunakan material utama dari *masonry* (batuan yang disusun sedemikian rupa) atau beton. Hal ini terkait dengan perilaku dari struktur jembatan ini yang uniknya membuat seluruh elemen penahan beban hanya mendapat tegangan gaya tekan saja tanpa adanya gaya tarik. Bentuk melengkung dari struktur memungkinkan berat sendiri struktur disalurkan ke pondasi sebagai gaya normal tekan tanpa lenturan. Hal ini sangat penting untuk material pasangan batu dan beton yang memiliki kuat tekan relatif sangat tinggi dibandingkan kuat tariknya., bahan tersebut juga memiliki kekakuan yang sangat besar sehingga faktor tekukan akibat gaya aksial tekan tidak menjadi masalah utama. Oleh karena itu, material-material yang kuat terhadap gaya tekan namun kurang mampu menahan gaya tarik seperti beton sangatlah cocok untuk digunakan. Desainnya pun sebenarnya tergolong sederhana untuk jenis jembatan *masonry arch bridge* dimana material batuan yang digunakan disusun sedemikian rupa hingga membentuk busur yang simetris pada kedua sisinya. Kemudian, pada puncak dari busur tersebut atau dengan kata lain pertemuan dari kedua sisi terdapat batu pengunci atau *keystone*. Disebut demikian dikarenakan sebelum batu puncak ini diletakkan, maka struktur tersebut tidak akan memberikan respon seperti yang telah dipaparkan di atas yaitu struktur yang hanya mempunyai gaya tekan saja sebagai tegangannya.

Model jembatan pelengkung sebenarnya lebih efektif jika digunakan pada bentang dengan jarak antara 50 – 300 meter untuk jembatan pelengkung beton dan bentang 100 – 500 meter untuk jembatan pelengkung baja. Pertimbangan tersebut didasarkan pada efisiensi dan kapasitas dari jembatan itu sendiri, karena apabila digunakan untuk bentang yang lebih pendek maka biaya pelaksanaan jembatan akan menjadi tidak ekonomis, sedangkan jika digunakan pada bentang yang lebih panjang, maka efektivitas serta proses pengerjaan dari jembatan akan menjadi kendala bagi kegiatan konstruksinya. Efisiensi pemakaian struktur pelengkung akan lebih tinggi lagi jika lokasinya tepat seperti lembah

ataupun sungai yang dalam dimana pondasi pelengkung terletak pada tanah keras. Masuk akal apabila dikatakan bahwa jembatan pelengkung adalah salah satu jembatan paling sederhana karena jika kita membangun jembatan pelengkung di atas tanah keras kita hanya memerlukan pelengkung tanpa memerlukan bagian yang lain. Tanah keras tersebut bisa berperan sebagai abutmen dan kita bisa menempatkan tanah atau batu disampingnya dengan sudut yang tepat. Pada tanah yang kurang keras kita perlu menyediakan abutmen yang lebih besar untuk menahan gaya horizontal. Kegunaan dari abutmen ini adalah untuk membuat tegangan yang terjadi akibat dorongan pelengkung menurun sampai pada titik yang bisa dipikul oleh tanah karena tanah mampu menerima tekan dan tanah tidak akan bergerak lagi (selama tegangan tanah lebih besar dari tegangan yang terjadi), biasanya juga ada gaya geser yang bekerja di daerah dekat abutmen.

- **Kelebihan Jembatan Pelengkung**

- Keseluruhan bagian pelengkung menerima tekan, dan gaya tekan ini ditransfer ke abutmen dan ditahan oleh tegangan tanah dibawah pelengkung. Tanpa gaya tarik yang diterima oleh pelengkung memungkinkan jembatan pelengkung bisa dibuat lebih panjang dari jembatan balok biasa dan bisa menggunakan material yang tidak mampu menerima tarik dengan baik seperti beton.
- Bentuk jembatan pelengkung adalah inovasi dari peradaban manusia yang memiliki nilai estetika tinggi namun memiliki struktur yang sangat kuat yang terbukti dengan jembatan pelengkung Romawi kuno yang masih berdiri sampai sekarang.

- **Kekurangan Jembatan Pelengkung**

- Konstruksi jembatan pelengkung lebih sulit daripada jembatan balok biasa karena pembangunan jembatan ini memerlukan metode pelaksanaan yang cukup rumit karena struktur belum dikatakan selesai sebelum kedua bentang bertemu di tengah-tengah. Salah satu tekniknya dengan membuat *scaffolding* dibawah bentang untuk menopang struktur sampai bertemu dipuncak.

Jembatan pelengkung merupakan jenis jembatan yang sangat kompetitif jika dibandingkan dengan tipe jembatan truss untuk bentang pada kisaran 275 – 300 meter. Jika dari kedua tipe jembatan tersebut dalam bentang yang sama diperoleh biaya konstruksi yang sama besar atau hanya sedikit lebih mahal untuk jembatan pelengkung, maka dilihat dari segi estetika jembatan pelengkung akan lebih unggul untuk dipilih. Namun, untuk bentang yang jauh lebih panjang lagi, tipe jembatan cable stayed atau suspension akan lebih ekonomis dan efisien untuk digunakan. Jembatan pelengkung memiliki kekurangan besar dalam proses konstruksinya yaitu tie girder haruslah dikonstruksi terlebih dahulu sebelum bagian arch rib dapat berfungsi.

Tabel 2.1 Tipe Jembatan dan Aplikasi Bentangnya

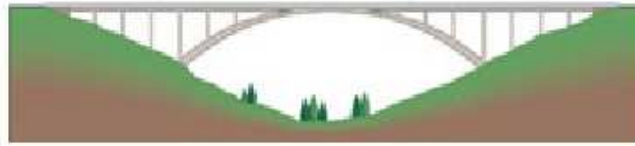
Bridge Type	Span Range (m)	Leading Bridge and Span Length
Prestressed concrete girder	10 – 300	Stelmauder, Norway, 301 m
Steel I/box girder	15 – 376	Sfalava Bridge, Italy, 376 m
Steel truss	40 – 550	Quebec, Canada, 549 m
Steel arch	50 – 550	Shanghai Lupu, China, 550 m
Concrete arch	40 – 425	Wanxian, China, 425 m (steel tube filled concrete)
Cable stayed	110 – 1100	Sutong, China, 1088 m
Suspension	150 – 2000	Akashi Kaikyo, Japan, 1991 m

(Sumber : *Structural Steel Designer's Handbook*, Brockenbrough, 1999)

2.2 Tipe Dan Jenis Jembatan Pelengkung

Jika kita berbicara tentang jenis, tipe, ataupun klasifikasi dari jembatan pelengkung, maka akan didapatkan banyak sekali alternatif yang bisa divariasikan di dalam desain jembatan pelengkung. *Deck arch* adalah salah satu tipe jembatan pelengkung dimana *deck* jembatan yaitu bagian yang dilalui oleh lalu lintas transportasi berada pada bagian atas dari struktur lengkung jembatan (gambar 2.1). Tipe *deck arch* dikenal juga sebagai jembatan pelengkung sejati (*true/perfect arch*). Hal ini dikarenakan struktur lengkung dari jembatan adalah satu-satunya penerima gaya luar yang memanfaatkan bentuk busur sebagai pendistribusi

gayanya. Fungsi dari bagian *deck* selain sebagai tempat lalu lintas lewat juga sekaligus berperan sebagai pengaku (*stiffener*) bagi struktur jembatan.



Gambar 2.1 *Deck Arch Bridge*

Half-through arch adalah tipe jembatan pelengkung dimana *deck* jembatan berada di antara puncak busur dan tumpuan busur atau abutmen. Pada tipe jembatan pelengkung ini, *deck* jembatan umumnya ditahan oleh *hanger* yang digantung di sepanjang lengkung jembatan.



Gambar 2.2 *Half-through Arch Bridge*

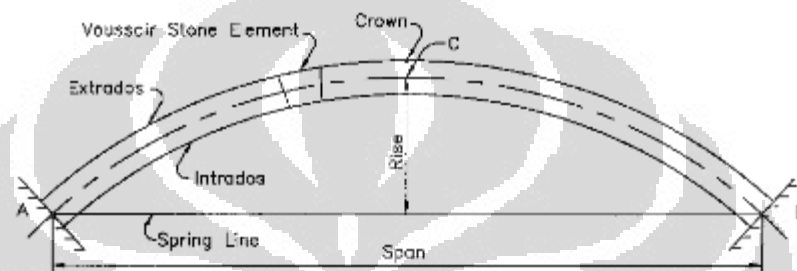
Through arch adalah tipe jembatan pelengkung dimana *deck* jembatan berada di antara abutmen, dan sekaligus bertindak sebagai *tie beam* yang berfungsi mendistribusikan gaya tarik yang terjadi pada abutmen sebagai akibat dari distribusi gaya dari lengkung jembatan. Seperti halnya pada tipe *half-through arch*, *deck* jembatan umumnya digantung dengan *hanger* pada *arch rib*, ataupun dihubungkan dengan batang-batang horizontal diantaranya.



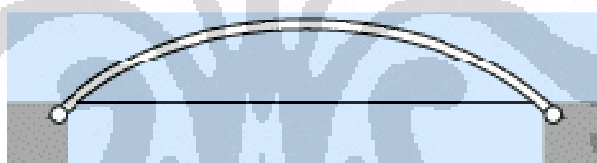
Gambar 2.3 *Through Arch Bridge*

Pengklasifikasian lebih jauh untuk jembatan pelengkung lebih ditinjau dari segi artikulasi dan tumpuan dari busur jembatan. *Fixed arch*, (gambar 2.4) memiliki perletakan jepit pada kedua sisinya sehingga tidak memungkinkan adanya rotasi sama sekali pada tumpuannya. Tipe jembatan ini merupakan struktur statis tak tentu (*statically indeterminate*) dengan derajat ketidapastian tingkat tiga. Sementara itu, apabila jembatan pelengkung memiliki perletakan

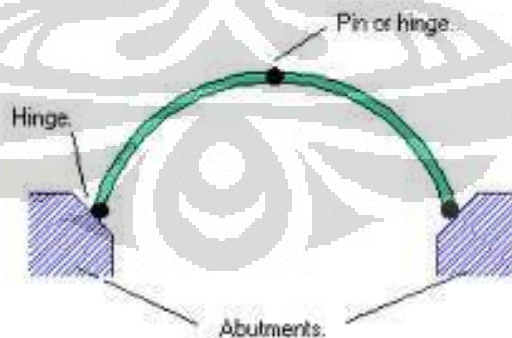
sendi pada kedua sisinya, maka jembatan tersebut diklasifikasikan sebagai *two-hinged arch* (gambar 2.5) yang memungkinkan terjadinya rotasi pada kedua tumpuannya sehingga ditinjau sebagai struktur statis tak tentu dengan derajat ketidakpastian tingkat satu. Kemudian, jika jembatan pelengkung terdiri atas sendi pada kedua tumpuannya ditambah dengan engsel pada puncak busurnya, maka jembatan tersebut diklasifikasikan sebagai *three-hinged arch* (gambar 2.6) dan merupakan sebuah sistem dengan struktur statis tertentu (*statically determinate*).



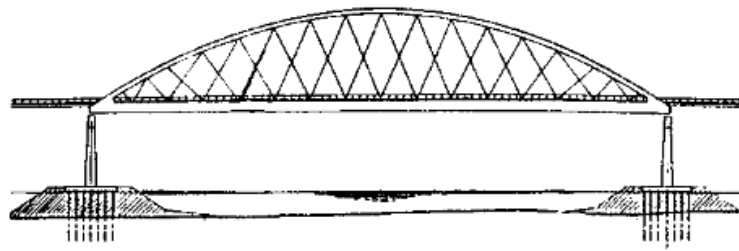
Gambar 2.4 Tipe Busur *Fixed Arch*



Gambar 2.5 Tipe Busur *Two Hinged Arch*



Gambar 2.6 Tipe Busur *Three Hinged Arch*



Gambar 2.7 *Tied Arch Bridge*

Sebuah jembatan pelengkung tipe *tied arch* (gambar 2.7), memiliki elemen horizontal pada bagian dasarnya yang sekaligus berfungsi sebagai *deck* jembatan, dimana fungsi utamanya adalah untuk menerima gaya tarik yang terjadi pada struktur. Balok pengikat atau *tension tie* ini umumnya menggunakan *steel plate girder* atau *steel box girder*, tergantung pada kekakuan yang ingin diperoleh dari strukturnya, dan didesain untuk dapat menahan beban hidup yang bekerja pada jembatan. Hubungan antara *arch rib* dengan *tie beam* bisa digambarkan sebagai berikut, *tie beam* yang lemah akan membutuhkan *arch rib* yang semakin besar derajat kelengkungan dan kekakuannya, sedangkan jika *arch rib* terlalu tipis maka diperlukan *tie beam* dengan penampang dan kekakuan besar. Karena keduanya merupakan elemen yang saling berhubungan satu sama lain, maka dalam desain jembatan tipe ini dapat divariasikan ukuran dan spesifikasi dari masing-masing elemen tersebut untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

2.3 Desain Dan Struktur Jembatan Pelengkung

Secara garis besar, komponen jembatan pelengkung terdiri atas dua bagian utama, yaitu *superstructure* dan *substructure*. Sistem *superstructure* (superstruktur) adalah semua komponen struktur jembatan yang berada di atas perletakkannya. Sistem superstruktur ini dibagi lagi menjadi dua bagian yakni komponen utama (*primary members*) dan komponen sekunder (*secondary members*). Komponen utama berfungsi menyalurkan beban dan menahan *flexure*.

Umumnya, komponen utama ini disebut juga dengan *girder* atau *stringer*. Sementara itu, komponen sekunder umumnya adalah bagian yang memberi support tambahan bagi komponen utama dalam menahan gaya lateral yang terjadi dan juga memberi kekakuan bagi sistem struktur itu. Komponen sekunder ini umumnya disebut juga dengan *lateral bracing*.

Sistem substruktur (*substructure*) adalah semua elemen yang menerima distribusi beban dari superstruktur dan menyalurkannya ke tumpuan. Komponen utamanya antara lain adalah, *abutments*, *piers*, dan *bearings*.

- *Abutments*, adalah struktur jembatan yang berfungsi sebagai perletakkan dan menerima distribusi beban dari superstruktur ke tanah. Pada *tied arch bridge*, dimana perletakkan akan mengalami gaya tegangan yang cukup besar dari struktur *arch rib* nya, maka diperlukan pertimbangan untuk disediakan struktur tanah perletakkan yang cukup kuat untuk menahan gaya-gaya tersebut.
- *Piers*, adalah struktur penyokong yang menopang superstruktur di atas abutmen. Jadi dengan kata lain *piers* dapat diibaratkan kolom yang menopang beban di atasnya dengan abutmen sebagai pondasinya. Untuk sistem *tied arch bridge*, *piers* tidak diperlukan karena sistem superstruktur akan langsung ditopang oleh abutmen dengan *bearing*.
- *Bearings*, adalah sistem mekanis yang menyalurkan beban vertikal dari superstruktur ke substruktur. Tipe *bearings* yang digunakan akan menentukan jenis perletakkan pada struktur. *Bearings* yang mengizinkan terjadinya rotasi dan translasi disebut *translation bearings*, sedangkan *bearings* yang hanya mengizinkan terjadinya rotasi saja disebut *fixed bearings*.

Sementara itu, untuk komponen superstruktur jembatan pelengkung, umumnya terdiri atas *arch rib*, *bracing*, *stringers*, *hangers*, *floor beam*, *deck slab*, dan *tie girder*. Khusus untuk komponen *tie girder*, merupakan elemen yang hanya terdapat pada tipe *tied arch bridge* dimana diantara abutmen pada kedua sisinya dihubungkan dengan balok pengikat ini atau *tie girder*.

- *Arch rib*, merupakan komponen utama dari jembatan pelengkung yang berbentuk pelengkung itu sendiri. Struktur ini adalah bagian yang memberikan perilaku unik pada jembatan pelengkung yaitu gaya yang terjadi pada komponen ini hanyalah gaya aksial tekan dan momen yang akan langsung di tahan oleh abutmen pada kedua sisinya. Untuk menghubungkan *arch rib* dengan *deck* jembatan umumnya digunakan *hangers*. Dengan seakin majunya teknologi dan perkembangan zaman,

banyak diantara jembatan pelengkung yang dibangun beberapa tahun belakangan ini yang memiliki bentang busur lebih dari 300 meter. Hal ini dimungkinkan dengan adanya material yang kompeten dalam menahan gaya yang terjadi pada bentang tersebut. Umumnya, komponen yang banyak digunakan sebagai *arch rib* adalah *box girder* dan *plate girder*. *Box girder* mempunyai keunggulan dibanding *plate girder* dimana komponennya memiliki kekakuan torsional yang baik sehingga lebih efisien dan ekonomis karena tidak memerlukan *bracing* untuk beberapa kondisi yang memungkinkan dan memenuhi persyaratan pembebanan yang ada.

- *Bracing*, merupakan elemen yang berfungsi menambah kekakuan sistem ataupun menahan gaya lateral dan deformasi yang terjadi pada struktur. Jenis *bracing* yang umum digunakan diantaranya dapat berupa *cross bracing* atau *k bracing*. *Bracing* yang berfungsi menahan gaya lateral yang terjadi pada struktur disebut dengan *lateral bracing*, sedangkan yang berfungsi mencegah pergoyangan yang terjadi pada struktur disebut *sway bracing*.
- *Stringers*, merupakan komponen jembatan yang menopang beban langsung dari *deck*. Profil yang umum digunakan sebagai *stringer* adalah *plate girder*.
- *Floor beam*, adalah elemen utama yang menahan beban *deck* dan tempat dimana *stringers* menumpu. Sama seperti *stringers*, profil yang umumnya digunakan pada *floor beam* adalah *plate girder*.
- *Hangers*, merupakan elemen yang menghubungkan antara *arch rib* dengan *tie girder* ataupun *floor beam*. *Hangers* harus didesain agar dapat menahan beban mati dan beban hidup yang dialami oleh *deck*. Oleh karena itu, komponennya harus dapat memikul gaya tarik yang besar sehingga material yang umum digunakan sebagai *hangers* adalah tali atau kabel (*wire rope* atau *strand*). Meskipun tujuan utamanya adalah untuk menahan beban tarik yang besar, namun adakalanya komponen harus didesain dalam menahan gaya luar yang mungkin menyebabkan gaya tekan seperti

gaya angin misalnya. Dalam kasus ini, komponen tersebut harus diberi ijin untuk terjadi tekuk (*buckling*).

- *Deck slab*, merupakan bagian jembatan dimana lalu lintas dan beban ditahan langsung. Beban mati eksternal dan beban hidup umumnya bekerja pada komponen ini. *Deck slab* juga dapat berfungsi sebagai *bracing* pada *girder* apabila material yang digunakan cukup *rigid*.

Kemudian, beberapa aspek penting yang perlu menjadi pertimbangan pada saat pemilihan dan mendesain jembatan pelengkung adalah sebagai berikut.

Kondisi Pondasi. Jika jembatan dirancang untuk dilalui oleh lalu lintas di atas lembah atau rintangan curam, jembatan pelengkung dapat menjadi suatu solusi yang ekonomis dan memungkinkan. Kondisi tanah yang curam mengindikasikan bahwa kondisi pondasi yang ada haruslah efisien dan ekonomis namun tetap mampu menahan beban yang ada. Umumnya, jenis jembatan yang sesuai untuk diterapkan pada kondisi ini adalah jenis *deck arch*. Namun, masih ada pertimbangan lain yang tetap harus diperhatikan misalnya jarak bersih *deck* dengan permukaan air. Untuk kondisi ini, maka jenis jembatan *half-through* akan lebih memungkinkan untuk perencanaannya.

Konstruksi *Tied Arch*. Pada lokasi dimana pondasi dalam diperlukan untuk menahan gaya reaksi yang besar dari jembatan, tipe jembatan *true arch*, akan menjadi tidak efisien karena perilakunya yang menyalurkan tegangan langsung ke ujung perletakan. Dalam kasus ini, alternatif yang mungkin digunakan adalah menggunakan tipe jembatan *tied arch*, dimana kaki-kaki busur jembatan dihubungkan oleh suatu balok pengikat (*tie girder*) yang ikut memikul gaya reaksi yang terjadi. Tipe jembatan ini umumnya juga memberikan nilai ekonomi dan estetika yang baik.

Panjang Bentang. Pada umumnya, penentuan untuk *layout* terbaik untuk suatu jembatan dimulai dari bentang terpendek yang memungkinkan. Hal ini dikarenakan biaya konstruksi elemen superstruktur akan meningkat sebanding dengan panjang bentang yang ada. Dengan kemajuan teknologi dan ketersediaan material yang ada di masa sekarang, jembatan pelengkung masih dalam batas ekonomis untuk bentang antara 50 – 500 meter.

Truss atau Solid Rib. Kebanyakan dari jembatan pelengkung dengan bentang di atas 100 meter dibangun dengan menggunakan *solid rib* sebagai elemen busurnya. Namun, penggunaan *truss rib* juga mungkin menjadi lebih ekonomis untuk digunakan pada bentang yang lebih pendek. Jarak atau kondisi lokasi konstruksi juga dapat mempengaruhi faktor ekonomis dari konstruksi jembatan itu sendiri.

Artikulasi Busur. Untuk jenis *true arch*, pilihan jenis artikulasi busur akan terbatas. Umumnya, jenis perletakan *two-hinged* akan dipilih menimbang gaya dan distribusi tegangan yang ada. *Tied arch* juga secara esensi berperilaku sebagai *two-hinged* terlepas dari jenis sambungan yang digunakan antara pelengkung dengan balok pengikatnya.

Estetika. Untuk jenis jembatan pelengkung, *cable stayed*, dan *suspension*, keunggulan yang diperoleh dari *layout* jembatan adalah struktur yang kokoh namun dengan tampilan yang simpel, rapi, dan indah. Alasan inilah yang membuat jenis jembatan ini dipilih untuk bentang menengah hingga panjang.

Bentuk Pelengkung. Untuk jenis *solid-ribbed*, desainer jembatan akan dihadapkan pada permasalahan apakah struktur pelengkung yang digunakan merupakan suatu kesatuan elemen yang berbentuk busur atau merupakan suatu segmental yang tersusun atas elemen-elemen yang lebih kecil kemudian disusun menjadi suatu bentuk pelengkung tersebut. Namun, panjang minimal per segmen dibatasi pada $1/15$ dari panjang bentangnya. Pertimbangan lain adalah penentuan sifat penampang yang digunakan, apakah penampang yang konstan dari kaki sampai dengan puncaknya, ataukah yang bervariasi antara kaki busur dengan puncaknya.

Rise to Span Ratio (h/l). Merupakan perbandingan antara tinggi busur dengan panjang bentang jembatan. Pada umumnya, rasio yang optimal untuk digunakan untuk jembatan pelengkung berkisar antara $1/6 - 1/5$. Nilai dari rasio ini erat kaitannya dengan besar momen dan konsentrasi gaya-gaya yang terjadi pada jembatan.

Depth to Span Ratio. Adalah perbandingan antara ketebalan penampang dengan panjang bentang jembatan. Untuk *tied arch bridge*, ketebalan *tie beam* biasanya cukup besar, karena *tie beam* akan menerima momen dan gaya tarik

yang besar dari beban diterima struktur. Nilai *depth to span ratio* untuk struktur seperti ini berkisar antara 1/190 sampai 1/140.

2.4 Pembebanan Pada Jembatan

Di dalam mendesain dan merancang suatu bangunan ataupun jembatan, tentunya ada faktor penting yang harus diperhitungkan yaitu pembebanan. Pembebanan merupakan segala jenis beban atau gaya yang harus ditahan oleh struktur dan harus diperhitungkan serta dibatasi. Di Indonesia, peraturan atau standar yang mengatur tentang pedoman perhitungan dan pembatasan pembebanan dirangkum dalam Standar Nasional Indonesia. Untuk pembebanan bagi jembatan sendiri, peraturan yang telah dibuat oleh Departemen Pekerjaan Umum adalah Rancangan Standar Nasional Indonesia mengenai Standar Pembebanan untuk Jembatan tahun 2005 (RSNI T-02-2005). Untuk pedoman lain seperti misalnya perilaku dan perhitungan baja untuk struktur jembatan yang telah ada juga dapat mengacu pada standar yang dibuat oleh AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Pembebanan yang digunakan di dalam analisis perhitungan model struktur antara lain adalah pembebanan mati / gravitasi, pembebanan lalu lintas, pembebanan hidup, pembebanan angin, dan pembebanan gempa.

2.4.1 Beban Tetap

Beban tetap didefinisikan sebagai semua beban yang akan selalu ditahan oleh struktur dalam keadaan apapun. Beban tetap pada jembatan terdiri atas bagian struktural dan non-struktural.

2.4.1.1 Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat dari profil dan elemen struktural dan non-struktural yang direncanakan sejak awal dan tidak akan mengalami perubahan yang signifikan selama masa layan jembatan kecuali diadakan perubahan-perubahan terhadap struktural jembatan. Oleh karena itu, beban untuk berat sendiri ini nilainya dianggap selalu tetap.

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati

No	Nama Bahan	Berat / Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2240
2	Aspal beton	22,0	2240
3	Beton	22,0 – 25,0	2240 – 2560
4	Beton bertulang	23,5 – 25,5	2400 – 2600
5	Baja	77,0	7850

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan, dengan perubahan dan penyesuaian)

2.4.1.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan diasumsikan sebagai semua beban non-struktural yang ditahan oleh struktur jembatan dan bukan merupakan kesatuan bagian dari struktur itu sendiri sehingga beratnya dapat berubah pada suatu waktu selama masa layan jembatan. Perubahan tersebut bisa akibat penggantian elemennya ataupun dikarenakan perubahan dari kualitas material tersebut.

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN				
		$S_{i,MS}$		$U_{i,MS}$	
				Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, aluminium	1,0		1,1	0,9
	Beton pracetak	1,0		1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0		1,3	0,75
	Kayu	1,0		1,4	0,7

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	$S_{0}MA_{0}$		$U_{0}MA_{0}$	
Tetap	Keadaan umum	1,0 (1)	Biasa	0,7
	Keadaan khusus	1,0	1,4	0,8

CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

2.4.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". 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. Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang harganya telah diturunkan atau dinaikkan mungkin dapat digunakan.

2.4.2.1 Lajur Lalu Lintas rencana

Lajur lalu lintas Rencana harus mempunyai lebar 2,75 m. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam tabel berikut :

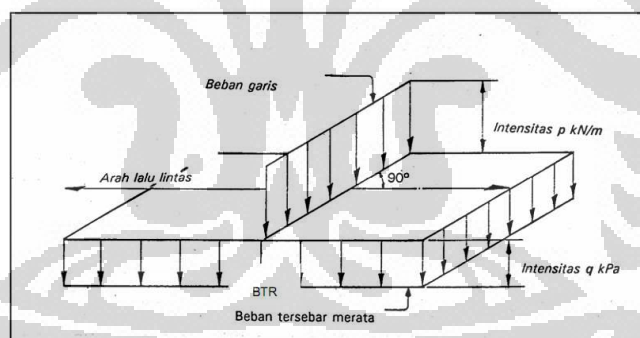
Tabel 2.5 Jumlah Jalur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (m) (2)	Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana (n)
Satu lajur	4,0 - 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 - 8,25 11,3 - 15,0	2 (3) 4
Banyak arah	8,25 - 11,25	3
	11,3 - 15,0	4
	15,1 - 18,75	5
	18,8 - 22,5	6
CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh Instansi yang berwenang.		
CATATAN (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah.		
CATATAN (3) Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6,0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyalip.		

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

2.4.2.2 Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.8 Beban Lajur "D"

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut :

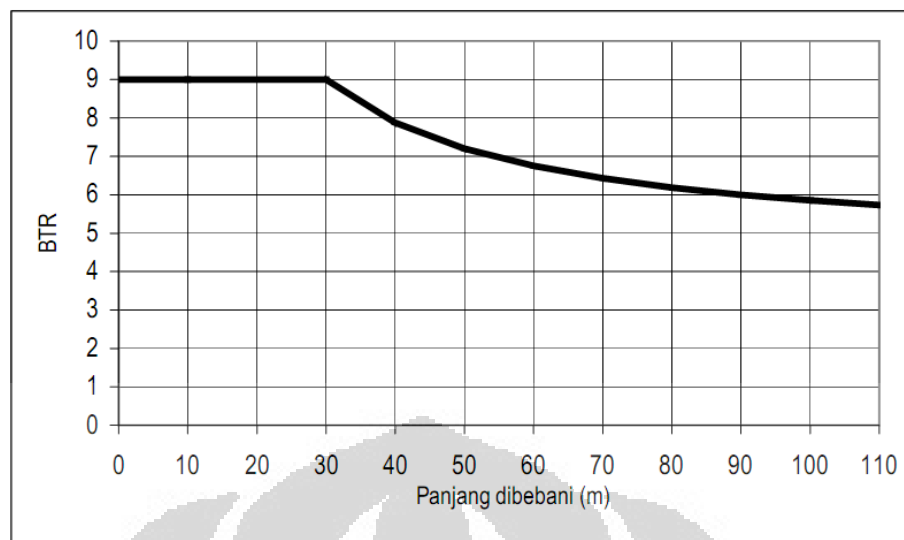
$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

dengan pengertian :

- q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan
- L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Hubungan ini bisa dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.9 BTR vs Panjang Dibebani

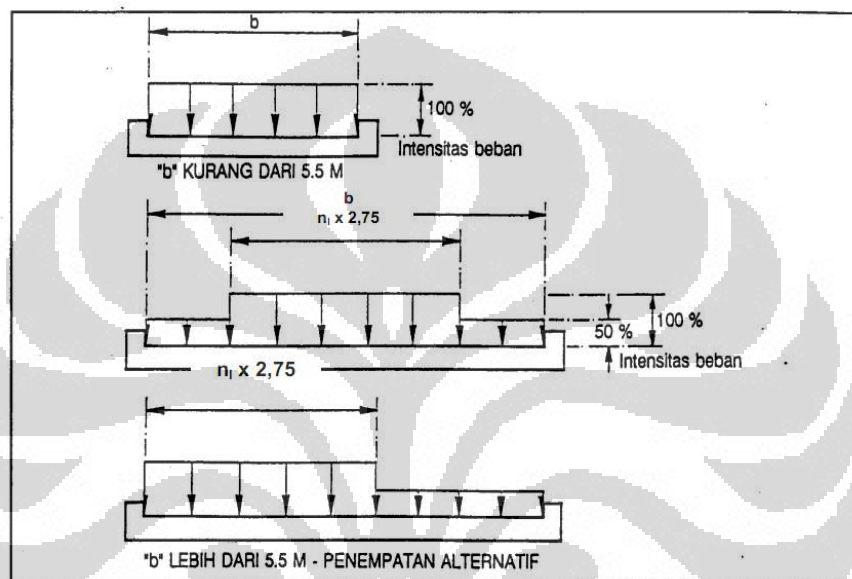
Panjang yang dibebani L adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan. BTR mungkin harus dipecah menjadi panjang-panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Dalam hal ini L adalah jumlah dari masing-masing panjang beban-beban yang dipecah.

Beban garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya. Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" pada arah melintang harus sama. Penempatan beban ini dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

- bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 %.
- apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_l) yang berdekatan, dengan intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_l \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat

ekuivalen sebesar $n_1 \times 2,75$ p kN, kedua-duanya bekerja berupa strip pada jalur selebar $n_1 \times 2,75$ m.

- lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban "D" tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50 %. Susunan pembebanan ini bisa dilihat pada gambar berikut :



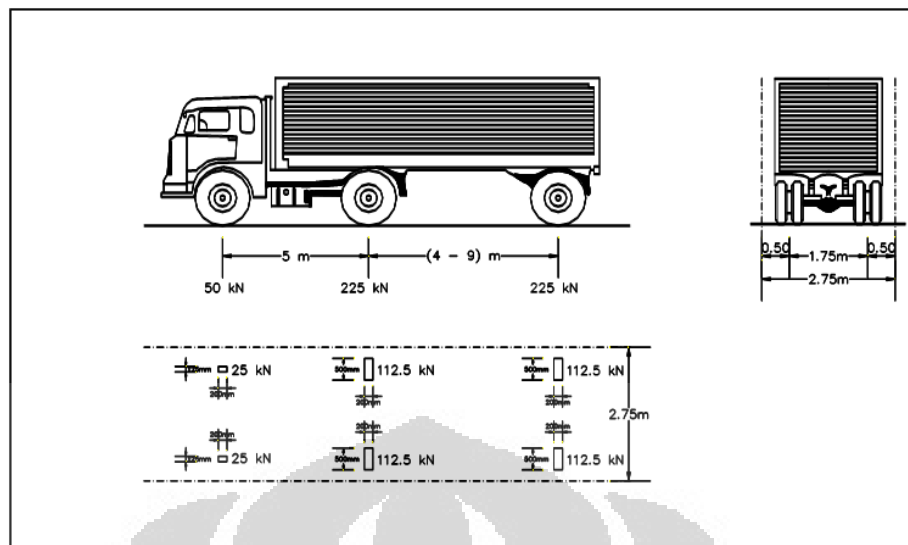
Gambar 2.10 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

- luas jalur yang ditempati median yang dimaksud dalam Pasal ini harus dianggap bagian jalur dan dibebani dengan beban yang sesuai, kecuali apabila median tersebut terbuat dari penghalang lalu lintas yang tetap

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan dengan mempertimbangkan beban lajur "D" tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

2.4.2.3 Pembebanan Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana.

Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan ditengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam gambar 2.11. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam poin sebelumnya, akan tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan dimana saja pada lajur jembatan. Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan dengan:

- menyebar beban truk tunggal "T" pada balok memanjang sesuai dengan faktor yang diberikan pada tabel berikut :
- momen lentur ultimit rencana akibat pembebanan truk "T" yang diberikan dapat digunakan untuk pelat lantai yang membentangi gelagar atau balok dalam arah melintang dengan bentang antara 0,6 dan 7,4 m

- bentang efektif S diambil untuk pelat lantai yang bersatu dengan balok atau dinding (tanpa peninggian), maka S = bentang bersih, sedangkan untuk pelat lantai yang didukung pada gelagar dari bahan berbeda atau tidak dicor menjadi kesatuan, S = bentang bersih + setengah lebar dudukan tumpuan.

Tabel 2.6 Faktor Distribusi untuk Pembebanan Truk "T"

Jenis bangunan atas	Jembatan jalur tunggal	Jembatan jalur majemuk
Pelat lantai beton di atas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ balok baja I atau balok beton pratekan ▪ balok beton bertulang T ▪ balok kayu 	$S/4,2$ (bila $S > 3,0$ m lihat Catatan 1)	$S/3,4$ (bila $S > 4,3$ m lihat Catatan 1)
	$S/4,0$ (bila $S > 1,8$ m lihat Catatan 1)	$S/3,6$ (bila $S > 3,0$ m lihat Catatan 1)
	$S/4,8$ (bila $S > 3,7$ m lihat Catatan 1)	$S/4,2$ (bila $S > 4,9$ m lihat Catatan 1)
Lantai papan kayu	$S/2,4$	$S/2,2$
Lantai baja gelombang tebal 50 mm atau lebih	$S/3,3$	$S/2,7$
Kisi-kisi baja: <ul style="list-style-type: none"> ▪ kurang dari tebal 100 mm ▪ tebal 100 mm atau lebih 	$S/2,6$	$S/2,4$
	$S/3,6$ (bila $S > 3,6$ m lihat Catatan 1)	$S/3,0$ (bila $S > 3,2$ m lihat Catatan 1)
CATATAN 1	Dalam hal ini, beban pada tiap balok memanjang adalah reaksi beban roda dengan menganggap lantai antara gelagar sebagai balok sederhana.	
CATATAN 2	Geser balok dihitung untuk beban roda dengan reaksi $2S$ yang disebarkan oleh S /faktor $\geq 0,5$.	
CATATAN 3	S adalah jarak rata-rata antara balok memanjang (m).	

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

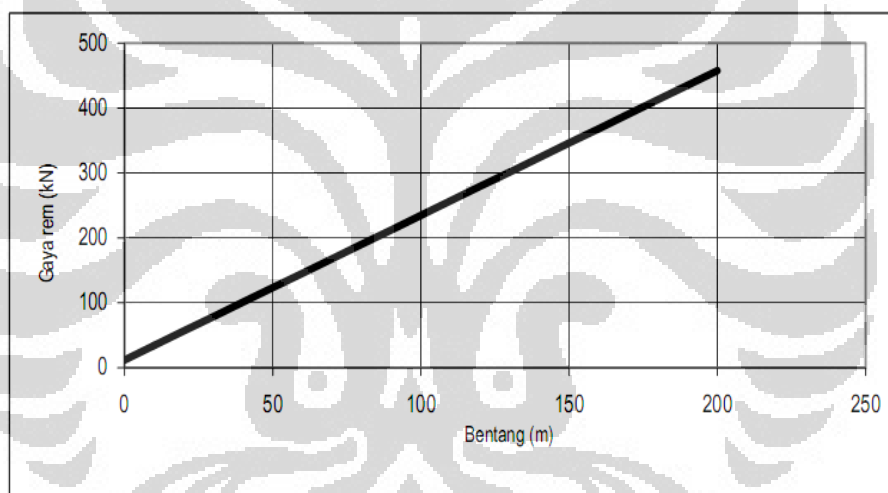
2.4.3 Gaya Rem

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini 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 tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan

lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, digunakan rumus 1: $q = 9 \text{ kPa}$.

Dalam memperkirakan pengaruh gaya memanjang terhadap perletakan dan bangunan bawah jembatan, maka gesekan atau karakteristik perpindahan geser dari perletakan ekspansi dan kekakuan bangunan bawah harus diperhitungkan.

Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh dari gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka Faktor Beban Ultimit berkurang sebesar 40% boleh digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal. Pembebanan lalu lintas 70% dan faktor pembesaran di atas 100% BGT dan BTR tidak berlaku untuk gaya rem.



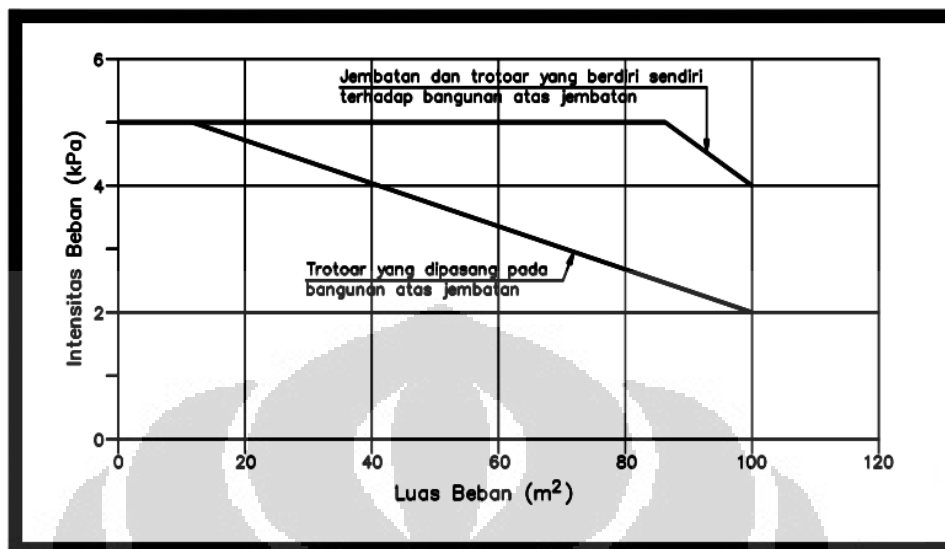
Gambar 2.12 Gaya Rem Per Lajur 2,75 m (KBU)

2.4.4 Pembebanan untuk Pejalan Kaki

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^2 dari luas yang dibebani seperti pada gambar 2.13.

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. Apabila trotoar

memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.



Gambar 2.13 Pembebanan untuk Pejalan Kaki

2.4.5 Beban Angin

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

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

dengan pengertian :

- V_w adalah kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau
- C_w adalah koefisien seret
- A_b adalah luas equivalen bagian samping jembatan (m²)

Kecepatan angin rencana harus diambil seperti yang diberikan pada tabel berikut :

Tabel 2.7 Kecepatan Angin Rencana V_w

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

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang masif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekivalen ini dianggap 30 % dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar.

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \text{ [kN]}$$

dengan $C_w = 1,2$

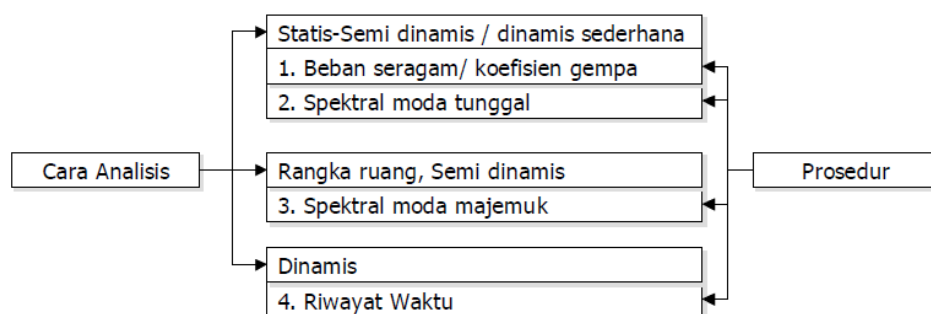
Tabel 2.8 Koefisien Seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara dari b / d bisa diinterpolasi linier	
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

2.4.6 Beban Gempa

Perencanaan beban gempa dalam pembebanan untuk jembatan yang digunakan mengacu pada peraturan yang dibuat oleh Departemen Pekerjaan Umum yaitu Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan (SNI 03-2833-200X). Prosedur analisis yang akan digunakan tergantung dari beberapa kriteria yang terkait dengan tipe dan jenis jembatan yang akan dianalisis.



Gambar 2.14 Prosedur Analisis Tahan Gempa

Untuk menentukan prosedur yang digunakan, sebelumnya perlu diketahui akselerasi puncak batuan dasar dan kategori kinerja seismik. Hal tersebut dapat dilihat dari tabel dan gambar berikut.

Tabel 2.9 Kategori Kinerja Seismik

Koefisien percepatan puncak di batuan dasar (A/g)	Klasifikasi kepentingan I (Jembatan utama dengan faktor keutamaan 1,25)	Klasifikasi kepentingan II (Jembatan biasa dengan faktor keutamaan 1)
≥0,30	D	C
0,20-0,29	C	B
0,11-0,19	B	B
≤0,10	A	A

(Sumber : SNI 03-2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan)

Tabel 2.10 Prosedur Analisis Berdasarkan Kategori Kinerja Seismik

Jumlah bentang	D	C	B	A
Tunggal sederhana	1	1	1	-
2 atau lebih menerus	2	1	1	-
2 atau lebih dengan 1 sendi	3	2	1	-
2 atau lebih dengan 2 atau lebih sendi	3	3	1	-
Struktur rumit	4	3	2	1

(Sumber : SNI 03-2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan)

Gaya seismik rencana ditentukan dengan membagi gaya elastis dengan faktor modifikasi respon R_d sesuai dengan tingkatan daktilitas. Koefisien geser

dasar elastis dan plastis berdasarkan program *Shake* dari *California Transportation Code* ditentukan dengan rumus :

$$C_{elastis} = A.R.S \dots\dots\dots (1.a)$$

$$C_{plastis} = \frac{A.R.S}{Z} \dots\dots\dots (1.b)$$

dengan pengertian :

$C_{elastis}$ adalah koefisien geser dasar tanpa faktor daktilitas dan resiko (Z)

$C_{plastis}$ adalah koefisien geser dasar termasuk faktor daktilitas dan resiko (Z)

A adalah percepatan/akselerasi puncak *PGA* di batuan dasar (g)

R adalah respon batuan dasar

S adalah amplifikasi di permukaan sesuai tipe tanah

Z adalah faktor reduksi sehubungan daktilitas dan resiko

Koefisien geser dasar elastis ($A.R.S$) diturunkan untuk percepatan puncak (*PGA*) wilayah gempa Indonesia dari respon spektra *Shake* sesuai konfigurasi tanah. Perkalian tiga faktor A , R , dan S menghasilkan spektra elastis dengan 5% redaman. Konfigurasi tanah dapat dilihat dalam tabel di bawah. Koefisien geser dasar C elastis juga dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$C_{elastis} = \frac{1.2.A.S}{T^{2/3}} \text{ dengan syarat } C_{elastis} \leq 2.5.A$$

dengan pengertian:

A adalah akselerasi puncak di batuan dasar (g)

T adalah perioda alami struktur (detik)

S adalah koefisien tanah

Tabel 2.11 Koefisien Tanah (S)

S (tanah teguh)	S (tanah sedang)	S (tanah lembek)
$S_1=1,0$	$S_2=1,2$	$S_3=1,5$

(Sumber : SNI 03-2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan)

Tabel 2.12 Akselerasi Puncak di Batuan Dasar Sesuai Periode Ulang

PGA (g)	50 tahun	100 tahun	200 tahun	500 tahun	1000 tahun
Wilayah 1	0,34-0,38	0,40-0,46	0,47-0,53	0,53 – 0,60	0,59-0,67
Wilayah 2	0,29-0,32	0,35-0,38	0,40-0,44	0,46 – 0,50	0,52-0,56
Wilayah 3	0,23-0,26	0,27-0,30	0,32-0,35	0,36 – 0,40	0,40-0,45
Wilayah 4	0,17-0,19	0,20-0,23	0,23-0,26	0,26 – 0,30	0,29-0,34
Wilayah 5	0,10-0,13	0,11-0,15	0,13-0,18	0,15 – 0,20	0,17-0,22
Wilayah 6	0,03-0,06	0,04-0,08	0,04-0,09	0,05 – 0,10	0,06-0,11

(Sumber : SNI 03-2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan)



Gambar 2.15 Peta Zonasi Gempa Indonesia

2.5 Tinjauan Umum Baja Dan Metode Perhitungan LRFD

2.5.1 Gambaran Umum Baja

Baja adalah suatu jenis material yang umum digunakan dalam dunia konstruksi dalam beberapa tahun belakangan ini. Baja banyak dipilih karena mempunyai beberapa keuntungan yang tidak dimiliki oleh material lain yang juga umum digunakan seperti beton. Baja dapat diproduksi dan dibuat dengan mutu dan kekuatan yang bervariasi sehingga lebih efisien dalam penggunaannya. Baja juga memiliki sifat homogen dan isotropis yang menyebabkan tingkat kekuatan dari baja itu sendiri akan sama di sepanjang bentangnya. Jika dibandingkan untuk bentang dan pembebanan yang sama, maka penampang yang dibutuhkan jika menggunakan material baja akan lebih kecil dibandingkan jika menggunakan

material lain dengan kekuatan yang sama, misalnya beton. Baja juga memiliki keunggulan dalam kemudahan pembentukannya. Bentuk yang tersedia di pasaran juga sangat bervariasi sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Namun, baja sebagai bahan struktur juga mempunyai beberapa kelemahan. Salah satu kelemahan baja adalah kemungkinan terjadinya korosi, yang dapat memperlemah struktur, mengurangi keindahan bangunan, dan memerlukan biaya perawatan yang cukup besar secara periodik. Umumnya, pemeliharaan jembatan dengan pengecatan dan perawatan lain setiap 5 tahun akan memakan biaya 10 persen dari harga konstruksi awalnya. Hal ini berarti bahwa biaya 50 tahun pemeliharaan akan sama dengan biaya pembuatan bangunan atau jembatan baru.

- Sifat Mekanis Baja

Sifat-sifat mekanis baja berdasarkan SNI-2002 pasal 5.1.3 ditentukan sebagai berikut:

Modulus elastisitas	: E	= 200 Gpa
Modulus Geser	: G	= 80.000 Mpa
Nisbah Poisson	: μ	= 0,3
Koefisien pemuaian	: α	= $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

SNI-2002 juga membedakan baja struktural menjadi beberapa jenis berdasarkan kekuatannya, yaitu BJ 34, BJ 37, BJ 40, BJ 50, BJ 55. Berikut ini adalah tabel sifat mekanis baja struktural menurut SNI-2002 :

Tabel 2.13 Tabel Sifat Mekanis Baja Struktural

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

(Sumber : RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan)

- Sifat Metalurgi Baja

Baja yang biasa dipakai untuk struktur rangka (*frame*) bangunan adalah baja karbon (*carbon steel*) dengan kuat tarik sekitar 400 Mpa, sedang baja dengan

kuat tarik lebih dari 500 MPa sampai 1000 MPa disebut dengan baja kekuatan tinggi (*high strength steel*). Baja kekuatan tinggi dengan kekuatan 500 - 600 MPa dibuat dengan komposisi dari material tertentu.

Metode untuk menyambung dua atau lebih member baja umumnya menggunakan baut atau las. Penggunaan baut sebagai sambungan mempunyai keuntungan karena kemudahan dan kepraktisannya. Namun, penggunaan baut juga memiliki kekurangan lain yaitu terjadi pengurangan luas penampang pada member akibat pelubangan tempat baut. Hal ini sedikit banyak juga akan mempengaruhi kapasitas tegangan yang dapat ditahan oleh baja tersebut. Oleh karena itu, penyambungan dengan menggunakan las juga bisa menjadi alternatif. Namun, penggunaan las pun ada kekurangannya diantara lain membutuhkan kondisi dan keahlian yang tepat untuk mendapatkan hasil yang baik. Karena itu, pengelasan di lokasi konstruksi tidak disarankan dikarenakan kondisi lingkungan yang sangat berpengaruh pada kualitas pengelasan.

2.5.2 Metode Perhitungan LRFD

Load and Resistance Factor Design (LRFD) merupakan standar metode perhitungan yang digunakan untuk baja dan dibuat oleh AISC (*American Institute of Steel Construction*). Prinsip utama dalam metode LRFD adalah mendesain struktur untuk menahan beban yang telah dikali dengan suatu nilai faktor beban sehingga nominal beban tersebut merupakan nominal yang jauh lebih besar dari beban yang direncanakan bekerja pada struktur. Selain itu, nominal tahanan (*resistance*) struktur juga dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan untuk mendapatkan batas aman dari kekuatan struktur tersebut. Jika dituliskan secara persamaan matematis, prinsip tersebut bisa ditulis sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n$$

dimana,

R_u = beban ultimit yang harus ditahan struktur (*required strength*)

R_n = kekuatan nominal dari struktur (*nominal strength*)

ϕ = faktor reduksi kekuatan nominal (*resistance factor*)

ϕR_n = kekuatan desain struktur (*design strength*)

Untuk material baja yang digunakan dalam konstruksi suatu bangunan maupun jembatan, komponen dari struktur tersebut dapat mengalami gaya yang berbeda-beda tergantung pada kualitas material, sistem struktur, serta pembebanan yang dialami oleh struktur tersebut. Komponen struktur baja di dalam suatu jembatan bisa mengalami gaya tarik, tekan, momen, geser, ataupun torsi. Perlakuan serta perhitungan untuk masing-masing komponen struktur tersebut akan berbeda tergantung pada besarnya beban yang ditahan dan kekuatan dari material itu sendiri.

2.5.2.1 Komponen Struktur Tarik

Komponen struktur yang mengalami gaya tarik dapat mengalami 2 jenis kegagalan berupa leleh (*yield*) atau runtuh (*fracture*). Kapasitas material dalam menahan gaya yang menyebabkan kegagalan leleh didefinisikan sebagai kekuatan tegangan leleh (f_y) yang bekerja pada luasan penampang kotor (*gross section*), sedangkan untuk gaya yang menyebabkan kegagalan ultimit didefinisikan sebagai kekuatan tegangan ultimit (f_u) yang bekerja pada luasan penampang efektif (*net section*).

Untuk *yielding*, $\phi_y = 0,90$ sehingga $P_u \leq 0,90 f_y A_g$

Untuk *fracture*, $\phi_u = 0,75$ sehingga $P_u \leq 0,75 f_u A_e$

2.5.2.2 Komponen Struktur Tekan

Faktor yang perlu diperhitungkan dan diamati dengan baik untuk struktur yang mengalami gaya tekan adalah kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada komponen tersebut. Beban kritis yang mempengaruhi tekuk yang terjadi dirumuskan dalam persamaan *Euler*, yaitu :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 EAr^2}{L^2} = \frac{\pi^2 EA}{(L/r)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

dimana, L/r = rasio kelangsingan elemen

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

dimana, KL = panjang efektif elemen dan K = faktor panjang efektif

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

dimana, $P_n = A_g F_{cr}$ dan $\phi_c = 0,85$ (faktor ketahanan komponen tekan)

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \text{ sehingga } F_{cr} = \frac{1}{\lambda_c^2} F_y$$

dengan memperhitungkan efek *crookedness*, nilai di atas direduksi menjadi

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} F_y$$

- Jika nilai $\lambda_c \leq 1,5$ maka diambil nilai $F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y$
- Jika nilai $\lambda_c > 1,5$ maka diambil nilai $F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} F_y$

Tekuk juga dapat terjadi pada bagian *web* saja atau *flange*, yang disebut sebagai tekuk lokal (*local buckling*). Parameter keduanya dipengaruhi oleh rasio dari elemen *web* dan *flange*.


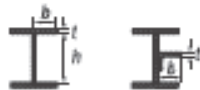


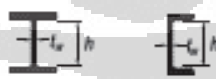




$$\text{Untuk area flange, } \lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r = \frac{95}{\sqrt{F_y}}$$

$$\text{Untuk area web, } \lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_r = \frac{253}{\sqrt{F_y}}$$

Tekuk yang terjadi pada komponen struktur tekan dikelompokkan menjadi 3 macam yaitu:

1. Tekuk lentur, hanya dapat terjadi pada sumbu utama penampang atau sumbu dengan nilai inersia maksimum
2. Tekuk torsi, adalah jenis tekuk yang bekerja memutar sumbu batang dari komponen
3. Tekuk lentur torsi, merupakan perpaduan dari kedua jenis tekuk tersebut dimana komponen tekan akan mengalami tekuk lentur dan torsi secara bersamaan

Tabel 2.14 Rasio Ketebalan *Web* dan *Flange* Berbagai Jenis Penampang

Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_r (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1 Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2 Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$	
	3 Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4 Stems of tees	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5 Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6 Walls of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7 Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8 All other stiffened elements	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9 Round HSS	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

(Sumber : *Structural Steel Designer's Handbook*, Brockenbrough, 1999)

2.5.2.3 Komponen Balok

Suatu member atau komponen secara sederhana dapat dikatakan sebagai balok apabila komponen tersebut diberi pembebanan yang tegak lurus pada arah sumbu batangnya maka akan timbul momen lentur atau *bending*. Komponen balok juga dapat mengalami gaya torsi apabila diberikan beban eksentris terhadap sumbu beratnya. Jenis balok ini dikelompokkan berdasarkan nilai rasio antara tebal dibanding lebar dari penampang. Pengelompokkan ini juga didasarkan pada terjadi atau tidaknya tekuk lokal pada elemen tersebut. Komponen balok dapat berupa komponen yang *compact*, *non-compact*, dan *slender*.

- Jika nilai $\lambda \leq \lambda_p$, maka komponen tersebut termasuk *compact*
- Jika nilai $\lambda_p \leq \lambda_r$, maka komponen tersebut termasuk *noncompact*
- Jika nilai $\lambda \leq \lambda_r$, maka komponen tersebut termasuk *slender*

Tabel 2.15 Batasan Parameter *Width to Thickness Ratio*

Elemen	λ	λ_p	λ_r
Flange	$\frac{b_f}{2t_f}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

(Sumber : *Structural Steel Designer's Handbook, Brockenbrough, 1999*)

dimana,

λ = rasio lebar-ketebalan penampang

λ_p = batas atas komponen *compact*

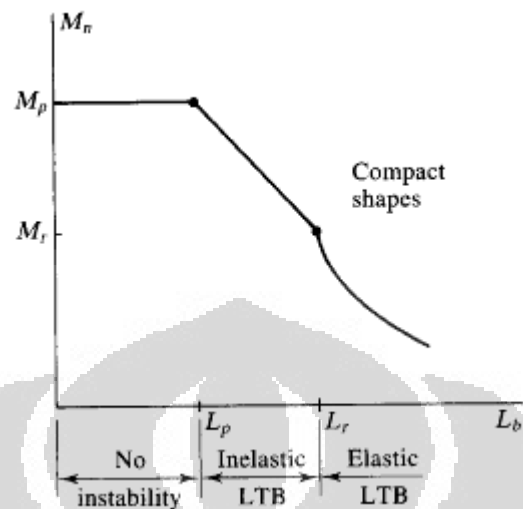
λ_r = batas atas komponen *noncompact*

Sebuah balok dapat mengalami kegagalan pada saat mencapai batas nominal momen plastisnya (M_p) dan berperilaku sebagai komponen yang plastis atau balok tersebut mengalami kegagalan salah satu dari jenis tekuk berikut ini

1. *Lateral-torsional buckling* (LTB), baik elastis maupun inelastis
2. *Flange local buckling* (FLB), baik elastis maupun inelastis, atau
3. *Web local buckling* (WLB), baik elastis maupun inelastis

Jika momen maksimum yang terjadi berada di bawah batas nominal maksimum komponen pada saat tekuk terjadi, maka kegagalan tersebut masih termasuk dalam perilaku elastis. Selain dari itu, maka kegagalan sudah termasuk sebagai perilaku inelastis. Kekuatan tahanan momen dari profil *compact* merupakan fungsi dari panjang batang efektif yang tidak diperkaku (*unbraced length*) yang didefinisikan sebagai jarak antara dua pengaku lateral (*lateral*

support) di dalam member tersebut. Hubungan antara kekuatan nominal dengan panjang efektif komponen balok dapat digambarkan dalam grafik di bawah ini.



Gambar 2.16 Hubungan Antara Kekuatan Nominal Momen (M_n) dengan Panjang Efektif Balok (L_b)

Batas nilai nominal dari M_n sendiri dijabarkan sebagai berikut :

$$\phi_b M_n = \phi_b M_p = \phi_b F_y Z_x \leq 1.5 F_y S_x$$

dimana, $\phi = 0,90$

- LTB terjadi jika, $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq M_p$$

dimana,

$$M_p = F_y Z_x \leq 1.5 F_y S_x$$

$$M_r = F_L S_x$$

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

dengan,

M_A = momen pada $\frac{1}{4}$ bentang

M_B = momen pada $\frac{1}{2}$ bentang

M_C = momen pada $\frac{3}{4}$ bentang

- FLB terjadi jika, $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$$

dimana,

$$M_p = F_y Z_z \leq 1.5 F_y S_z$$

$$M_r = F_L S_z$$

- WLB terjadi jika $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$$

dimana,

$$M_p = F_y Z_z \leq 1.5 F_y S_z$$

$$M_r = R_e F_y S_z$$

$$R_e = 1.0$$

Selain itu, komponen balok juga akan mengalami gaya geser yang dapat menyebabkan kegagalan terhadap struktur. Kapasitas tahanan geser member terhadap gaya geser ultimit yang terjadi dirumuskan sebagai berikut :

- Untuk $h / t_w \leq 2.45 \sqrt{E / F_{yw}}$

$$V_u = F_y \leq \phi_v V_n = \phi_v 0.6 F_{yw} A_w$$

dimana, $\phi_v = 0.9$

- Untuk $h / t_w \leq 417.2 / \sqrt{F_{yw}}$

$$V_u = F_y \leq \phi_v V_n = \phi_v 0.6 F_{yw} A_w$$

dimana, $\phi_v = 0.9$

- Untuk $2.45 \sqrt{E / F_{yw}} < h / t_w \leq 3.07 \sqrt{E / F_{yw}}$

$$V_u = F_y \leq \phi_v V_n = \phi_v 0.6 F_{yw} A_w \left(\frac{2.45 \sqrt{E / F_{yw}}}{h / t_w} \right)$$

dimana, $\phi_v = 0.9$

- Untuk $3.07 \sqrt{E / F_{yw}} < h / t_w \leq 260$

$$V_u = F_y \leq \phi_v V_n = \phi_v A_w \left[\frac{4.52 E}{(\frac{h}{t_w})^2} \right]$$

dimana,

BAB 3

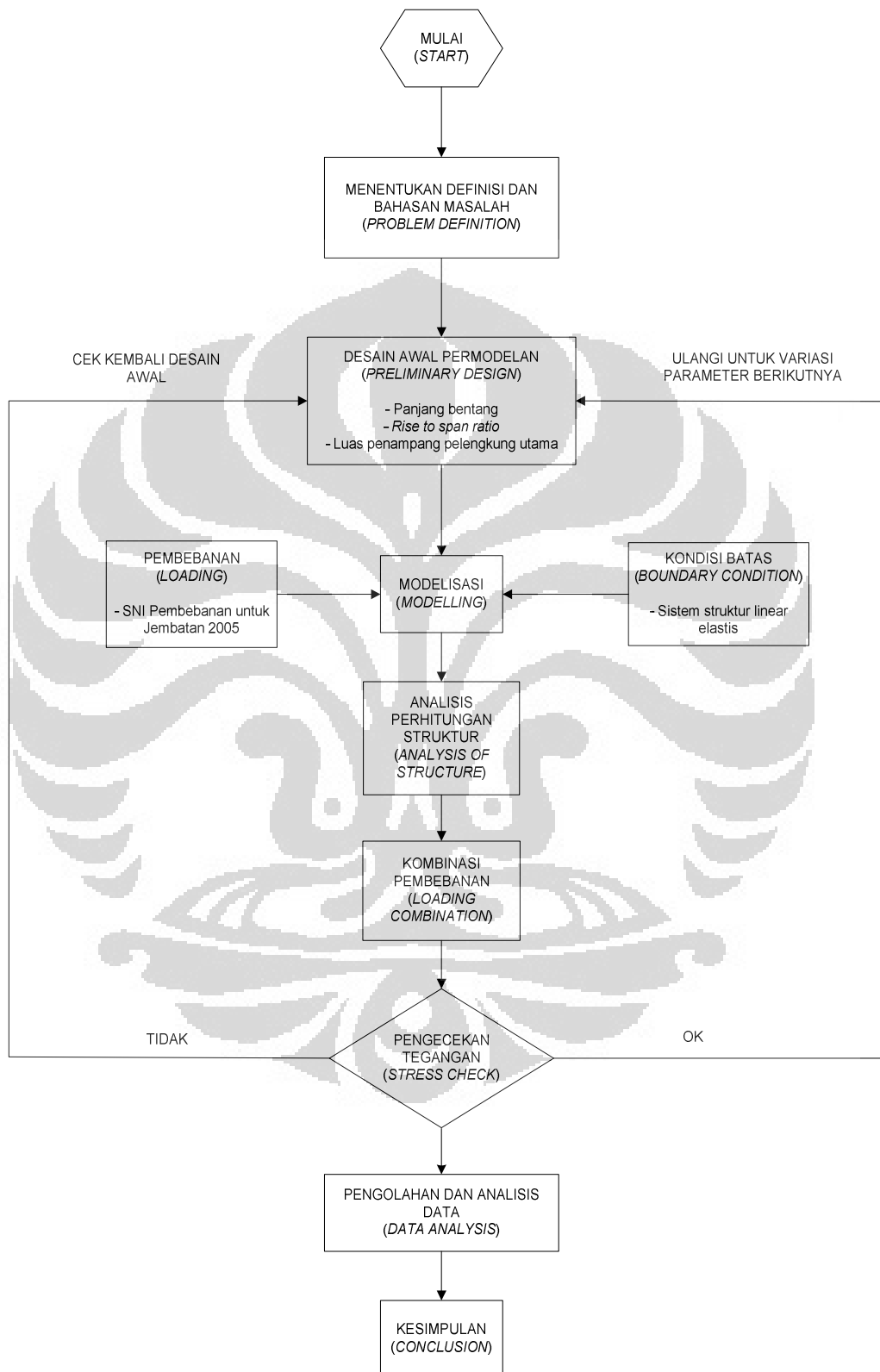
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Permodelan Struktur

Pada studi ini, analisis struktur jembatan pelengkung akan dimodelkan dengan menggunakan bantuan program komputer SAP2000 v.11.0.0 Advanced. Langkah-langkah yang perlu dilakukan di dalam melakukan permodelan struktur adalah sebagai berikut :

1. Analisis permodelan diawali dengan menentukan topik penelitian dan rumusan masalah yang akan diteliti.
2. Setelah diperoleh informasi yang dibutuhkan, dibuat desain awal dari permodelan struktur yang akan digunakan (*preliminary design*), yang meliputi antara lain panjang bentang jembatan, mutu dan jenis material yang digunakan, tipe dan model struktur jembatan dan sebagainya.
3. Selanjutnya, permodelan dilanjutkan memberikan variasi-variasi parameter pada komponen jembatan yang sesuai dengan bahasan masalah pada bagian awal yaitu variasi luas penampang *arch rib* dengan asumsi perilaku sistem struktur yang linear elastis.
4. Model struktur kemudian akan diberikan pembebanan sesuai dengan pedoman yang berlaku di Indonesia yaitu RSNI T02-2005 tentang Perencanaan Pembebanan untuk Jembatan. Beban-beban tersebut juga akan dikombinasikan agar didapatkan pengaruh beban terbesar terhadap struktur.
5. Dari beberapa variasi yang diberikan tersebut, akan diperoleh hasil berupa distribusi tegangan, gaya dalam, regangan, deformasi, reaksi perletakan, dan konsentrasi gaya-gaya tersebut pada segmen jembatan. Langkah permodelan diatas dilakukan kembali untuk variasi permodelan berikutnya.
6. Kemudian, akan diambil suatu kesimpulan mengenai hubungan yang optimal antara variasi luas penampang pelengkung dengan *rise to span ratio*.

3.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

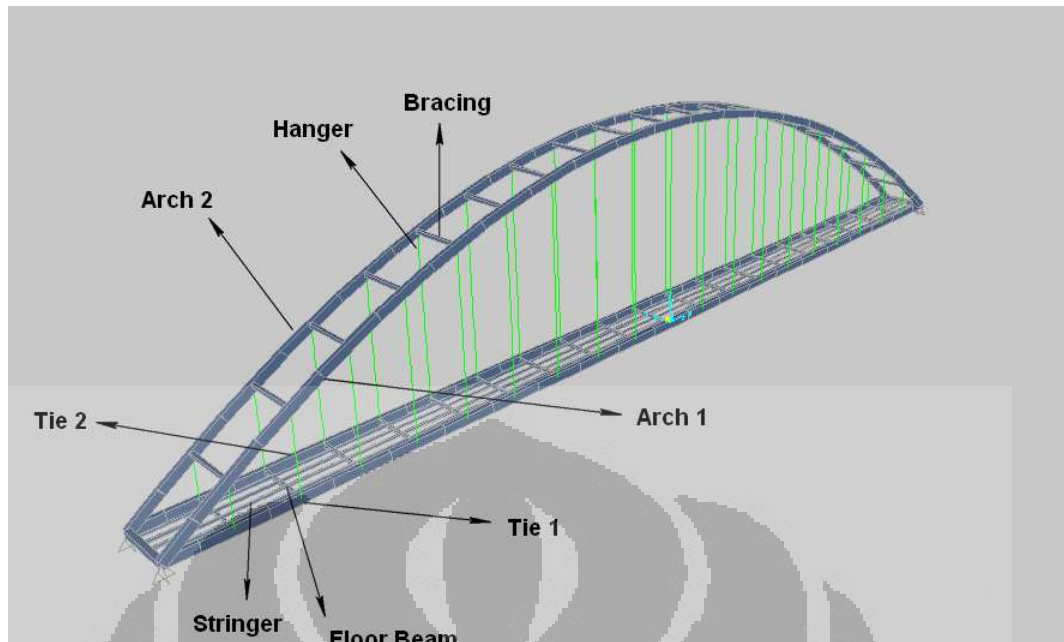


3.3 Modelisasi Dan Desain Struktur

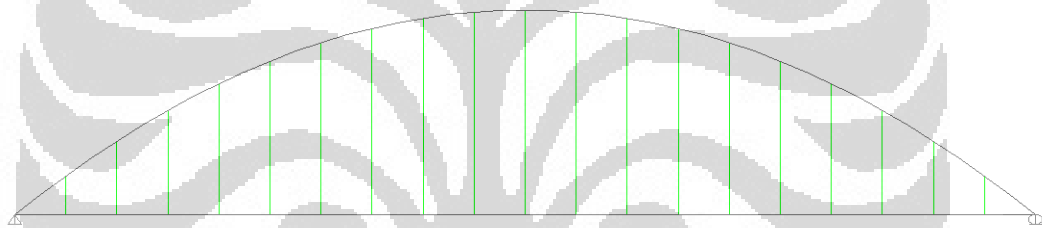
Modelisasi dan spesifikasi dari desain struktur dari jembatan pelengkung yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- Tipe jembatan : *Tied arch bridge*
- Tipe kelengkungan busur : Parabola
- Persamaan kelengkungan : $(y = -0.004x^2 + 40)$
- *Rise-to-span ratio* : 1/5
- Panjang bentang : 200 meter
- Tinggi jembatan : 40 meter
- Lebar jembatan : 10 meter
- Jumlah lajur lalu lintas : 2 lajur 2 arah
- Jarak antar *floor beam* : 10 meter
- Jarak antar *stringer* : 2 meter
- Jarak antar *hanger* : 10 meter
- Tebal *deck slab* : 200 milimeter
- Material utama struktur jembatan : Baja
- Material *deck slab* : Beton
- Mutu baja : BJ 41
 - a. tegangan leleh minimum (f_y) : 250 MPa
 - b. tegangan putus minimum (f_u) : 410 MPa
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa

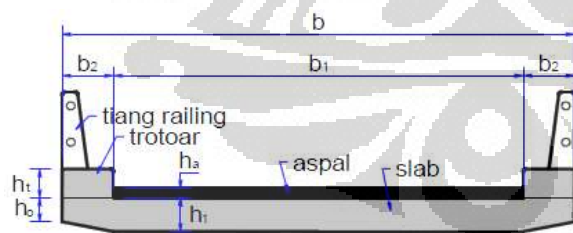
Selanjutnya, dari data diatas akan dibuat suatu model struktur untuk jembatan tersebut dengan bantuan program komputer yaitu SAP2000 v.11. Permodelan jembatan akan dibuat sedekat mungkin dengan kondisi yang ada pada kondisi di lapangan. Salah satu kondisi yang dibuat sedekat mungkin dengan kondisi di lapangan adalah elemen *arch rib* yang dimodelkan sebagai segmen-segmen lurus yang membentuk geometri lengkung. Data diatas merupakan spesifikasi jembatan yang berlaku untuk semua model yang akan dianalisis. Untuk variasi dan kondisi dari masing-masing variasi model akan dibahas secara lebih mendalam pada bagian berikutnya.



Gambar 3.1 Permodelan Struktur 3 Dimensi



Gambar 3.2 Tampak Samping Model Struktur

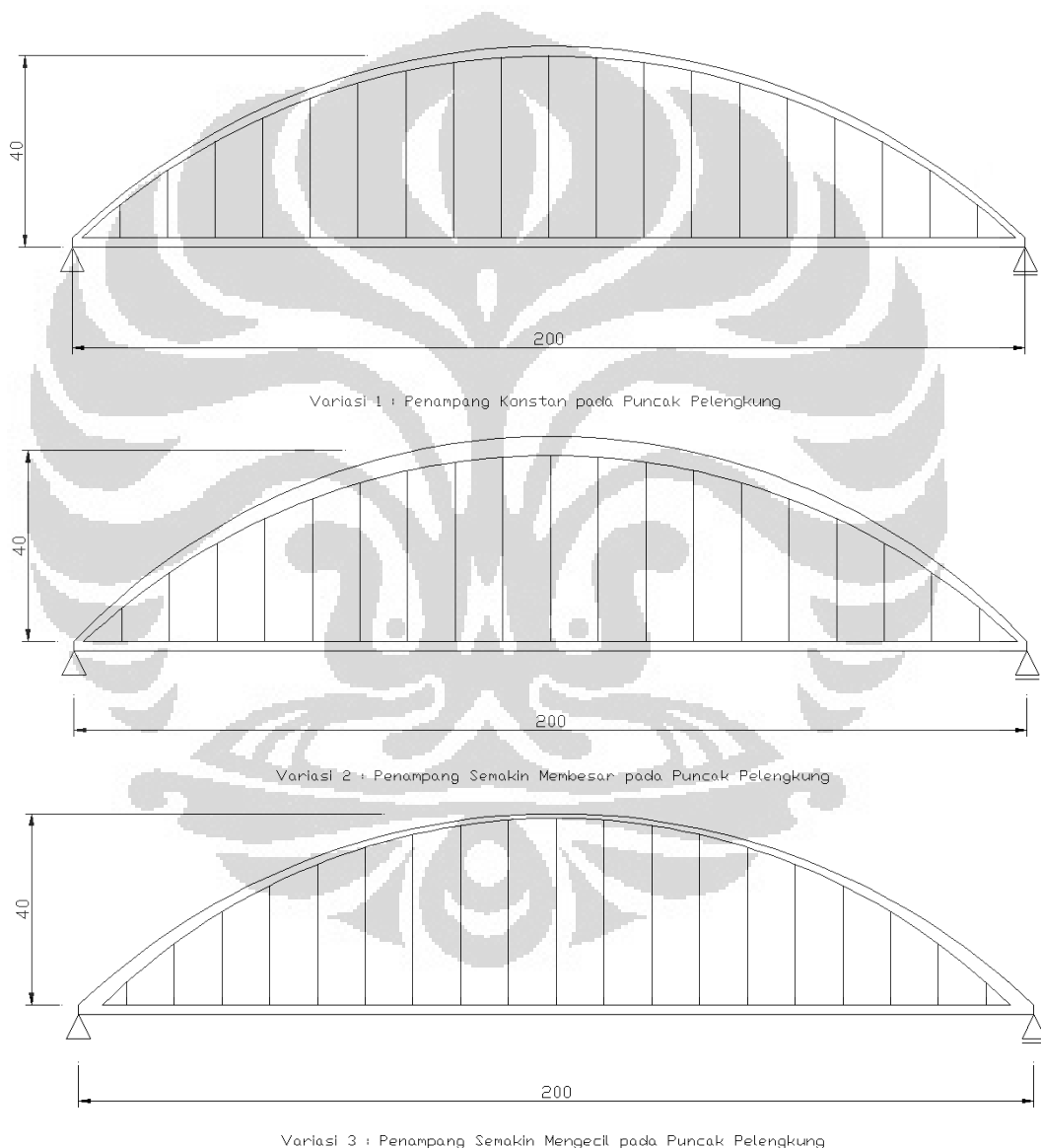


Gambar 3.3 Potongan Melintang Jembatan

Lebar Jembatan	b	10 m
Lebar jalur lalu lintas	b_1	7 m
Lebar trotoar	b_2	1.5 m
Tebal trotoar	h_t	0.2 m
Tebal slab lantai	h_o	0.2 m
Tebal aspal	h_a	0.05 m

3.4 Variasi Permodelan

Variasi permodelan yang akan dilakukan seperti sudah dijelaskan sebelumnya meliputi variasi luas penampang *arch rib* dari jembatan. Untuk variasi luas penampang pada struktur pelengkung, akan divariasikan profil pelengkung dengan luas penampang yang semakin mengecil pada puncaknya, profil dengan luas penampang yang konstan, serta profil dengan luas penampang yang semakin membesar pada puncaknya.



Gambar 3.4 Variasi Permodelan Struktur

Perbandingan yang digunakan untuk variasi luas penampang tersebut adalah, 1:1 (profil konstan), 1:1.2 (profil semakin membesar di puncak pelengkung), 1:1.25 (profil semakin membesar di puncak pelengkung), 1.25:1 (profil semakin mengecil di puncak pelengkung), dan 1.2:1 (profil semakin mengecil di puncak pelengkung). Sehingga, secara keseluruhan ada 5 model yang akan divariasikan rasio luas penampang pada pelengkung utamanya (*spring-crown ratio*). Detail dan data lebih lengkap mengenai spesifikasi penampang dari masing-masing variasi model akan dijabarkan lebih jauh berikut ini:

3.4.1 Model 1 (spring-crown ratio = 1:1)

Untuk variasi model yang pertama ini, ukuran tinggi penampang pada pelengkung tidak divariasikan (nonprismatis) atau dengan kata lain tinggi penampang pada pelengkung utama akan konstan. Pada variasi model yang selanjutnya, variasi hanya akan diberikan pada tinggi penampang pada pelengkung utama (member nonprismatis). Sedangkan untuk bagian lain dari model seperti *tie beam*, *edge beam*, *stringer*, *floor beam*, *bracing*, dan *hanger* akan digunakan profil dan spesifikasi yang sama dengan yang digunakan pada model 1 ini.

a. *arch rib* : *Box girder* ($h = 1.6$ m, $b = 0.85$ m, $t = 0.03$ m)

Gambar 3.5 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 1

b. *tie beam* : *Box girder* ($h = 1.6 \text{ m}$, $b = 0.85 \text{ m}$, $t = 0.03 \text{ m}$)

Section Name TIE-1.6X0.85

Section Notes

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions:

Outside depth (t3) 1.6

Outside width (t2) 0.85

Flange thickness (tf) 0.03

Web thickness (tw) 0.03

Display Color

Gambar 3.6 *Frame Section Input* untuk *Tie Beam* Model 1

c. *edge beam* : *Box girder* ($h = 1 \text{ m}$, $b = 1 \text{ m}$, $t = 0.025$)

Section Name EDGEBEAM-1X1

Section Notes

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions:

Outside depth (t3) 1.

Outside width (t2) 1.

Flange thickness (tf) 0.03

Web thickness (tw) 0.03

Display Color

Gambar 3.7 *Frame Section Input* untuk *Edge Beam* Model 1

d. floor beam : Plate girder (WF 24x117)

Section Name W24x117
 Section Notes

Extract Data from Section Property File
 c:\program files\computers and

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions

Outside height (t3)	0.6162
Top flange width (t2)	0.3251
Top flange thickness (tf)	0.0216
Web thickness (tw)	0.014
Bottom flange width (t2b)	0.3251
Bottom flange thickness (tfb)	0.0216

Display Color

Gambar 3.8 *Frame Section Input* untuk *Floor Beam Model 1*

e. stringer : Plate girder (WF 21x62)

Section Name W21x62
 Section Notes

Extract Data from Section Property File
 c:\program files\computers and

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions

Outside height (t3)	0.5331
Top flange width (t2)	0.2093
Top flange thickness (tf)	0.0156
Web thickness (tw)	0.0102
Bottom flange width (t2b)	0.2093
Bottom flange thickness (tfb)	0.0156

Display Color

Gambar 3.9 *Frame Section Input* untuk *Stringer Model 1*

f. bracing : Box section ($h = 0.6 \text{ m}$, $b = 0.6 \text{ m}$, $t = 0.025 \text{ m}$)

Gambar 3.10 Frame Section Input untuk Bracing Model 1

g. hanger : Cable minimum tension at I-end ($d = 0.06 \text{ m}$)

Pt.	X	Y	Z	Sag	Distance	Rel. Dist.
0	-30.	0.	0.	0.	0.	0.
1	-30.	0.	2.2688	0.	2.2688	0.0625
2	-30.	0.	4.5375	0.	4.5375	0.125
3	-30.	0.	6.8063	0.	6.8063	0.1875
4	-30.	0.	9.075	0.	9.075	0.25
5	-30.	0.	11.3438	0.	11.3438	0.3125
6	-30.	0.	13.6125	0.	13.6125	0.375
7	-30.	0.	15.8813	0.	15.8813	0.4375
8	-30.	0.	18.15	0.	18.15	0.5
9	-30.	0.	20.4188	0.	20.4188	0.5625
10	-30.	0.	22.6875	0.	22.6875	0.625

Gambar 3.11 Frame Section Input untuk Hanger Model 1

3.4.2 Model 2 (spring-crown ratio = 1:1.2)

Pada model kedua ini, tinggi dari penampang pada pelengkung utama (*arch rib*) divariasikan dengan rasio sebesar 1:1.2 antara tinggi penampang pada kaki pelengkung (*spring*) dengan puncaknya (*crown*) sehingga didapatkan suatu member struktur yang nonprismatis. Tinggi penampang pada kaki pelengkung (*spring*) untuk model 2 ini diambil sebesar 1,80 meter dan pada puncak (*crown*) adalah 2,16 meter. Sedangkan untuk lebar dan tebal penampang adalah sama sepanjang segmen tersebut. Asumsi yang digunakan pada konfigurasi member pada pelengkung adalah suatu struktur lengkung yang tersusun atas member-member linear yang lurus dengan kemiringan sudut tertentu sehingga membentuk suatu lengkungan yang tidak patah antar sambungannya. Hal ini dimaksudkan untuk mewakili kondisi yang sesungguhnya saat konstruksi dilakukan. Ukuran dari masing-masing segmen tersebut terlihat di dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3.1 Tinggi dan Panjang Segmen *Arch Rib* untuk Model 2

L (m)	x (m)	y (m)
0	0	1.80
6.34	6.34	1.82
12.32	18.66	1.86
11.87	30.54	1.90
11.46	42.00	1.94
11.09	53.09	1.97
10.77	63.86	2.01
10.50	74.36	2.04
10.28	84.64	2.08
10.13	94.77	2.11
10.03	104.80	2.14
5.00	109.80	2.16

Dengan pengertian,

- L adalah panjang per segmen pelengkung (*spring to crown*)
- x adalah panjang total pelengkung dihitung dari kaki pelengkung
- y adalah tinggi penampang pelengkung untuk tiap segmen

Untuk memasukkan input penampang yang bervariasi tersebut, digunakan pilihan profil *nonprismatic section* pada program SAP 2000. Dalam satu penampang nonprismatis tersebut, terdiri atas dua profil segmen yang secara otomatis divariasikan tingginya secara linear oleh program SAP2000.

a. *arch rib*, profil penampang pada kaki pelengkung (*spring*)

The screenshot shows the 'Frame Section Input' dialog for an Arch Rib at the spring. The 'Section Name' is 'ARCH-1.80x1'. The 'Material' is 'BJ 41'. The 'Dimensions' section includes: Outside depth (t3) = 1.8, Outside width (t2) = 1, Flange thickness (tf) = 0.03, and Web thickness (tw) = 0.03. A grid diagram shows a rectangular section with dimensions 1.8 and 1. The 'Display Color' checkbox is checked.

Gambar 3.12 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 2 (*Spring*)

b. *arch rib*, profil penampang pada puncak pelengkung (*crown*)

The screenshot shows the 'Frame Section Input' dialog for an Arch Rib at the crown. The 'Section Name' is 'ARCH-2.16x1'. The 'Material' is 'BJ 41'. The 'Dimensions' section includes: Outside depth (t3) = 2.16, Outside width (t2) = 1, Flange thickness (tf) = 0.03, and Web thickness (tw) = 0.03. A grid diagram shows a rectangular section with dimensions 2.16 and 1. The 'Display Color' checkbox is unchecked.

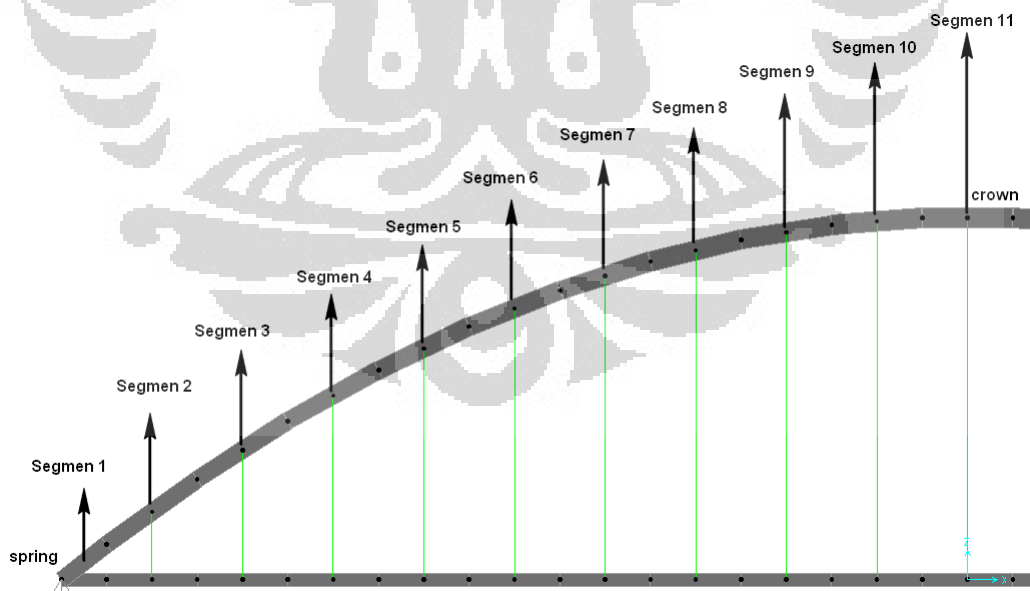
Gambar 3.13 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 2 (*Crown*)

c. *arch rib*, profil nonprismatis segmen pertama ($x_1 = 0$, $x_2 = 6.34$)

Start Section	End Section	Length	Length Type	EI33 Variation	EI22 Variation
ARCH-1.80X1	ARCH-1.82X1	1.	Variable	Linear	Linear
ARCH-1.80X1	ARCH-1.82X1	1.	Variable	Linear	Linear

Gambar 3.14 *Nonprismatic Section Input* Segmen 1 untuk Model 2

Untuk segmen-segmen selanjutnya, dilakukan tahapan input yang sama dengan penampang nonprismatis segmen pertama dengan profil yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.15 *Pembagian Segmen Nonprismatis Arch Rib*

3.4.3 Model 3 (*Spring-crown ratio* = 1:1.25)

Pada model yang ketiga ini, nilai rasio yang diambil untuk perbandingan antara tinggi penampang pada kaki pelengkung (*spring*) dengan puncak pelengkung (*crown*) adalah 1:1.25. Tinggi penampang pada *spring* adalah 1,80 meter sedangkan pada *crown* adalah 2,25 meter. Sama halnya dengan pada model kedua, digunakan profil *nonprismatic section* untuk input per segmen pelengkung pada program SAP2000. Ukuran dan panjang masing-masing segmen untuk model ketiga ini dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tinggi dan Panjang Segmen *Arch Rib* untuk Model 3

L (m)	x (m)	y (m)
0	0	1.8
6.34	6.34	1.83
12.32	18.66	1.88
11.87	30.54	1.93
11.46	42.00	1.97
11.09	53.09	2.02
10.77	63.86	2.06
10.50	74.36	2.10
10.28	84.64	2.15
10.13	94.77	2.19
10.03	104.80	2.23
5.00	109.80	2.25

Dengan pengertian,

- L adalah panjang per segmen pelengkung (*spring to crown*)
- x adalah panjang total pelengkung dihitung dari kaki pelengkung
- y adalah tinggi penampang pelengkung untuk tiap segmen

- a. *arch rib*, profil penampang pada kaki pelengkung (*spring*)

Gambar 3.16 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib Model 3 (Spring)*

- b. *arch rib*, profil penampang pada puncak pelengkung (*crown*)

Gambar 3.17 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib Model 3 (Crown)*

c. *arch rib*, profil nonprismatis segmen pertama ($x_1 = 0, x_2 = 6.34$)

Start Section	End Section	Length	Length Type	E133 Variation	E122 Variation
ARCH-1.80X1	ARCH-1.83X1	1.	Variable	Linear	Linear
ARCH-1.80X1	ARCH-1.83X1	1.	Variable	Linear	Linear

Gambar 3.18 *Nonprismatic Section Input* Segmen 1 untuk Model 3

Untuk pembagian segmen pada pelengkung utama untuk model 3 ini sama dengan pada model 2 dimana terdiri dari 11 segmen penampang nonprismatis dari *spring* sampai *crown*.

3.4.4 Model 4 (*Spring-crown ratio* = 1.25:1)

Pada model yang keempat ini, nilai rasio yang diambil untuk perbandingan antara tinggi penampang pada kaki pelengkung (*spring*) dengan puncak pelengkung (*crown*) adalah 1.25:1. Tinggi penampang pada *spring* adalah 2,00 meter sedangkan pada *crown* adalah 1,60 meter. Sama halnya dengan pada model kedua dan ketiga, digunakan profil *nonprismatic section* untuk input per segmen pelengkung pada program SAP2000. Ukuran dan panjang masing-masing segmen untuk model ketiga ini dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3.3 Tinggi dan Panjang Segmen *Arch Rib* untuk Model 4

L (m)	x (m)	y (m)
0	0	2
6.34	6.34	1.98

L (m)	x (m)	y (m)
12.32	18.66	1.93
11.87	30.54	1.89
11.46	42.00	1.85
11.09	53.09	1.81
10.77	63.86	1.77
10.50	74.36	1.73
10.28	84.64	1.69
10.13	94.77	1.65
10.03	104.80	1.62
5.00	109.80	1.60

Dengan pengertian,

L adalah panjang per segmen pelengkung (*spring to crown*)

x adalah panjang total pelengkung dihitung dari kaki pelengkung

y adalah tinggi penampang pelengkung untuk tiap segmen

a. *arch rib*, profil penampang pada kaki pelengkung (*spring*)

The screenshot shows a software dialog box for defining a frame section. The 'Section Name' is 'ARCH-2.00x1'. The 'Material' is 'BJ 41'. The 'Dimensions' section includes: Outside depth (t3) = 2, Outside width (t2) = 1, Flange thickness (tf) = 0.03, and Web thickness (tw) = 0.03. A small diagram on the right shows a rectangular cross-section on a grid with axes labeled 2 and 3. The 'Display Color' is set to blue. Buttons for 'OK' and 'Cancel' are at the bottom.

Gambar 3.19 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 4 (*Spring*)

b. *arch rib*, profil penampang pada puncak pelengkung (*crown*)

Section Name ARCH-1.60x1

Section Notes

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions

Outside depth (t3) 1.6

Outside width (t2) 1

Flange thickness (tf) 0.03

Web thickness (tw) 0.03

Display Color

Gambar 3.20 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 4 (*Crown*)

c. *arch rib*, profil nonprismatis segmen pertama ($x_1 = 0$, $x_2 = 6.34$)

Nonprismatic Section Name NP1

Section Notes

Start Section	End Section	Length	Length Type	EI33 Variation	EI22 Variation
ARCH-2.00x1	ARCH-1.98x1	1.	Variable	Linear	Linear
ARCH-2.00x1	ARCH-1.98x1	1.	Variable	Linear	Linear

Gambar 3.21 *Nonprismatic Section Input* Segmen 1 untuk Model 4

3.4.5 Model 5 (*Spring-crown ratio* = 1.2:1)

Pada model yang keempat ini, nilai rasio yang diambil untuk perbandingan antara tinggi penampang pada kaki pelengkung (*spring*) dengan puncak pelengkung (*crown*) adalah 1.2:1. Tinggi penampang pada *spring* adalah 1,92 meter sedangkan pada *crown* adalah 1,60 meter. Sama halnya dengan pada model kedua, ketiga, dan keempat, digunakan profil *nonprismatic section* untuk input per segmen pelengkung pada program SAP2000. Ukuran dan panjang masing-masing segmen untuk model ketiga ini dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3.4 Tinggi dan Panjang Segmen *Arch Rib* untuk Model 5

L (m)	x (m)	y (m)
0	0	1.92
6.34	6.34	1.90
12.32	18.66	1.87
11.87	30.54	1.83
11.46	42.00	1.80
11.09	53.09	1.77
10.77	63.86	1.73
10.50	74.36	1.70
10.28	84.64	1.67
10.13	94.77	1.64
10.03	104.80	1.61
5.00	109.80	1.60

Dengan pengertian,

- L adalah panjang per segmen pelengkung (*spring to crown*)
- x adalah panjang total pelengkung dihitung dari kaki pelengkung
- y adalah tinggi penampang pelengkung untuk tiap segmen

- a. *arch rib*, profil penampang pada kaki pelengkung (*spring*)

Section Name ARCH-1.92X1
 Section Notes

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions
 Outside depth (t3) 1.92
 Outside width (t2) 1.
 Flange thickness (tf) 0.03
 Web thickness (tw) 0.03

Display Color

Gambar 3.22 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 5 (*Spring*)

- b. *arch rib*, profil penampang pada puncak pelengkung (*crown*)

Section Name ARCH-1.60X1
 Section Notes

Properties Property Modifiers Material + BJ 41

Dimensions
 Outside depth (t3) 1.6
 Outside width (t2) 1.
 Flange thickness (tf) 0.03
 Web thickness (tw) 0.03

Display Color

Gambar 3.23 *Frame Section Input* untuk *Arch Rib* Model 5 (*Crown*)

c. *arch rib*, profil nonprismatis segmen pertama ($x_1 = 0$, $x_2 = 6.34$)

Gambar 3.24 *Nonprismatic Section Input* Segmen 1 untuk Model 5

Secara keseluruhan, jika diringkas dalam satu tabel untuk setiap profil penampang yang digunakan untuk masing-masing model struktur dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 3.5 Variasi dan Ukuran Penampang Model Struktur

Model	Elemen Struktur	Ukuran Penampang (m)			Keterangan
		h	b	t	
1	Arch Rib	1.60	0.85	0.03	Spring-crown ratio = 1:1
	Tie Beam	1.60	0.85	0.03	
2	Arch Rib (spring)	1.80	1.00	0.03	Spring-crown ratio = 1:1.2
	Arch Rib (crown)	2.16	1.00	0.03	
	Tie Beam	1.60	0.85	0.03	
3	Arch Rib (spring)	1.80	1.00	0.03	Spring-crown ratio = 1:1.25
	Arch Rib (crown)	2.25	1.00	0.03	
	Tie Beam	1.60	0.85	0.03	
4	Arch Rib (spring)	2.00	1.00	0.03	Spring-crown ratio = 1.25:1
	Arch Rib (crown)	1.60	1.00	0.03	
	Tie Beam	1.60	0.85	0.03	
5	Arch Rib (spring)	1.92	1.00	0.03	Spring-crown ratio = 1.2:1
	Arch Rib (crown)	1.60	1.00	0.03	
	Tie Beam	1.60	0.85	0.03	

3.5 Pembebanan Struktur

Pembebanan yang diberikan pada model jembatan mengacu pada Peraturan Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T02-2005) dan desain yang mengacu pada Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. Sementara itu, metode perhitungan yang digunakan menggunakan kode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) yang dibuat oleh AISC. Input pembebanan akan disesuaikan dengan program komputer yang digunakan yaitu SAP2000 v.11.0.0 Advanced agar didapatkan input serta output yang sesuai. Berikut ini adalah nilai nominal perencanaan pembebanan yang akan digunakan dalam model jembatan:

3.5.1 Beban Tetap

Terdiri dari :

- Berat sendiri baja = 7850 kg/m^3 (77 kN/m^3)
- Berat sendiri beton (*deck slab*) = 2400 kg/m^3 (24 kN/m^3)

Kedua beban diatas didefinisikan langsung oleh program SAP2000.

- Berat sendiri trotoar (beton) = 2400 kg/m^3 (24 kN/m^3)
- Berat aspal beton = 2240 kg/m^3 (22 kN/m^3)

Beban trotoar dan lapisan aspal beton merupakan beban mati sekunder/tambahan (*super impose dead load*) yang beratnya tetap namun dapat berubah selama masa layan jembatan, dan diperhitungkan sebagai input beban dalam SAP2000.

- Beban trotoar = $0.2 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 4.8 \text{ kN/m}^2$

Trotoar berada di sepanjang bentang pada kedua sisi jembatan dengan lebar 1.5 meter dan bekerja sebagai beban merata area.

- Beban railing = $0.5 \times 0.8 \text{ m} \times (0.25 + 0.15) \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3$
= 3.84 kN/m

Railing berada di sepanjang bentang pada kedua sisi jembatan dan bekerja sebagai beban garis merata.

- Beban lapisan aspal beton = $0.05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 = 1.1 \text{ kN/m}^2$

Lapisan perkerasan aspal beton berada pada seluruh lajur lalu lintas selebar 7 m di sepanjang bentang jembatan dan bekerja sebagai beban merata area.

3.5.2 Beban Lalu Lintas

Terdiri dari :

- Beban Lajur “D”
 - Beban terbagi merata (BTR)

Untuk $L > 30 \text{ m}$:

$$q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

$$q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{200} \right) \text{ kPa}$$

$$q = 5,175 \text{ kPa}$$

- Beban Garis (BGT)

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

Beban ini perlu dikalikan dengan Dynamic Load Allowance (DLA) atau Faktor Pembesaran Dinamis (FBD) yang diambil sebesar 30% untuk bentang diatas 90 m maka,

$$P = (1 + \text{FBD}) \times \text{BGT} = (1 + 0,3) \times 49 \text{ kN/m} = 63,7 \text{ kN/m}$$

Beban garis hanya akan diletakkan pada posisi tengah bentang dengan pertimbangan untuk mendapatkan nilai lendutan dan gaya dalam maksimum pada model struktur. Hal ini diperoleh dari pemindahan posisi beban garis untuk tiap jarak hanger dan diperoleh hasil maksimum jika beban tersebut diletakkan pada posisi tengah bentang.

- Gaya Rem

Besarnya beban akibat gaya rem diambil 5% dari beban terbagi rata “D” (q). Gaya rem dianggap bekerja horizontal pada sumbu jembatan dan untuk bentang diatas 30 meter diambil nilai $q = 9 \text{ kPa}$.

$$\text{Beban Total Akibat Gaya Rem} = 0,05 \times 9 \text{ kPa} = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Merata tiap Floor Beam} &= 0,45 \text{ kN/m}^2 \times 200 \text{ m} : 21 \\ &= 4,21 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Pejalan Kaki

Untuk trotoar yang hanya diperuntukkan bagi pejalan kaki tanpa dilalui oleh kendaraan ringan atau ternak direncanakan untuk memikul beban nominal 5 kPa.

3.5.3 Beban Aksi Lingkungan

Terdiri dari:

- Beban Angin

Beban angin yang bekerja pada sistem superstruktur jembatan dihitung sebagai berikut :

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

Dengan asumsi struktur tidak masif (rangka) maka diambil luasan yang terkena beban angin sebesar 30% dari total luas sisi jembatan.

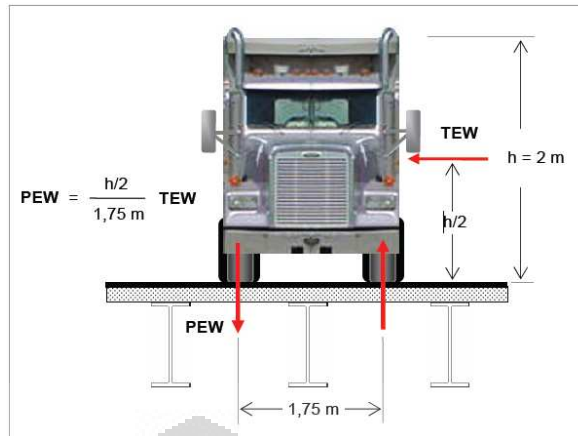
$$A_b = 30\% \int_{-100}^{100} -0,004x^2 + 40 \, dx$$

$$A_b = 30\% \cdot \frac{16000}{3} = 1600 \, m^2$$

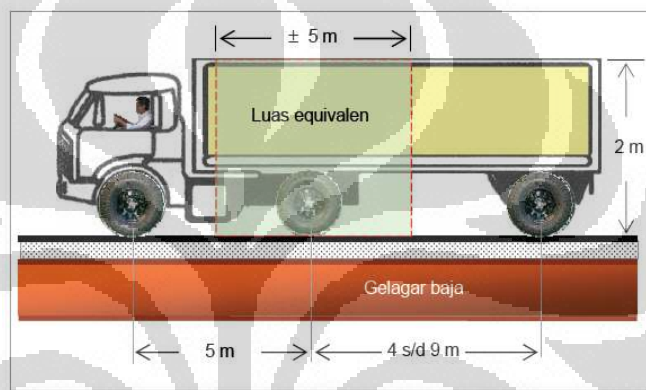
$C_w = 1,2$; $V_w = 30 \, m/s$ (Asumsi jembatan terletak > 5 km dari pantai)
maka,

$$T_{EW} = 0,0006 (1,2)(30)^2 (1600) = 1036,8 \, \text{kN}$$

Beban angin diasumsikan bekerja sebagai beban terpusat pada joint di sisi jembatan yang berjumlah 40 titik sehingga besarnya beban per titik adalah 25,92 kN.



Gambar 3.26 Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan



Gambar 3.27 Luas Ekuivalen Untuk Beban Angin Pada Kendaraan

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \quad [\text{kN}]$$

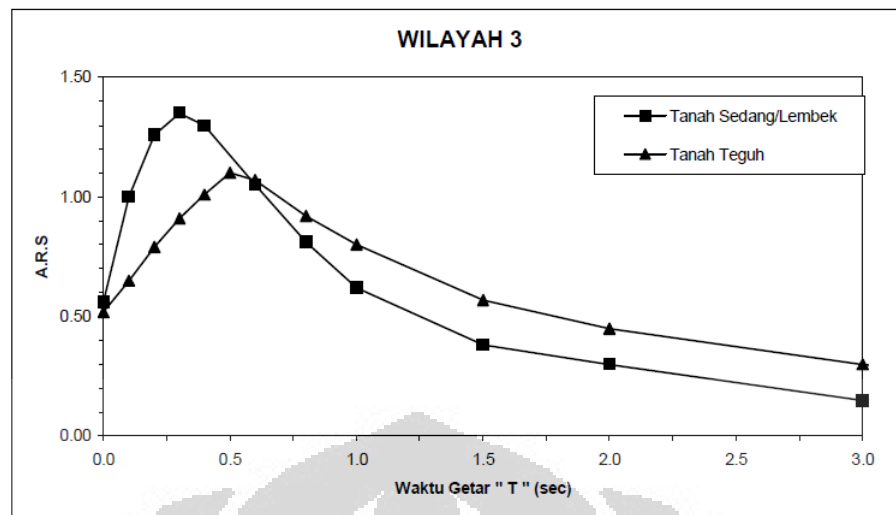
$$C_w = 1,2 ; V_w = 30 \text{ m/s (Asumsi jembatan terletak } > 5 \text{ km dari pantai)}$$

$$T_{EW} = 0,0012 (1,2)(30)^2 (10) = 12,96 \quad [\text{kN/m}]$$

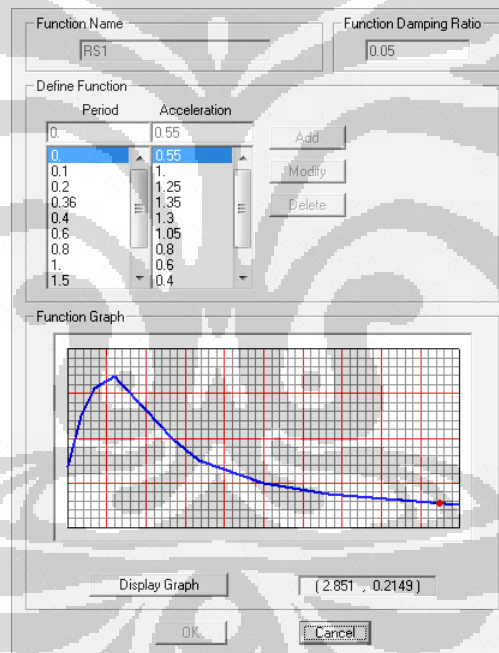
$$P_{EW} = \left(\frac{h}{2}\right) \cdot \left(\frac{T_{EW}}{1,75}\right) = 7,41 \quad [\text{kN/m}]$$

- Beban Gempa

Besarnya beban gempa diperhitungkan dengan metode *response spectrum* karena tipe jembatan merupakan jembatan khusus sehingga diperlukan analisis secara dinamis untuk perhitungan beban gempanya. Jembatan direncanakan berada pada wilayah 3 dengan kondisi tanah lunak untuk zona gempa di Indonesia. Berikut ini merupakan spektrum percepatan yang digunakan untuk analisis beban gempa dinamis.



Gambar 3.28 Spektrum Percepatan untuk Analisis Dinamis Gempa Wilayah 3



Gambar 3.29 Input *Response Spectrum Function* untuk Model Struktur

3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban didasarkan kepada beberapa aksi beban yang mungkin bekerja secara bersamaan dan berpotensi memberikan pengaruh maksimum bagi keseluruhan struktur. Pengaruh tersebut dapat berupa tegangan, reaksi perletakan, gaya dalam struktur, maupun lendutan ijin pada jembatan. Kombinasi beban yang digunakan mengacu pada RSNI Pembebanan untuk Jembatan dengan tujuan untuk

mendapatkan kondisi yang dapat menghasilkan nilai terbesar untuk 2 syarat kelayakan struktur yaitu daya layan (*serviceability*), yang dibatasi oleh lendutan maksimum pada tengah bentang sebesar $1/800 L$, dan kondisi ultimit (*ultimate*) yang membatasi rasio tegangan terjadi pada setiap bagian dari struktur. Kombinasi tersebut disyaratkan untuk memenuhi aturan sebagai berikut :

3.5.4.1 Kombinasi beban untuk keadaan batas daya layan

Pada keadaan batas daya layan, lebih dari satu aksi transien bisa terjadi secara bersamaan. Kombinasi beban tersebut bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.6 Kombinasi Beban Untuk Keadaan Batas Daya Layan

Kombinasi Primer	Aksi tetap + satu aksi transien
Kombinasi Sekunder	Kombinasi primer + 0,7 x satu aksi transien lainnya
Kombinasi Tersier	Kombinasi primer + 0,5 x satu aksi transien lainnya

(Sumber : RSNI T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

Tabel 3.7 Faktor Untuk Kombinasi Beban Keadaan Batas Daya Layan

Aksi		Kombinasi (Layan)					
		1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen	Berat Sendiri	1	1	1	1	1	1
	Berat mati tambahan	1	1	1	1	1	1
Aksi Transien	Beban Lajur "D"	1	1	1	0,5	1	
	Gaya Rem	1	0,7	0,5	0,5	0,7	
	Beban pejalan kaki		1				
	Beban angin			0,5	1	1	1
Aksi Khusus	Gempa						

(Sumber : Olahan Sendiri)

3.5.4.2 Kombinasi beban untuk keadaan batas ultimit

Kombinasi pada keadaan ini umumnya terdiri dari sejumlah aksi tetap dengan satu aksi transien. Khusus untuk gaya rem, beban ini harus selalu bekerja bersamaan dengan beban “D” dan bisa dianggap sebagai satu aksi untuk kombinasi beban. Beberapa aksi bisa terjadi pada tingkat daya layan dengan aksi lainnya yang terjadi pada tingkat ultimit. Pada keadaan ultimit, tidak diadakan aksi transien lain apabila dilakukan kombinasi dengan beban gempa.

Tabel 3.8 Faktor Untuk Kombinasi Beban Keadaan Batas Ultimit

Aksi		Kombinasi (Ultimit)					
		1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen	Berat Sendiri	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Berat mati tambahan	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Aksi Transien	Beban Lajur “D”	1,8	1	1	1		
	Gaya Rem	1,8	1	1	1		
	Beban pejalan kaki		1,8				
	Beban angin	1			1,2		1
Aksi Khusus	Gempa					1	

(Sumber : Olahan Sendiri)

Beban gempa yang digunakan pada studi ini terdiri dari beban gempa arah sumbu x (memanjang) dan arah sumbu y (melintang). Beban gempa ini dikombinasikan sebagai berikut :

1. Kombinasi beban 1 : 100% gaya gerakan memanjang ditambah 30% gaya gerakan melintang
2. Kombinasi beban 2 : 100% gaya gerakan arah melintang ditambah 30% gerakan arah memanjang.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

Tied arch bridge merupakan tipe jembatan dengan struktur utamanya berbentuk pelengkung dan dihubungkan dengan *tie beam* pada bagian perletakkannya untuk menahan gaya tarik yang terjadi pada struktur. Di dalam tugas akhir ini, struktur jembatan dimodelkan secara 3 dimensi, baik untuk permodelan maupun untuk perilaku struktur tersebut saat dikenai beban. Hal ini berarti bahwa untuk setiap titik nodal di dalam elemen struktur, akan ada pergerakan dalam arah sumbu x, y, dan z. Selain deformasi, nodal-nodal di dalam elemen juga dapat mengalami rotasi pada ketiga sumbu tersebut.

Prinsip dasar dari perilaku struktur jembatan pelengkung ini adalah bahwa pemikul beban utama dari keseluruhan struktur adalah elemen pelengkung (*arch rib*) yang kemudian akan disalurkan untuk ditahan pada perletakan jembatan. Pelengkung utama akan menahan gaya dan beban yang terjadi pada *tie girder* yang sekaligus juga berfungsi sebagai struktur yang menahan gaya tarik pada kaki pelengkung utama. *Tie girder* sendiri akan menerima beban dari *floor beam* atau balok girder melintang yang diletakkan pada setiap jarak 10 meter. Balok girder melintang ini merupakan struktur yang menahan *stringer* atau balok girder memanjang yang diletakkan searah dengan arah lalu lintas dan langsung menerima beban dari *slab* dan/atau perkerasan jalan, beban lalu lintas, dan beban mati lainnya yang merupakan bagian dari berat mati tambahan struktur.

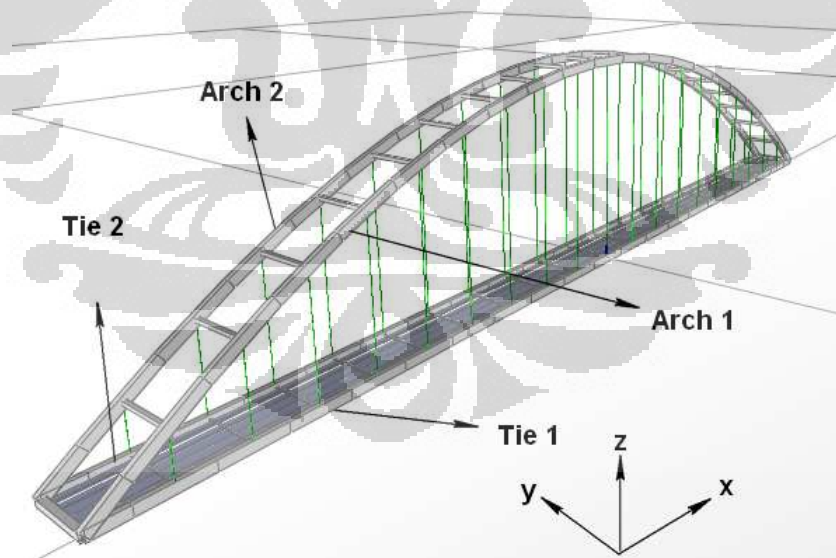
4.1 Hasil Perhitungan Model Struktur

Seperti telah dijelaskan pada bagian dasar teori sebelumnya, jembatan pelengkung memiliki beberapa elemen yang penting dan merupakan bagian dari struktur utama jembatan tersebut. Di dalam studi ini, elemen dari jembatan yang dimodelkan diusahakan agar mendekati kondisi sesungguhnya dengan diberikan spesifikasi dan perlakuan yang semirip mungkin. Hal ini penting mengingat hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi sebuah input bagi desain jembatan yang sebenarnya pada saat akan dilakukan perencanaan dan konstruksi. Oleh karena itu,

dari model-model yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisis struktur untuk model-model tersebut dengan bantuan dari program SAP2000. Adapun *output* atau hasil yang akan dianalisis kemudian adalah meliputi:

- Lendutan (defleksi) struktur
- Gaya-gaya dalam dan tegangan elemen struktur
- Reaksi perletakan struktur
- Respon struktur terhadap beban gempa

Analisis yang dimaksudkan disini adalah bertujuan untuk membandingkan antara satu model dengan model yang lainnya mengenai bagaimana perilaku dan ketahanan struktur terhadap variasi-variasi yang diberikan. Dalam hubungannya terhadap variasi penampang nonprismatis pada *arch rib* struktur, hal utama yang diharapkan untuk diketahui adalah bagaimana pengaruh pemberian variasi tersebut terhadap besarnya lendutan maksimum yang terjadi pada struktur dan efisiensi penggunaan material dikaitkan dengan berat struktur dan kebutuhan ukuran profil yang cukup untuk menahan tegangan dan beban yang diterima struktur.



Gambar 4.1 Identifikasi dan Penamaan Elemen Struktur

Untuk mempermudah identifikasi dari masing-masing elemen struktur yang akan dibahas, gambar diatas menunjukkan letak dari *arch* dan *tie beam* pada model struktur. Gambar sumbu cartesian menunjukkan arah sumbu bidang pada struktur.

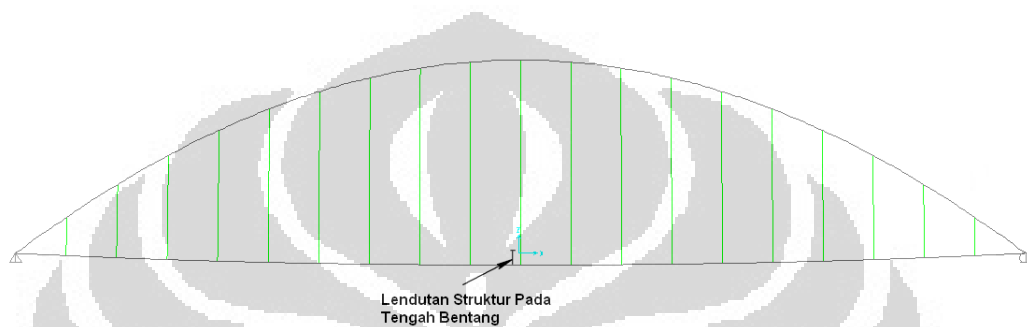
4.1.1 Lendutan (Defleksi) Struktur

Berikut ini adalah besar lendutan maksimum yang terjadi pada elemen utama pada model struktur yang didapat dari hasil perhitungan analisis oleh program SAP2000. Batas nilai lendutan ijin yang boleh terjadi pada struktur adalah sebesar 25 cm atau 0,25 m ($1/800 L$). Nilai tersebut diambil dari syarat yang ada pada AASHTO LRFD *Bridge Design* 2007. Nilai lendutan maksimum untuk masing-masing elemen struktur terjadi pada tengah bentang

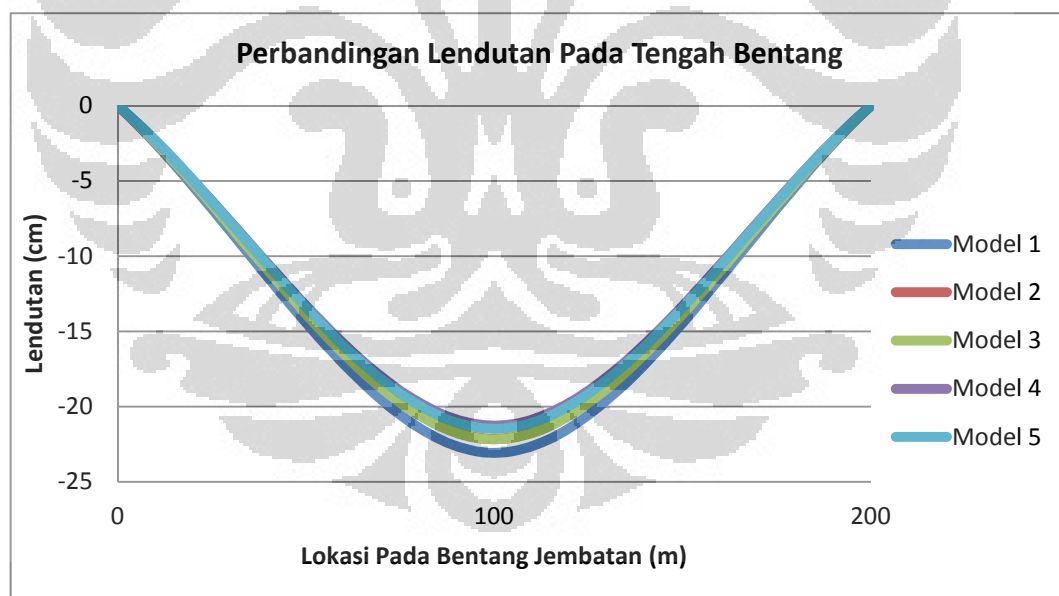
Tabel 4.1 Nilai Lendutan Maksimum Elemen Struktur

Model	Kombinasi	Lendutan Elemen Struktur (cm)			
		Arch 1	Arch 2	Tie 1	Tie 2
1	Daya Layan 1	14.91	14.91	20.99	20.99
	Daya Layan 2	16.37	16.37	23.09	23.09
	Daya Layan 3	14.39	15.54	20.52	21.58
	Daya Layan 4	12.10	14.39	17.49	19.61
	Daya Layan 5	13.79	16.09	19.97	22.08
	Daya Layan 6	10.43	12.73	15.06	17.18
2	Daya Layan 1	14.15	14.15	20.22	20.22
	Daya Layan 2	15.44	15.44	22.15	22.15
	Daya Layan 3	13.73	14.69	19.83	20.72
	Daya Layan 4	11.73	13.65	17.10	18.88
	Daya Layan 5	13.23	15.14	19.36	21.14
	Daya Layan 6	10.28	12.19	14.87	16.65
3	Daya Layan 1	14.21	14.21	20.28	20.28
	Daya Layan 2	15.48	15.48	22.20	22.20
	Daya Layan 3	13.80	14.74	19.90	20.78
	Daya Layan 4	11.83	13.72	17.19	18.95
	Daya Layan 5	13.30	15.19	19.44	21.20
	Daya Layan 6	10.39	12.28	14.98	16.74
4	Daya Layan 1	13.18	13.18	19.28	19.28
	Daya Layan 2	14.53	14.53	21.27	21.27
	Daya Layan 3	12.74	13.73	18.88	19.80
	Daya Layan 4	10.64	12.64	16.05	17.89
	Daya Layan 5	12.21	14.21	18.39	20.23
	Daya Layan 6	9.11	11.10	13.74	15.58
5	Daya Layan 1	13.39	13.39	19.49	19.49
	Daya Layan 2	14.75	14.75	21.49	21.49
	Daya Layan 3	12.94	13.95	19.08	20.01
	Daya Layan 4	10.83	12.85	16.24	18.10
	Daya Layan 5	12.41	14.43	18.59	20.46
	Daya Layan 6	9.28	11.30	13.92	15.78

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai lendutan maksimum yang terjadi baik pada *arch* maupun *tie beam* diperoleh pada kombinasi pembebanan daya layan 2 (1 Beban Mati + 1 Beban Utilitas + 1 Beban Lajur “D” + 0,7 Gaya Rem + 1 Beban Pejalan Kaki). Nilai lendutan pada struktur ini hanya diambil nilai maksimumnya pada kondisi pembebanan untuk batas daya layan (*serviceability*). Hal ini bertujuan untuk menjaga kenyamanan pengguna jembatan selama masa layan jembatan.



Gambar 4.2 Bentuk Lendutan yang Terjadi Pada Model Struktur

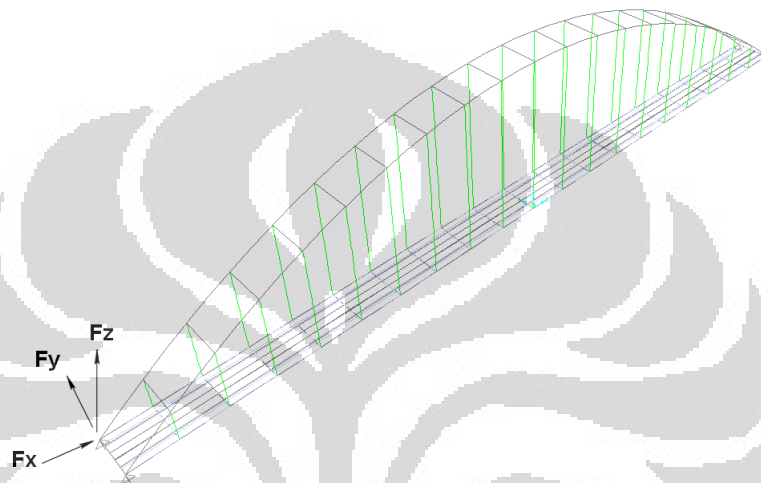


Gambar 4.3 Perbandingan Lendutan Tiap Variasi Model

4.1.2 Reaksi Perletakan dan Berat Struktur

Reaksi perletakan yang terjadi adalah pada kedua ujung dari jembatan, dimana pada ujung yang pertama menggunakan perletakan sendi yang menahan aksi pada arah x, y, dan z, sedangkan ujung yang lain menggunakan perletakan rol

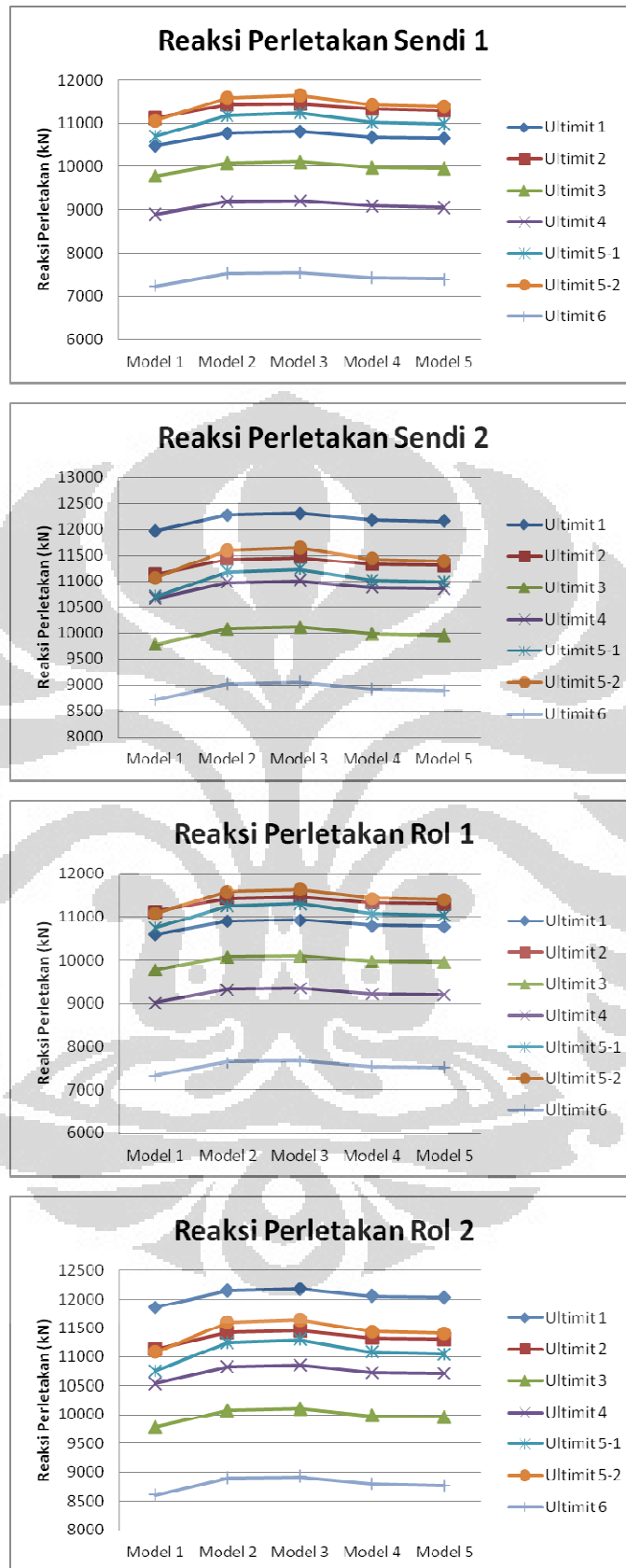
yang menahan aksi pada arah y dan z. Reaksi perletakan yang ditinjau disini akan mempertimbangkan reaksi dari dua segi. Yang pertama adalah reaksi perletakan hanya pada kondisi pembebanan untuk beban mati pada jembatan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui berat dari struktur dilihat dari material utama yang digunakan. Yang kedua adalah reaksi dari masing-masing model terhadap kombinasi pembebanan ultimit.



Gambar 4.4 Arah Reaksi Perletakan Struktur

Tabel 4.2 Reaksi Perletakan dan Berat Struktur

Model	Elemen	Reaksi Perletakan (kN)			Berat Struktur (ton)
		Fx	Fy	Fz	
1	Sendi	0.009069	-111.559	2948.762	1201.915
	Rol	0	-111.559	2948.761	
2	Sendi	0.009965	-122.583	3220.704	1312.759
	Rol	0	-122.583	3220.703	
3	Sendi	0.01	-123.832	3246.716	1323.361
	Rol	0	-123.832	3246.715	
4	Sendi	0.009524	-117.05	3130.129	1275.840
	Rol	0	-117.05	3130.128	
5	Sendi	0.009477	-116.478	3108.725	1267.116
	Rol	0	-116.478	3108.724	



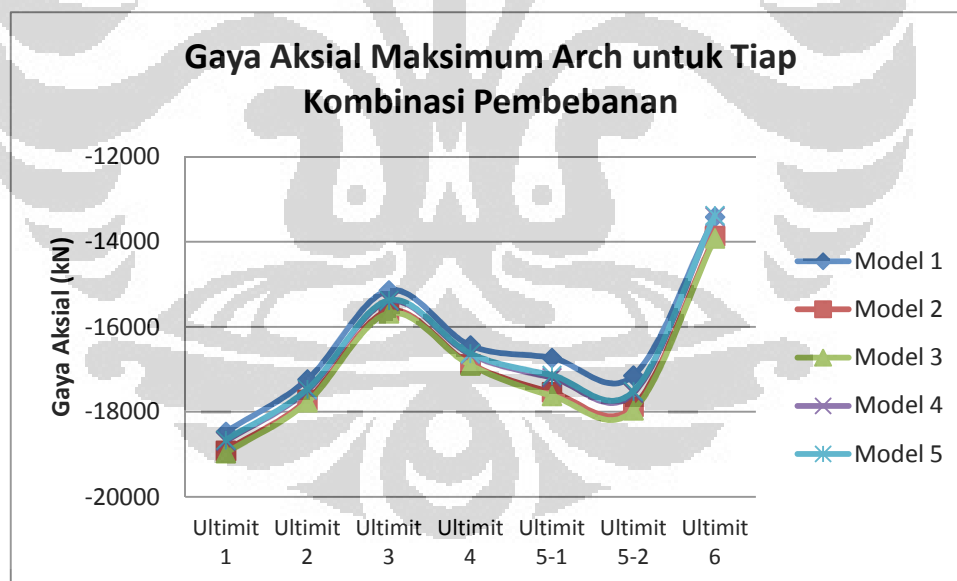
Gambar 4.5 Reaksi Perletakan Struktur Untuk Tiap Kombinasi Pembebanan

4.1.3 Gaya Dalam Aksial

Gaya dalam aksial adalah gaya yang terjadi pada elemen struktur yang mempunyai arah sejajar pada sumbu elemen. Dari gambar dan tabel di bawah dapat dilihat bahwa gaya aksial tekan terjadi pada *arch*, sedangkan gaya aksial tarik terjadi pada *tie*. Selain itu, gaya aksial tarik juga dialami oleh *hanger*.

Tabel 4.3 Gaya Aksial Maksimum *Arch* untuk Tiap Kombinasi Pembebanan

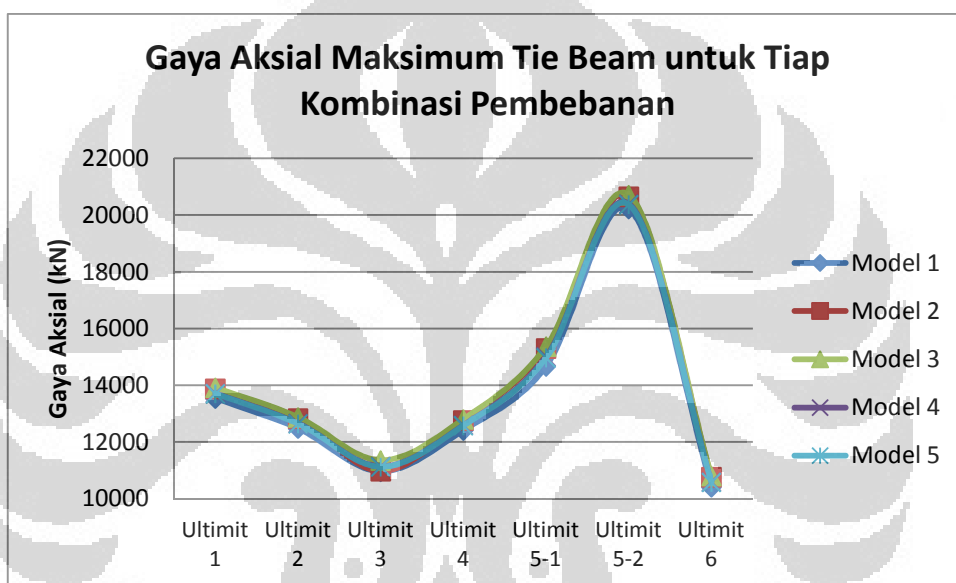
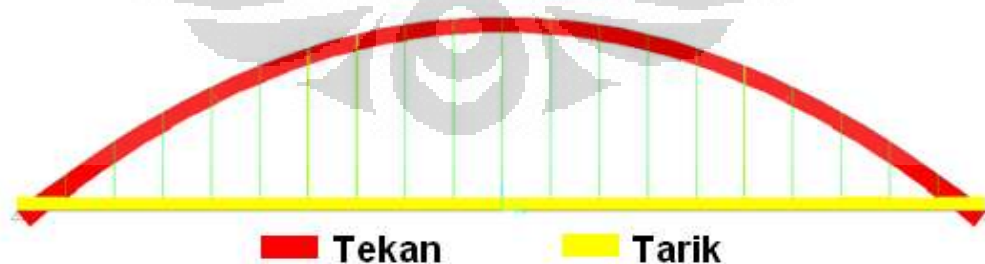
Kombinasi Pembebanan	Gaya Aksial Maksimum Arch (kN)				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Ultimit 1	-18467.42	-18912.53	-18964.49	-18686.15	-18660.73
Ultimit 2	-17234.73	-17716.12	-17768.38	-17492.88	-17465.29
Ultimit 3	-15141.50	-15625.25	-15677.69	-15402.11	-15374.16
Ultimit 4	-16436.78	-16877.17	-16901.50	-16650.31	-16624.94
Ultimit 5-1	-16729.87	-17532.80	-17617.65	-17191.85	-17139.33
Ultimit 5-2	-17144.11	-17873.86	-17957.07	-17557.54	-17514.69
Ultimit 6	-13412.75	-13863.51	-13915.88	-13404.14	-13379.52



Gambar 4.6 Grafik Gaya Aksial Maksimum Tiap Kombinasi Pembebanan untuk *Arch*

Tabel 4.4 Gaya Aksial Maksimum *Tie Beam* untuk Tiap Kombinasi Pembebanan

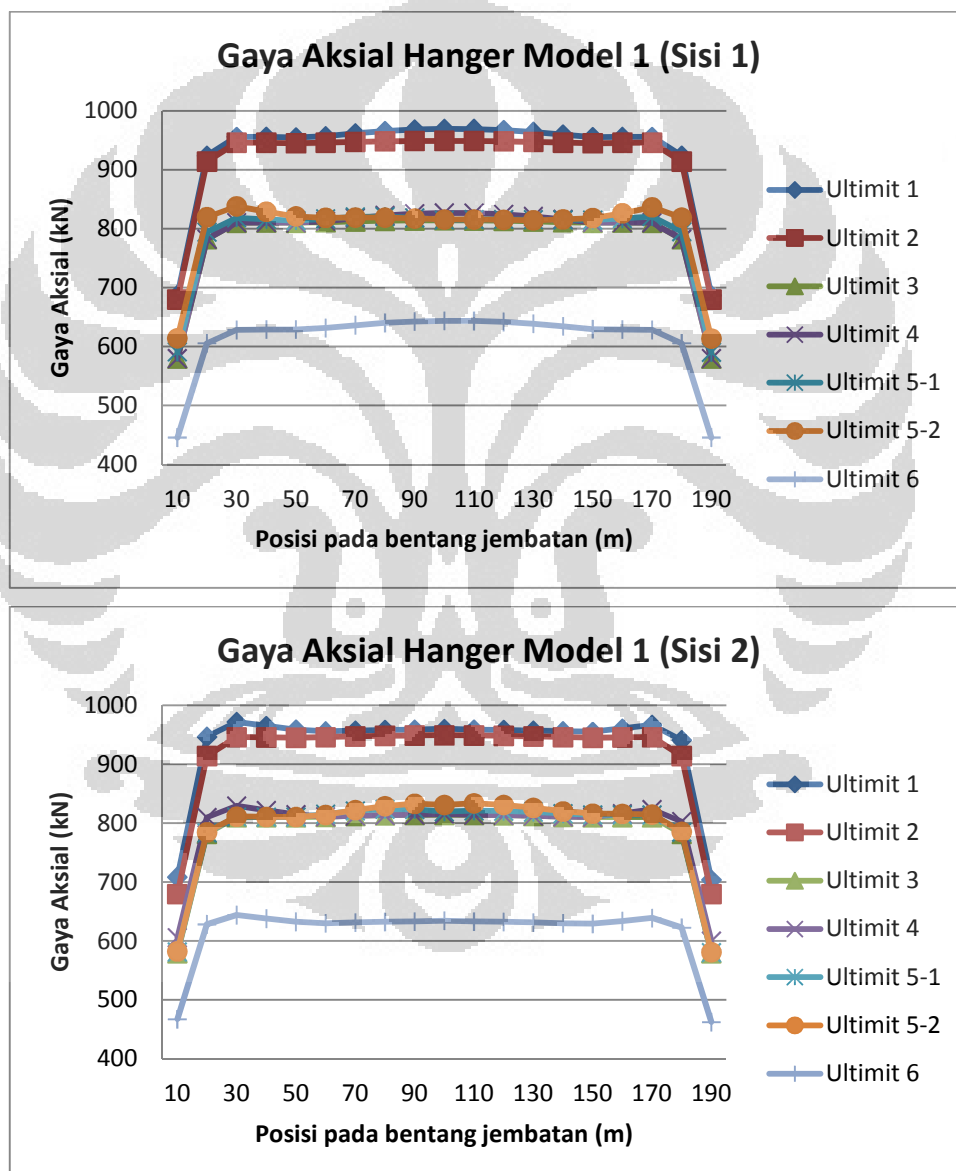
Kombinasi Pembebanan	Gaya Aksial Maksimum Tie (kN)				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Ultimit 1	13538.72	13881.73	13918.96	13720.02	13701.55
Ultimit 2	12474.35	12830.01	12868.60	12661.02	12642.38
Ultimit 3	10953.52	10971.36	11348.48	11140.04	11121.37
Ultimit 4	12414.46	12761.91	12799.89	12596.04	12577.57
Ultimit 5-1	14672.22	15299.91	15366.74	15015.28	14974.01
Ultimit 5-2	20221.07	20656.05	20710.26	20398.19	20373.11
Ultimit 6	10414.68	10761.51	10799.83	10593.63	10575.27

Gambar 4.7 Grafik Gaya Aksial Maksimum Tiap Kombinasi Pembebanan untuk *Tie Beam*

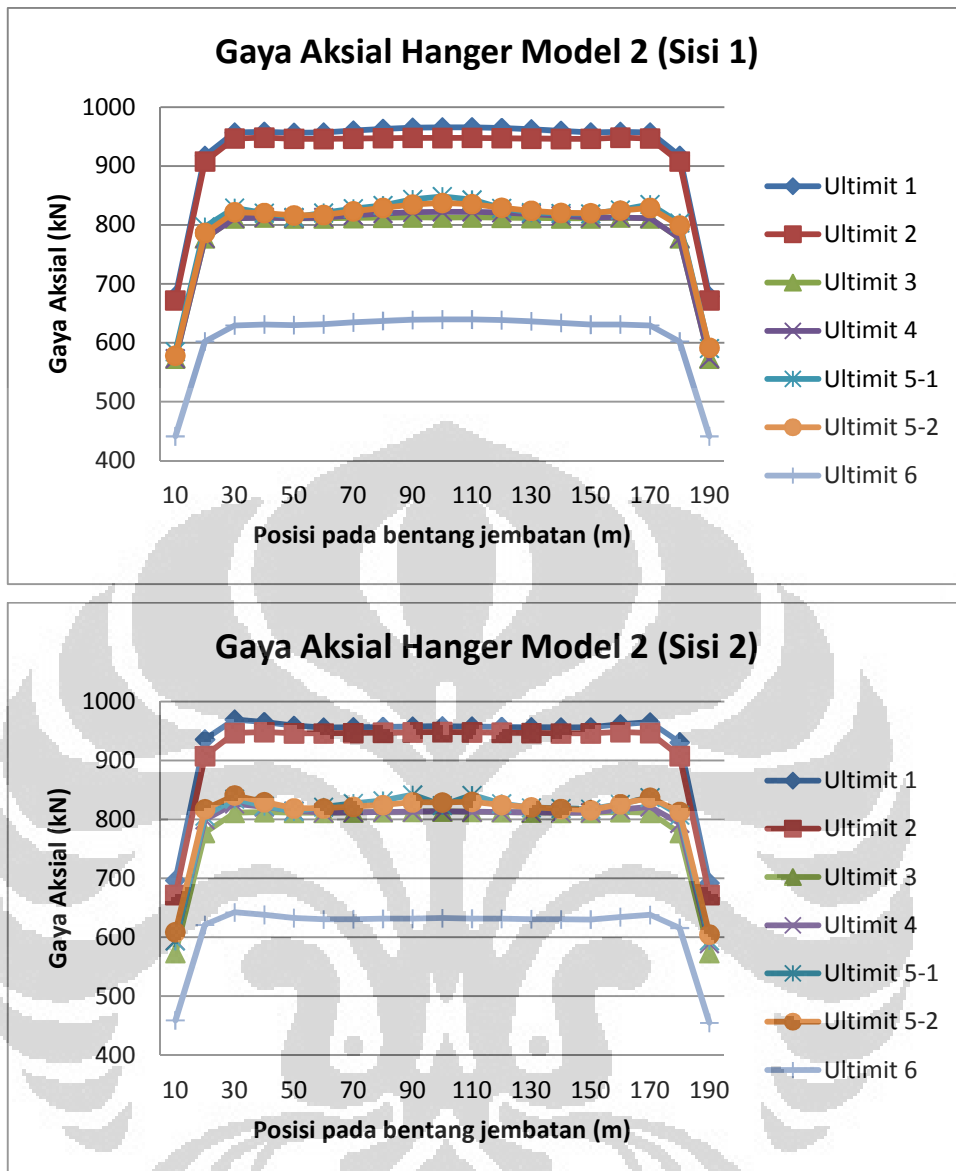
Gambar 4.8 Diagram Gaya Dalam Aksial Struktur

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa nilai gaya dalam aksial yang terjadi baik pada elemen *arch* maupun *tie beam* cenderung semakin besar saat

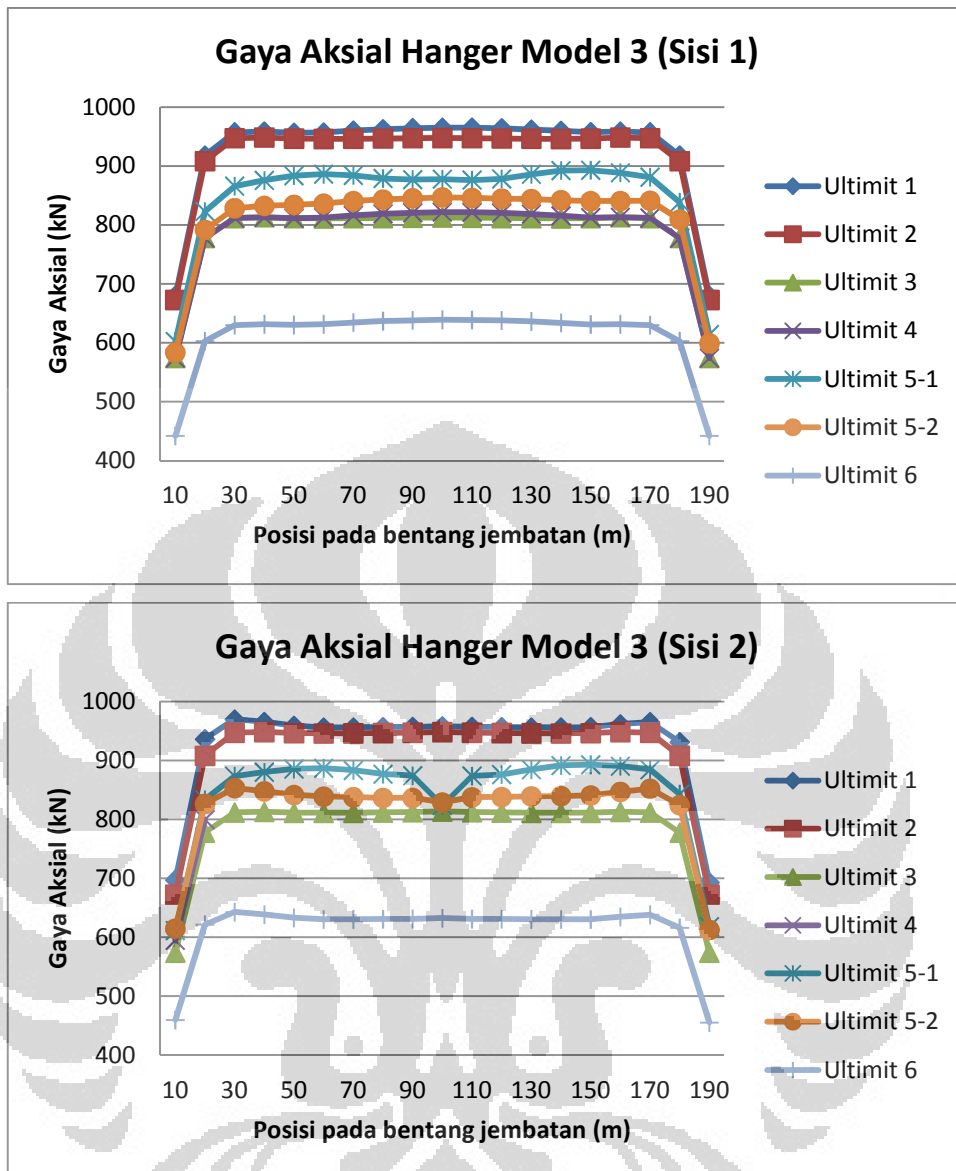
semakin mendekati tumpuan. Pada gambar grafik gaya aksial untuk tiap kombinasi pembebanan di atas, dapat dilihat bahwa gaya aksial maksimum untuk elemen *arch* diperoleh pada kondisi pembebanan ultimit 1 (1,1 Berat Mati + 1,4 Berat Utilitas + 1,8 Beban lajur “D” + 1,8 Gaya Rem + 1 Beban Angin). Sedangkan pada elemen *tie beam*, kondisi maksimum didapatkan pada kombinasi pembebanan ultimit 5-2 (1,1 Berat Mati + 1,4 Berat Utilitas + 0,3 Beban Gempa U1 + 1 Beban Gempa U2).



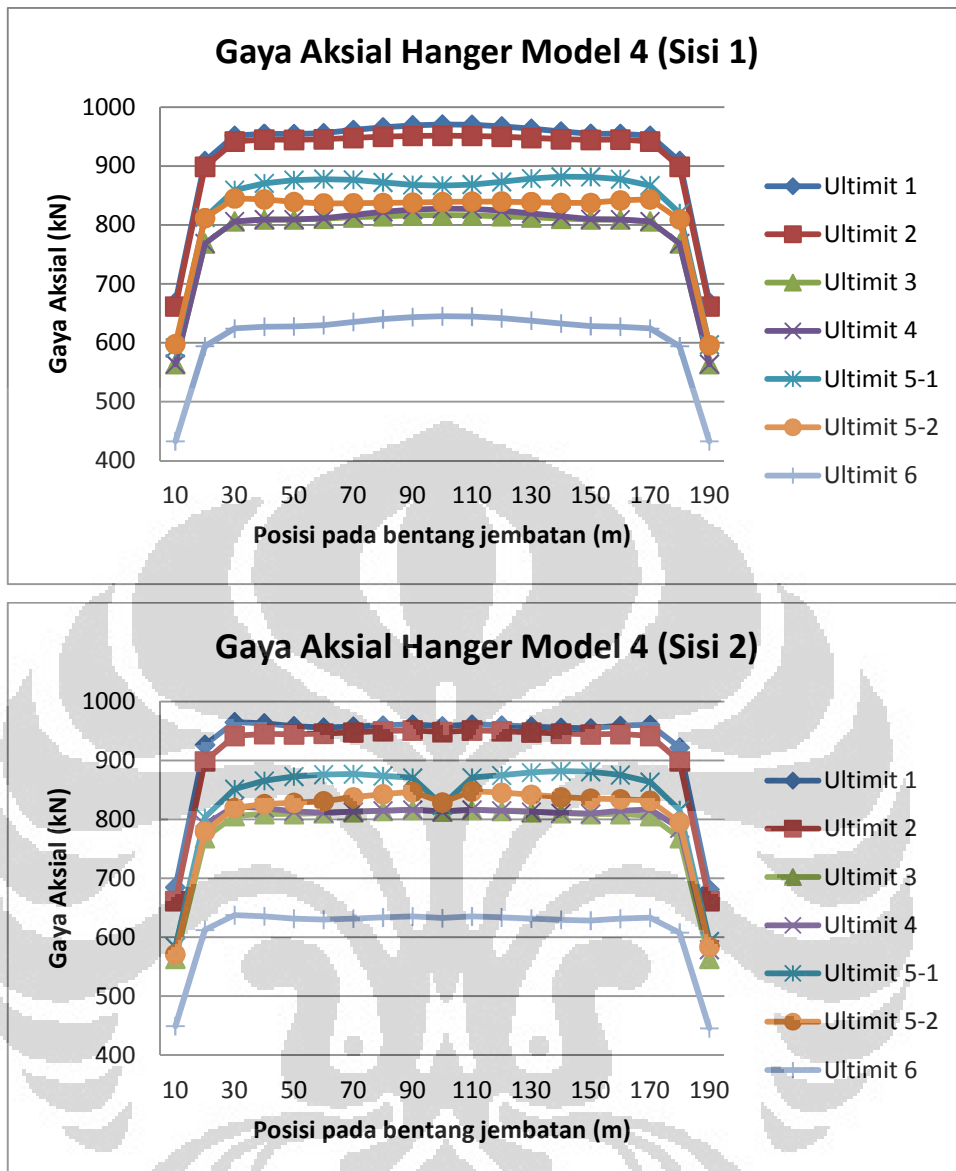
Gambar 4.9 Gaya Aksial pada *Hanger* untuk Model 1



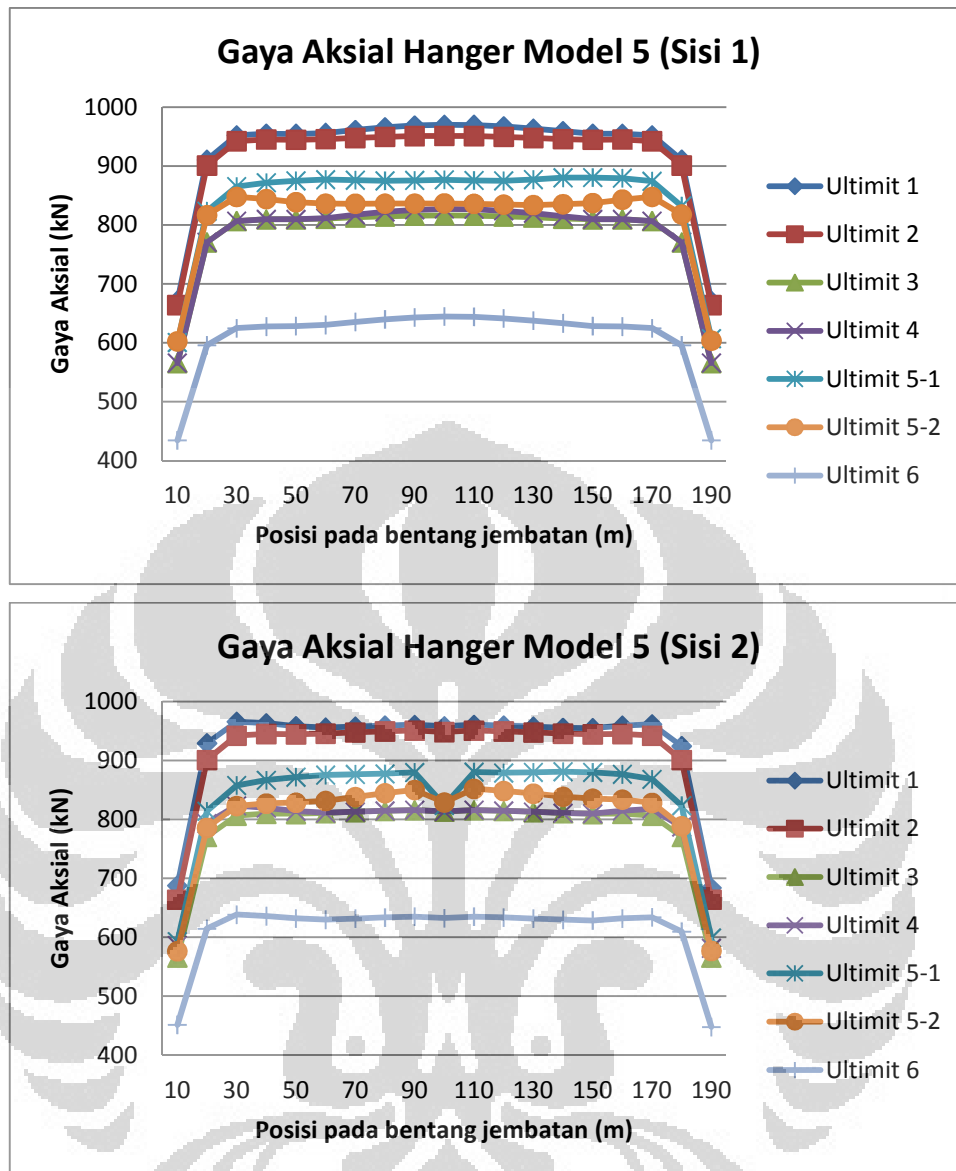
Gambar 4.10 Gaya Aksial pada *Hanger* untuk Model 2



Gambar 4.11 Gaya Aksial pada *Hanger* untuk Model 3



Gambar 4.12 Gaya Aksial pada *Hanger* untuk Model 4

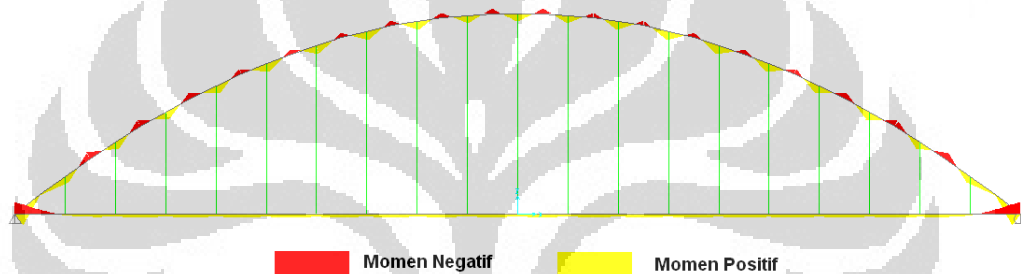


Gambar 4.13 Gaya Aksial pada *Hanger* untuk Model 5

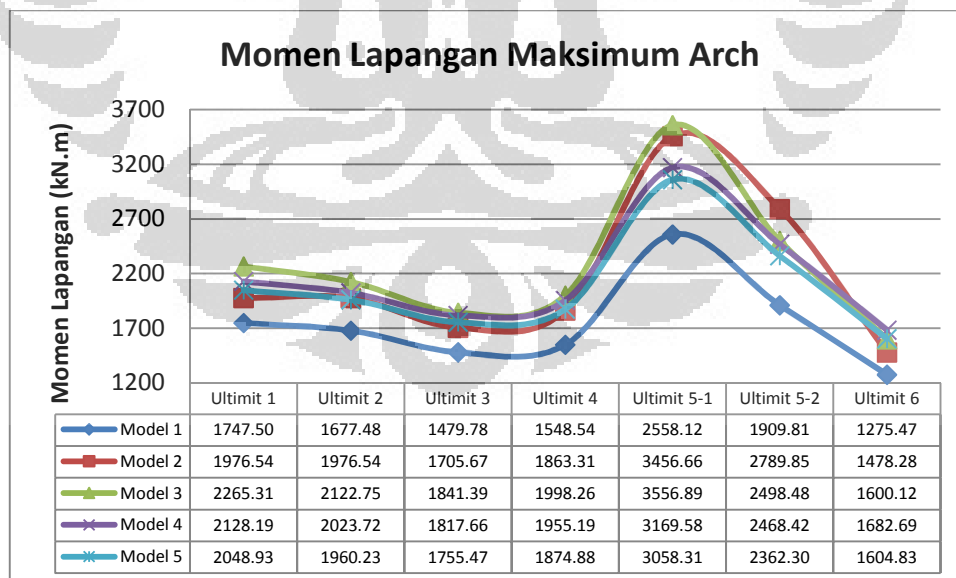
Dari grafik untuk gaya dalam aksial pada hanger diatas, dapat dilihat bahwa bentuk distribusi dari tiap-tiap hanger pada posisi bentang jembatan adalah tipikal baik untuk tiap variasi model. Besar gaya aksial semakin kecil saat lokasi hanger mendekati perletakan. Hal ini menunjukkan bahwa tumpuan pada perletakan mengurangi besar gaya yang ditanggung oleh *tie beam* sehingga gaya yang harus diterima oleh hanger juga berkurang. Selain itu, dapat diketahui pula bahwa kombinasi pembebanan yang menghasilkan nilai maksimum untuk gaya aksial pada hanger adalah kombinasi ultimit 1 (1,1 Berat Mati + 1,4 Berat Utilitas + 1,8 Beban lajur "D" + 1,8 Gaya Rem + 1 Beban Angin).

4.1.4 Gaya Dalam Momen

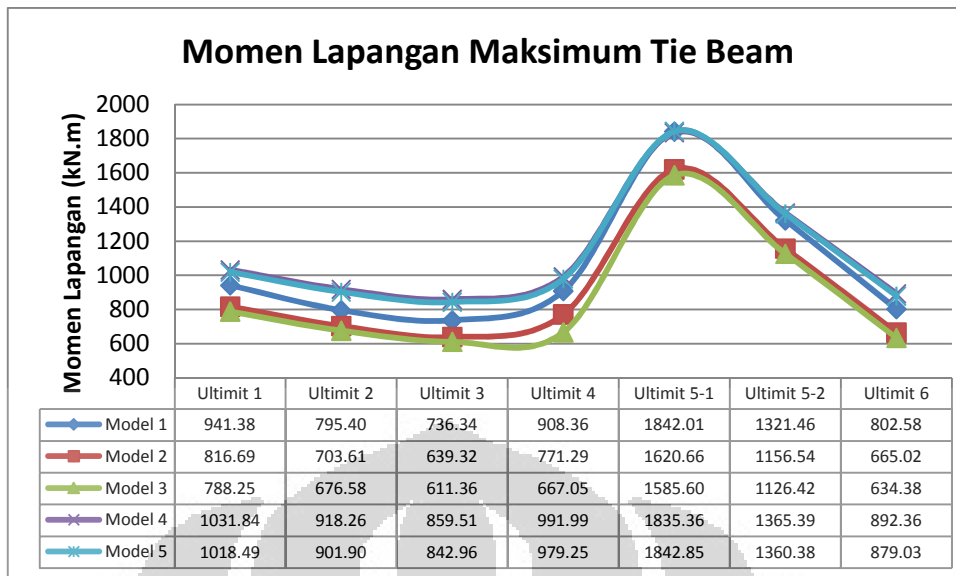
Gaya dalam momen ditinjau pada elemen *arch* dan *tie beam*. Gaya dalam momen terjadi akibat adanya gaya lintang pada elemen struktur. Gaya dalam momen yang dapat ditahan oleh elemen struktur sangat bergantung pada bentuk, material, dan inersia dari penampang elemen tersebut. Berikut ini diberikan nilai momen maksimum yang terjadi pada kedua elemen struktur yang disebutkan di atas akibat dari kombinasi pembebanan yang diberikan. Bentuk distribusi dari momen yang terjadi pada semua model hampir serupa dengan yang terlihat pada gambar di bawah ini.



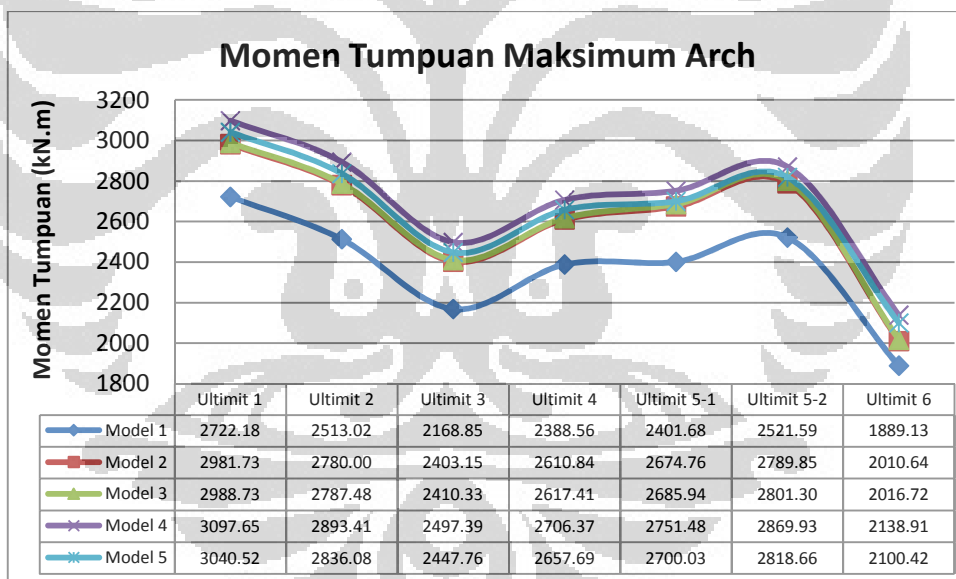
Gambar 4.14 Diagram Gaya Dalam Momen Struktur



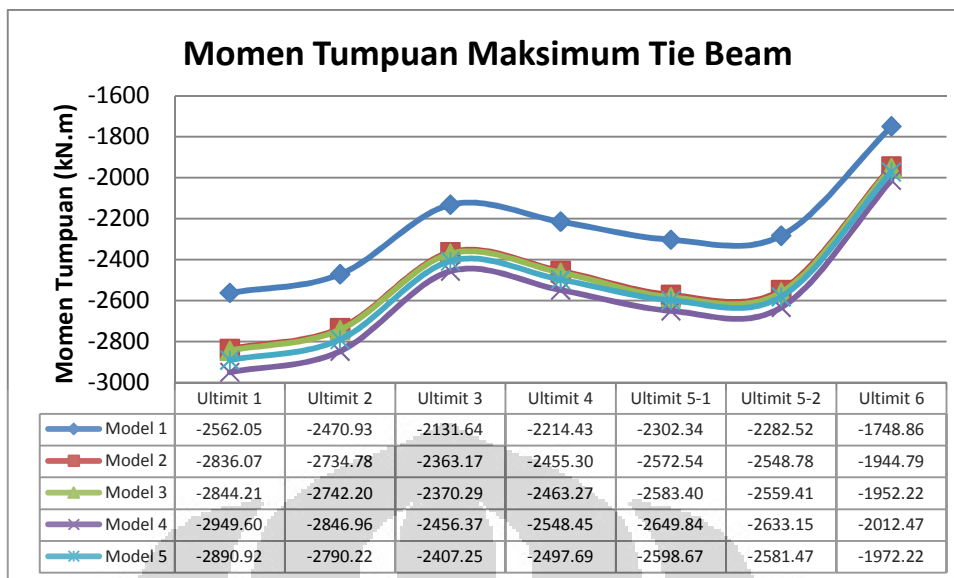
Gambar 4.15 Momen Lapangan Maksimum *Arch* untuk Tiap Kombinasi Pembebanan



Gambar 4.16 Momen Lapangan Maksimum *Tie Beam* untuk Tiap Kombinasi Pembebanan



Gambar 4.17 Momen Tumpuan Maksimum *Arch* untuk Tiap Kombinasi Pembebanan



Gambar 4.18 Momen Tumpuan Maksimum *Tie Beam* untuk Tiap Kombinasi Pembebanan

Bentuk dan distribusi gaya dalam momen yang terjadi pada semua variasi model merupakan tipikal. Perbedaan yang ada hanyalah pada besar dan nilai momen yang terjadi, baik pada tumpuan maupun lapangan. Dari tabel dan gambar di atas dapat diketahui bahwa momen maksimum untuk elemen *arch* selalu terjadi pada momen lapangan dengan nilai yang selalu positif. Sementara itu, untuk elemen *tie beam* momen maksimum cenderung terjadi pada tumpuan namun dengan nilai momen yang negatif.

4.1.5 Respon Gempa dan Periode Getar Struktur

Salah satu pembebanan yang digunakan untuk analisis kekuatan struktur adalah terhadap beban gempa. Metode yang digunakan untuk analisis beban gempa adalah metode respons spektrum, mengingat tipe jembatan yang termasuk kategori khusus. Input untuk beban gempa diambil dari grafik spektra percepatan untuk wilayah 3 dengan asumsi tanah lunak yang dimuat dalam SNI 03-2833-2008 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Beban gempa digunakan pada arah x (U1) dan y (U2) dengan dua kombinasi dari keduanya yaitu, 100% U1 + 30% U2 dan 30% U1 + 100% U2. Berikut ini adalah periode getar untuk masing-masing model struktur pada 12 mode ragam getar pertama.

Tabel 4.5 Periode Getar Model Struktur

Mode ke- (<i>Shape Mode</i>)	Periode Getar Struktur (detik)				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1	3.641	3.170	3.124	3.370	3.413
2	2.976	3.094	3.120	2.939	2.939
3	1.650	1.515	1.520	1.530	1.548
4	1.515	1.434	1.410	1.485	1.483
5	1.172	1.168	1.168	1.166	1.167
6	0.890	0.862	0.863	0.849	0.848
7	0.878	0.778	0.767	0.827	0.837
8	0.660	0.633	0.630	0.642	0.644
9	0.612	0.580	0.578	0.584	0.585
10	0.587	0.566	0.565	0.563	0.562
11	0.551	0.496	0.490	0.520	0.525
12	0.524	0.489	0.487	0.497	0.498

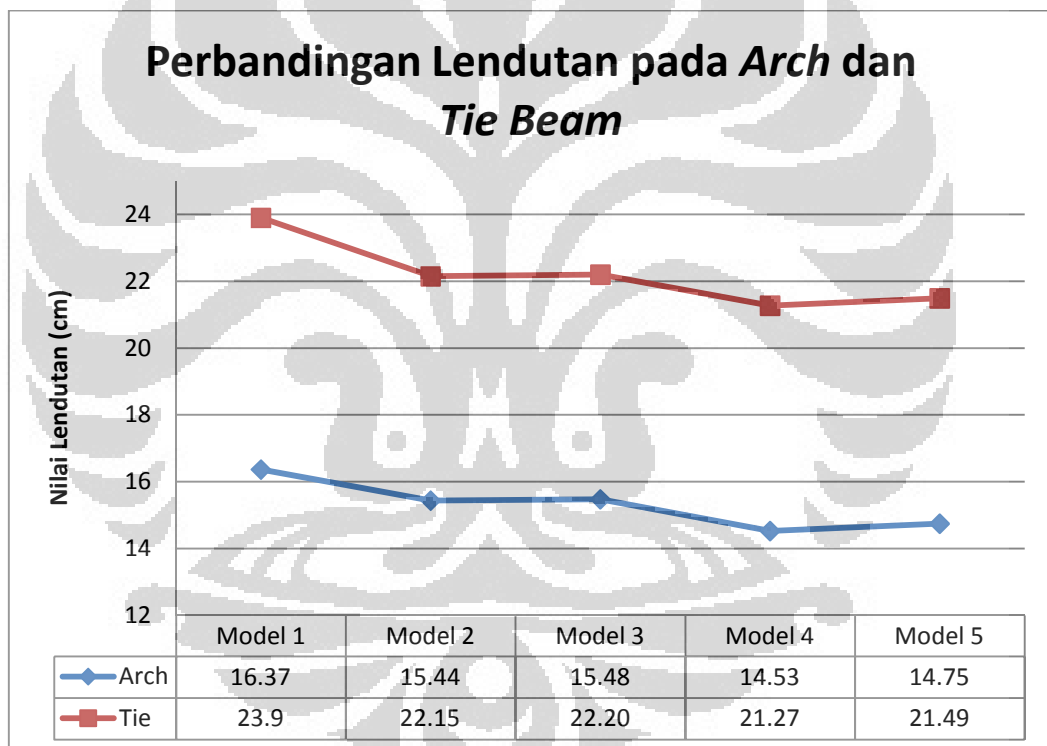
4.2 Analisis Hasil

Setelah hasil didapatkan dari perhitungan analisis struktur, selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil-hasil yang diperoleh tersebut. Seperti sudah disebutkan pada bab 1, yaitu bagian pendahuluan, salah satu tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara variasi penampang nonprismatis pada *arch rib* dengan keseluruhan perilaku dan kekuatan struktur. Hubungan tersebut diharapkan dapat memberi gambaran tentang bagaimana pengaruh dan efisiensi penggunaan penampang nonprismatis terhadap struktur secara keseluruhan.

Oleh karena itu, hal-hal yang akan dianalisis dari hasil yang telah didapat di subbab sebelumnya antara lain adalah hubungan antara lendutan yang terjadi pada struktur dengan berat struktur untuk model yang berkaitan, besar dan distribusi gaya dalam aksial pada elemen *arch rib* dan *tie beam* untuk tiap-tiap model, besar dan distribusi gaya dalam momen pada elemen *arch rib* dan *tie beam* untuk tiap-tiap model, serta pengaruh dari beban gempa terhadap respon dan perilaku dari struktur secara keseluruhan.

4.2.1 Lendutan pada *Arch* dan *Tie Beam*

Pada studi ini, parameter elemen yang divariasikan hanyalah pada tinggi penampang untuk *arch*, sedangkan elemen lain termasuk *tie beam* dibuat konstan untuk semua model variasi. Tujuannya adalah diharapkan agar benar-benar dapat diketahui mengenai pengaruh variasi pada *arch* tersebut. Sementara itu, selain *arch*, *tie beam* juga merupakan komponen utama yang dominan dalam menopang gaya-gaya yang terjadi dalam model struktur. Dari hasil yang didapat pada subbab sebelumnya, diperoleh nilai yang berbeda untuk lendutan yang terjadi pada *arch* dan *tie*. Di bawah ini dapat dilihat pengaruh yang ditimbulkan oleh variasi *arch* terhadap lendutan yang terjadi pada *arch* dan *tie beam*.



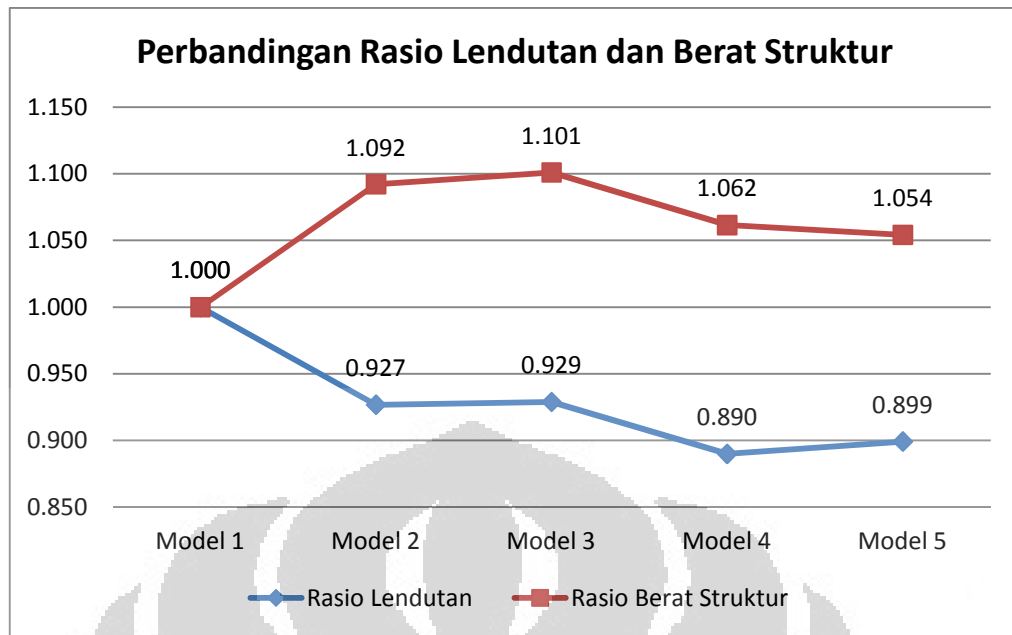
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Lendutan pada *Arch* dan *Tie Beam*

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1:1	1.2:1	1.25:1	1:1.25	1.2:1
(Penampang konstan)	(Penampang semakin membesar di puncak)		(Penampang semakin mengecil di puncak)	

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai lendutan yang terjadi pada *arch* dan *tie beam* hampir selalu berbanding lurus namun tidak dalam fungsi linier. Terlihat bahwa pada model 1 dan model 2 dimana lendutan pada *arch* mengalami penurunan sebesar 5,68% sedangkan untuk model yang sama penurunan lendutan pada *tie beam* hanya terjadi sebesar 4,48%. Secara keseluruhan, jika dibandingkan dengan pada model 1, penurunan yang terjadi pada keempat model lainnya berkisar antara 5,44 - 11,2% untuk *arch* dan 4,46 – 8,28% untuk *tie beam*. Grafik ini juga menunjukkan bahwa kedua komponen tersebut saling berhubungan dimana posisi *tie beam* adalah menggantung pada *arch*. Jadi, kedua elemen ini merupakan komponen utama penopang gaya-gaya pada jembatan dan keduanya saling berkorelasi dalam distribusi gaya yang terjadi pada jembatan secara keseluruhan.

4.2.2 Lendutan terhadap Berat Struktur

Variasi-variasi yang diberikan pada kelima model dalam studi ini tentu menghasilkan bobot atau berat struktur yang berbeda-beda pula. Berat struktur ini tentu akan mempengaruhi juga besar lendutan yang terjadi pada struktur. Perlu diketahui bahwa berat struktur yang ada didefinisikan sebagai berat mati dari elemen penyusun jembatan yang terdiri dari material baja, tanpa memperhitungkan berat *slab*, berat utilitas, dan beban luar lainnya. Di bawah ini adalah grafik yang menunjukkan perbandingan antara keduanya dalam bentuk nilai rasio kenaikan atau penurunannya terhadap model 1.



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Lendutan dan Berat Struktur

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1:1	1:1.2	1:1.25	1.25:1	1.2:1
(Penampang konstan)	(Penampang semakin membesar di puncak)		(Penampang semakin mengecil di puncak)	

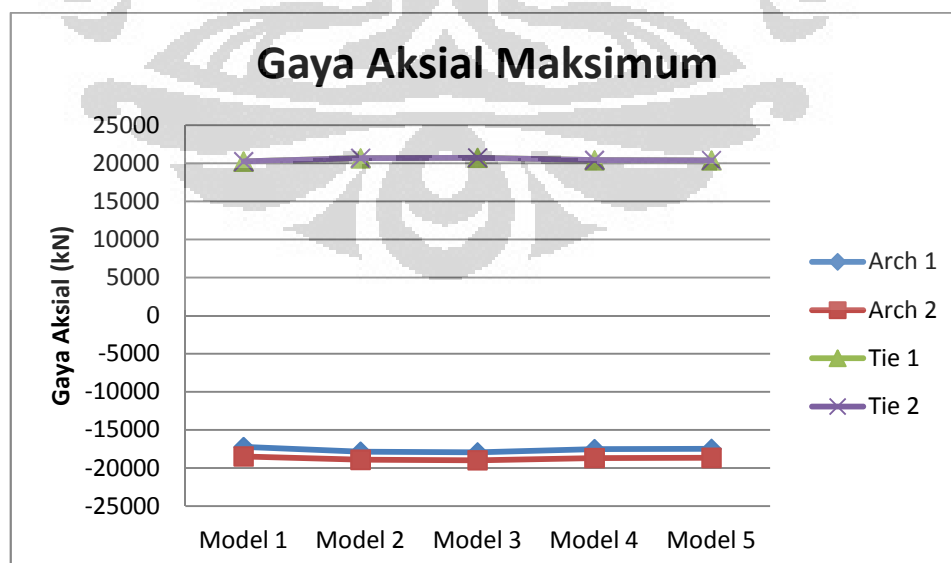
Jika dilihat dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa lendutan dan berat struktur nilainya tidak berbanding lurus. Pada model 2 dan model 3, dimana berat struktur mengalami kenaikan antara 10 - 11%, lendutan struktur sebaliknya mengalami penurunan sebesar 7 - 8%. Begitu juga pada model 4 dan model 5, dimana berat struktur mengalami kenaikan sebesar 5 - 6%, lendutan sebaliknya mengalami penurunan sebesar 10 - 12%. Dari nilai tersebut, dapat dikatakan bahwa variasi yang diberikan pada model 2, 3, 4, dan 5 berpengaruh terhadap lendutan struktur, dimana secara umum lendutan yang terjadi mengalami penurunan. Selain itu, jika dilihat pada model 4 yang memiliki nilai lendutan terkecil diantara model lainnya, merupakan model yang paling efisien di dalam perbandingan ini. Meskipun berat strukturnya lebih besar 6,2% dibanding model 1, namun lendutan yang terjadi turun pula sebesar 11%.

4.2.3 Perbandingan Gaya Aksial

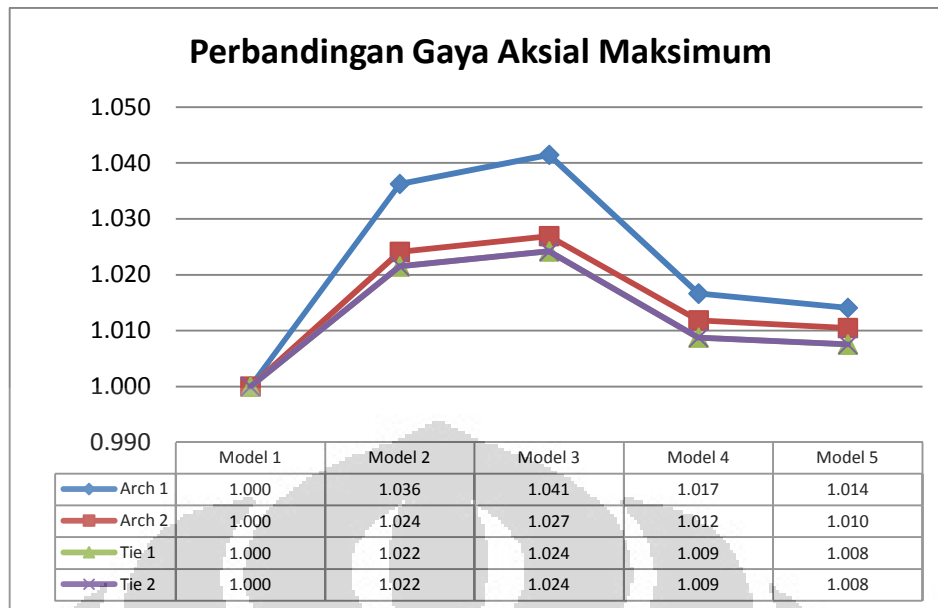
Gaya aksial merupakan salah satu gaya yang dominan terjadi pada tipe jembatan *tied arch*. Hal ini dikarenakan bentuk lengkung/busur yang dimiliki oleh elemen *arch rib* adalah merupakan struktur alami yang mendistribusikan gaya yang diterimanya dalam bentuk gaya tekan (*compression*) pada elemen profilnya. Selain itu, elemen *tie beam* juga dimaksudkan untuk menahan gaya tarik yang terjadi pada perletakan akibat aksi dari *arch rib*, sehingga elemen ini juga bagian yang mengalami gaya aksial yang cukup dominan. Di bawah ini dapat dilihat besar momen yang terjadi pada variasi model dan perbandingan antara model-model tersebut terhadap model 1 (penampang konstan, rasio 1:1)

Tabel 4.6 Gaya Aksial Maksimum Struktur

Model	Aksial Maksimum (kN)			
	Arch 1	Arch 2	Tie 1	Tie 2
1	-17234.7	-18467.4	20221.07	20221.07
2	-17859.7	-18912.5	20656.05	20656.05
3	-17949.5	-18964.5	20710.26	20710.26
4	-17521.4	-18686.1	20398.19	20398.19
5	-17477.5	-18660.7	20373.11	20373.11



Gambar 4.21 Grafik Besar Gaya Aksial yang Terjadi pada Model Struktur



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Gaya Aksial

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1:1	1:1.2	1:1.25	1.25:1	1.2:1
(Penampang konstan)	(Penampang semakin membesar di puncak)	(Penampang semakin mengecil di puncak)		

Grafik pada gambar di atas menunjukkan bahwa besar gaya aksial yang terjadi pada elemen *arch* dan *tie beam* memiliki nilai yang hampir berbanding lurus. Artinya, kedua elemen ini saling berhubungan dalam pendistribusian tegangan aksial pada struktur, semakin besar gaya aksial yang terjadi pada *arch* semakin besar pula gaya aksial yang terjadi pada *tie beam*. Hal yang sebaliknya pun berlaku.

Selanjutnya, jika dilihat pada grafik perbandingan di atas bisa diketahui bahwa kenaikan yang terjadi pada *arch 1* dan *arch 2* tidaklah sebanding. Pada model 2 misalnya, saat terjadi kenaikan besar gaya aksial sebesar 3,6% untuk *arch 1*, hanya terjadi kenaikan sebesar 2,4% untuk *arch 2*. Begitu pula pada model 3 ditemukan pola yang serupa. Sedangkan untuk model 4 dan 5 perbedaan yang terjadi antara *arch 1* dan *arch 2* relatif lebih kecil yaitu antara 0,04 – 0,05%. Untuk elemen *tie beam*, perbandingan yang terjadi pada kelima model cenderung tidak berubah. Dari hal ini bisa dikatakan bahwa pengaruh dari variasi yang

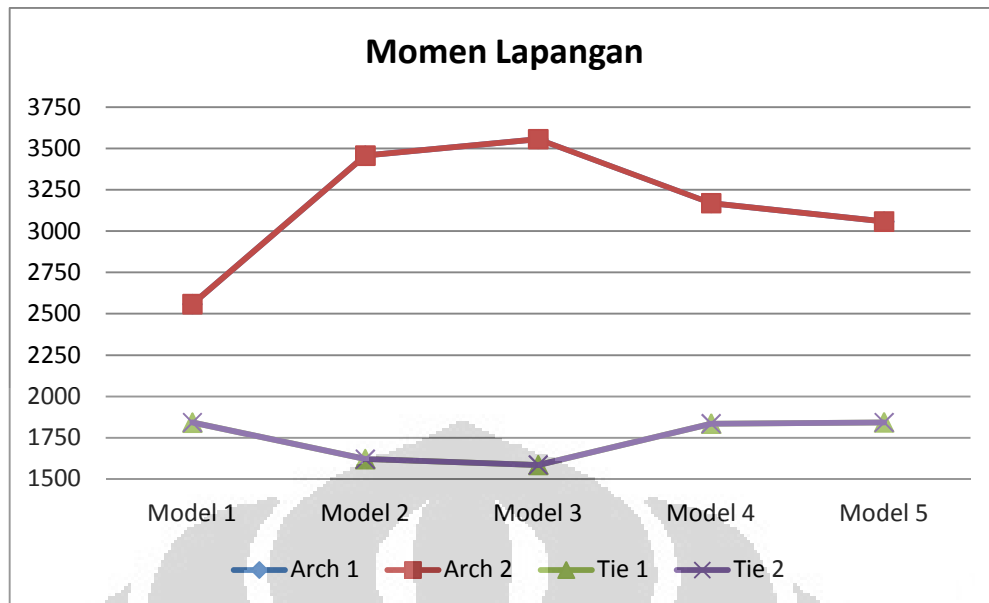
diberikan lebih mempengaruhi perilaku dan kekuatan *arch* saat dilakukan pembebanan. Kemudian, jika dilihat pada model 2 dan 3 dimana variasi yang diberikan adalah tinggi penampang *arch* yang semakin membesar di puncak, terjadi kenaikan besar gaya aksial yang lebih besar dibanding model 4 dan 5 (variasi tinggi penampang *arch* yang semakin mengecil di puncak). Hal tersebut menunjukkan bahwa walaupun model 2,3,4, dan 5 memiliki nilai gaya aksial yang lebih besar dari model 1, namun variasi pada model 2 dan 3 memberikan pengaruh dan besar gaya aksial yang lebih signifikan terhadap struktur.

4.2.4 Perbandingan Momen Lapangan dan Tumpuan

Elemen *arch* dan *tie beam* selain mengalami gaya aksial yang dominan, juga mengalami gaya momen yang cukup dominan pula. Umumnya, pada tipe jembatan busur, komponen pelengkung akan menerima gaya momen terbesar yang terjadi pada struktur. Namun, untuk tipe jembatan *tied arch* elemen *tie beam* juga akan menahan sebagian dari gaya momen yang terjadi pada struktur. Konfigurasi *depth* dari penampang kedua elemen tersebut akan sangat mempengaruhi distribusi gaya-gaya yang terjadi. Di bawah ini adalah grafik yang menunjukkan besar gaya momen yang terjadi dan perbandingan antara kelima variasi model.

Tabel 4.7 Gaya Dalam Momen Lapangan Maksimum Elemen Struktur

Model	Momen Lapangan Maksimum (kN.m)			
	Arch 1	Arch 2	Tie 1	Tie 2
1	2558.117	2668.288	1842.021	1842.020
2	3456.664	3456.664	1620.665	1620.664
3	3556.886	3556.886	1585.599	1585.598
4	3169.580	3169.580	1835.359	1835.358
5	3058.306	3058.306	1842.851	1842.850

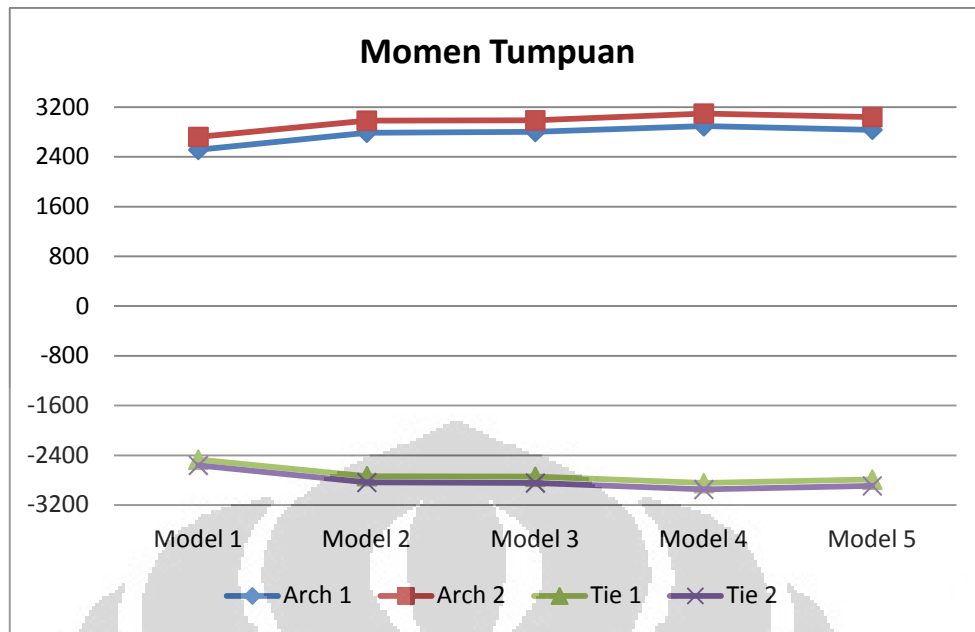


Gambar 4.23 Grafik Besar Momen Lapangan yang Terjadi pada Model Struktur

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1:1	1:1.2	1:1.25	1.25:1	1.2:1
(Penampang konstan)	(Penampang semakin membesar di puncak)		(Penampang semakin mengecil di puncak)	

Tabel 4.8 Gaya Dalam Momen Tumpuan Maksimum Elemen Struktur

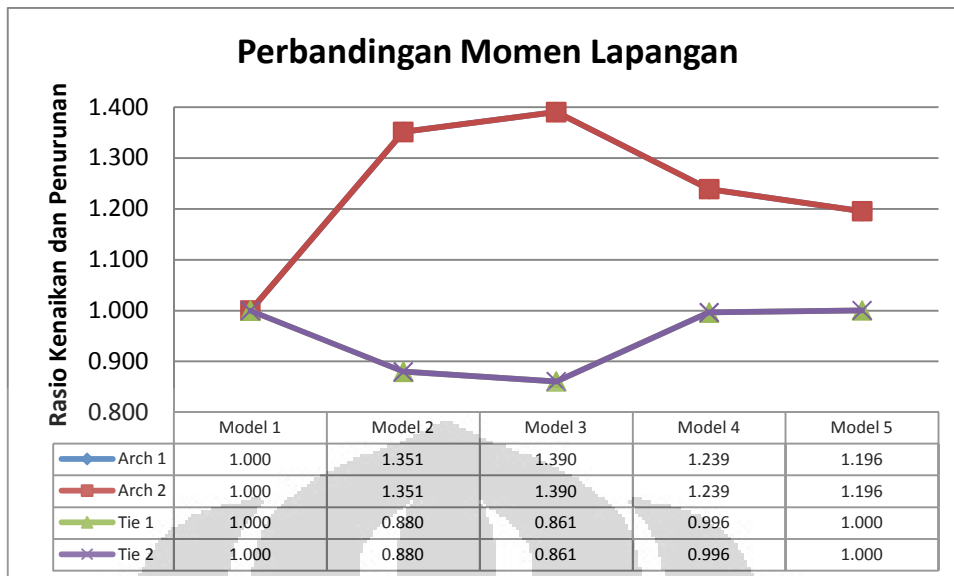
Model	Momen Tumpuan Maksimum (kN.m)			
	Arch 1	Arch 2	Tie 1	Tie 2
1	2513.025	2722.183	-2470.932	-2562.056
2	2789.852	2981.729	-2734.784	-2836.066
3	2801.305	2988.728	-2742.198	-2844.214
4	2893.406	3097.645	-2846.963	-2949.596
5	2836.080	3040.524	-2790.221	-2890.920



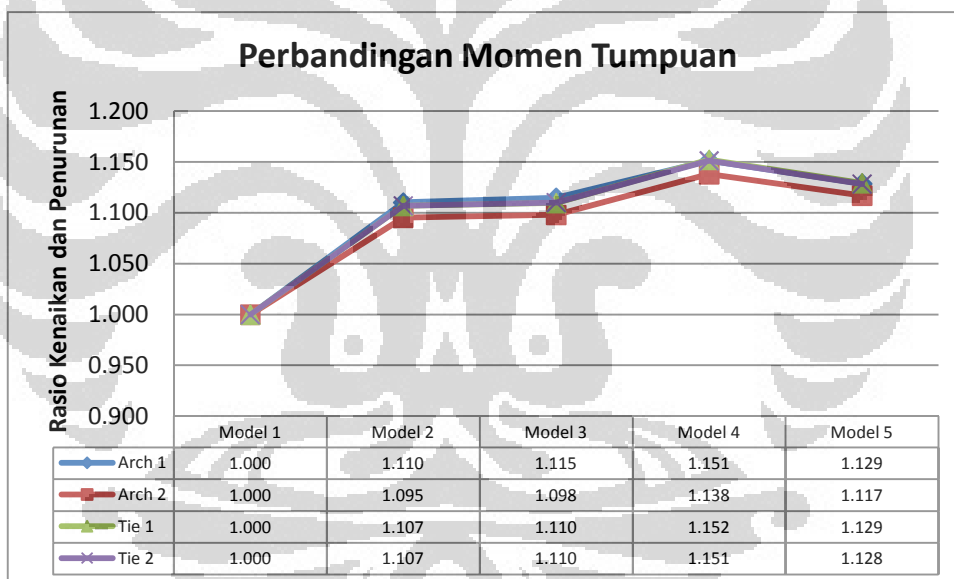
Gambar 4.24 Grafik Besar Momen Tumpuan yang Terjadi pada Model Struktur

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1:1	1:1.2	1:1.25	1.25:1	1.2:1
(Penampang konstan)	(Penampang semakin membesar di puncak)		(Penampang semakin mengecil di puncak)	

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa besar momen yang terjadi baik pada *arch* maupun *tie beam* untuk masing-masing model adalah berbanding lurus. Namun, jika dilihat untuk momen lapangan yang terjadi, saat elemen *arch* mengalami kenaikan momen, sebaliknya besar momen yang terjadi pada *tie beam* justru mengalami penurunan. Hal yang sebaliknya juga berlaku. Dapat disimpulkan bahwa variasi yang diberikan pada model menambah besar momen yang diterima oleh *arch*, namun hal tersebut juga mengurangi besar momen yang diterima oleh *tie beam*. Untuk perbandingan antara kelima variasi model tersebut, dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Momen Lapangan



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Momen Tumpuan

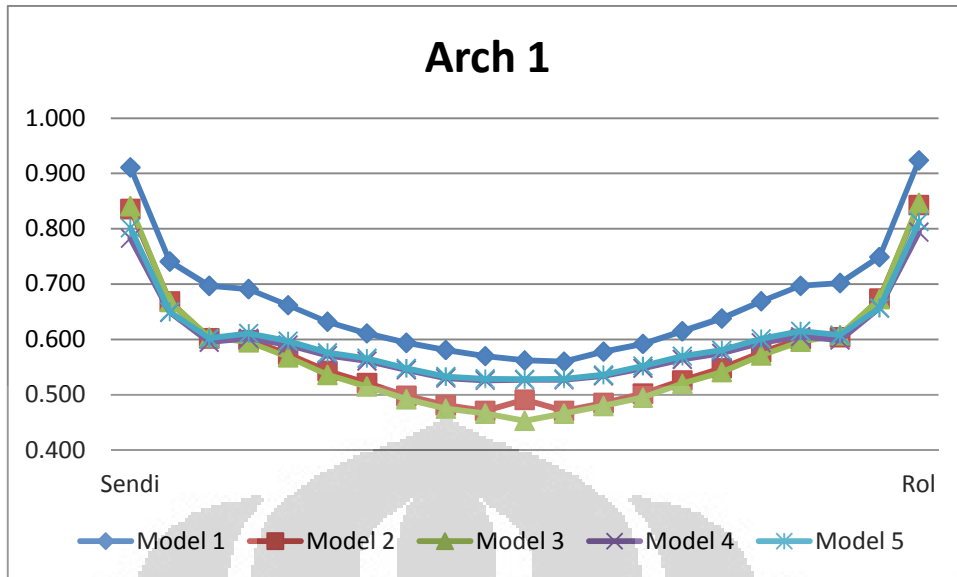
Dari grafik perbandingan kedua momen di atas, dapat dilihat bahwa untuk model 2 dan 3 (penampang semakin membesar di puncak) terjadi kenaikan momen lapangan sebesar 29 – 39% untuk *arch* dan penurunan sebesar 12 – 14% untuk *tie beam*. Sedangkan untuk model 4 dan 5 (penampang semakin mengecil di puncak) terjadi kenaikan sebesar 19 – 24% untuk *arch* dan penurunan sebesar 0 – 1%. Dapat disimpulkan bahwa variasi yang diberikan pada model 2 dan 3 akan membuat elemen *arch* menerima besar momen yang lebih dominan dibanding *tie*

beam. Sedangkan, untuk model 4 dan 5, karena besar kenaikan momen yang tidak terlalu signifikan untuk *arch*, maka penurunan besar momen yang terjadi pada *tie beam* relatif lebih kecil. Jadi, dapat diambil pemahaman bahwa saat elemen *arch* menjadi struktur yang menerima porsi momen yang lebih besar, hal tersebut juga secara alami mengurangi besar momen yang harus diterima oleh *tie beam*. Hal ini merupakan hubungan antara keduanya yang disebut *strong arch-weak beam* atau *weak arch-strong beam* (Brockenbrough, 1999).

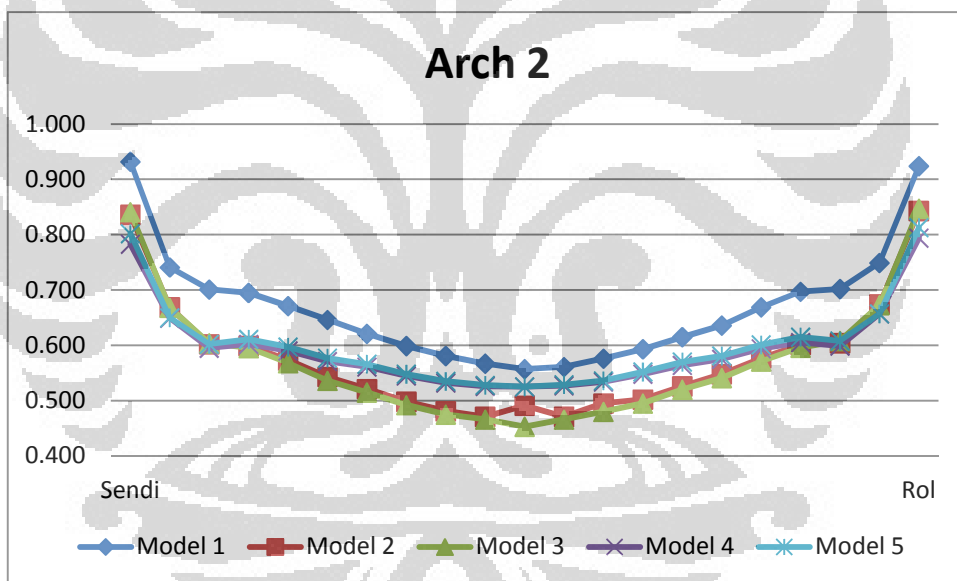
Selain itu, jika dilihat dari grafik perbandingan untuk momen tumpuan masing-masing model, dapat dilihat bahwa pada semua model terjadi kenaikan besar momen tumpuan jika dibandingkan dengan model 1. Namun, lonjakan yang besar terjadi pada model 4 (penampang mengecil di puncak, rasio 1,25:1) dengan kenaikan sebesar 15%. Model 4 ini adalah merupakan model yang mengalami lendutan terkecil diantara model lainnya yaitu 21,27 cm. Maka, dapat disimpulkan bahwa pengaruh dari pemberian variasi nonprismatis pada model struktur (*arch*) akan meningkatkan besaran momen yang terjadi, terutama pada elemen *arch*, baik untuk momen lapangan maupun tumpuan. Momen-momen terbesar yang terjadi pada struktur jika dilihat pada hasil yang diperoleh pada analisis SAP2000 (lampiran), terjadi pada elemen yang ada pada puncak dan kaki pelengkung.

4.2.5 Rasio Tegangan dan Kapasitas Penampang

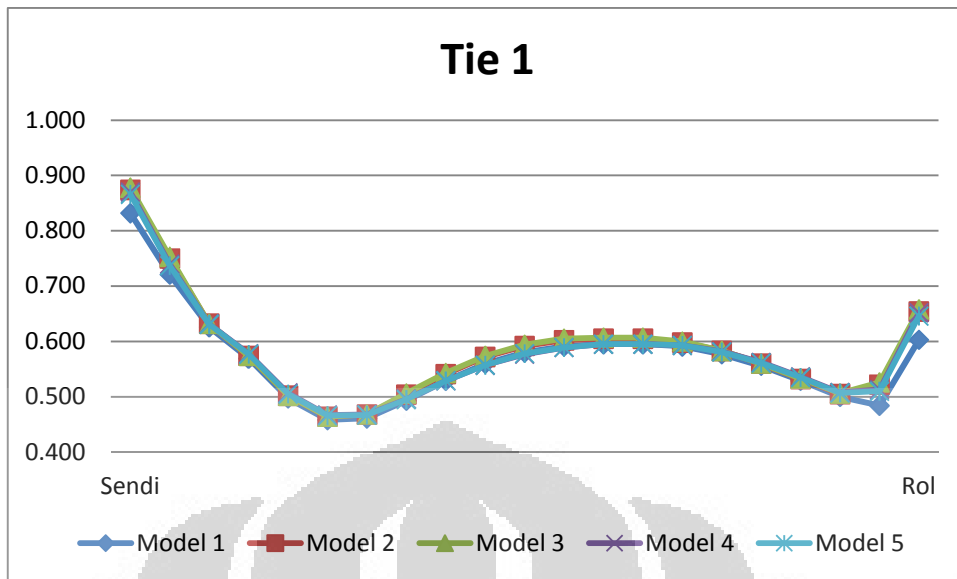
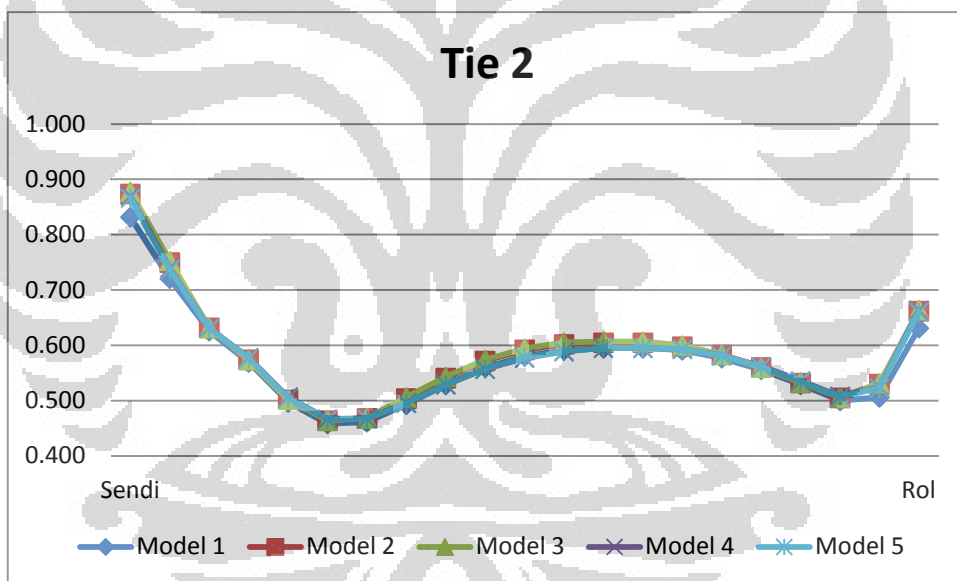
Salah satu dasar pemilihan profil dan persyaratan untuk model dalam studi ini adalah kapasitas profil dalam menahan gaya-gaya yang terjadi, baik gaya aksial, geser, dan momen. Untuk itu, diperlukan suatu batasan untuk model struktur agar dapat dikategorikan aman dalam menahan beban pada kondisi ultimitnya. Di dalam program SAP2000, untuk pengecekan profil tersebut digunakan opsi *steel design* yang mengacu pada kode desain AISC-LRFD99 dimana kapasitas elemen struktur baja dalam model didesain agar mempunyai nilai *P-M ratio* di bawah 1,00. Hal ini adalah untuk menjamin bahwa struktur yang digunakan sanggup menahan beban dalam kombinasi pembebanan ultimit yang digunakan. Berikut ini dapat dilihat grafik yang menggambarkan distribusi nilai rasio tersebut pada elemen utama jembatan, yaitu *arch* dan *tie beam*.



Gambar 4.27 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada Arch 1



Gambar 4.28 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada Arch 2

Gambar 4.29 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada *Tie 1*Gambar 4.30 Grafik Distribusi Nilai Rasio Tegangan pada *Tie 2*

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan, baik pada *arch* maupun *tie beam*, nilai rasio akan semakin besar pada elemen struktur yang dekat dengan perletakan. Hal ini terkait dengan fungsi dari perletakan itu sendiri yaitu menahan aksi yang terjadi pada struktur. Pola yang terjadi pada *arch* menunjukkan bahwa pada kedua sisi perletakan nilai rasio tegangan semakin besar dan tidak terlalu berbeda jauh nilainya. Namun, pada *tie beam* nilai rasio tersebut memiliki pola yang berbeda. Nilai rasio terbesar diperoleh pada elemen

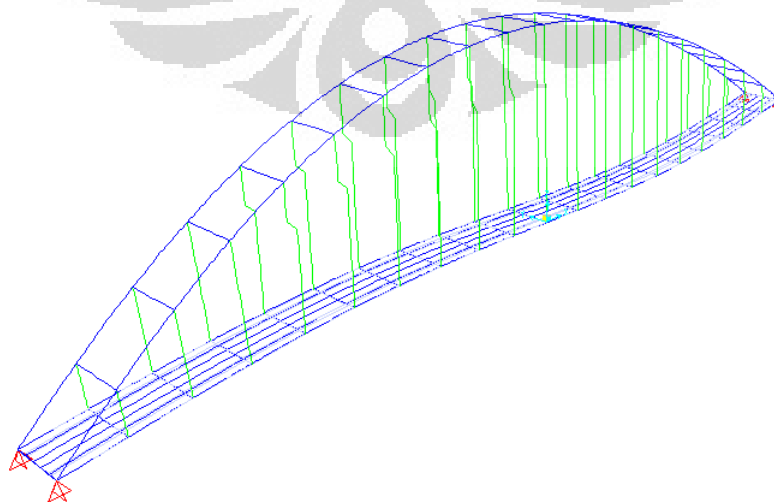
yang dekat dengan perletakan sendi, lalu kemudian nilai tersebut turun semakin mendekati tengah bentang. Tetapi, nilai rasio ini kembali memperlihatkan grafik naik pada posisi tengah bentang untuk kemudian turun lagi dan naik saat mendekati perletakan rol. Dari gambaran ini dapat diketahui bahwa perletakan sendi yang menahan aksi pada tiga arah sumbu memiliki konsentrasi gaya yang lebih besar dibanding pada perletakan rol. Nilai rasio terbesar yang diperoleh dari semua model struktur adalah 0,931 untuk *arch* dan 0,874 untuk *tie beam*.

4.2.6 Respon Struktur terhadap Beban Gempa

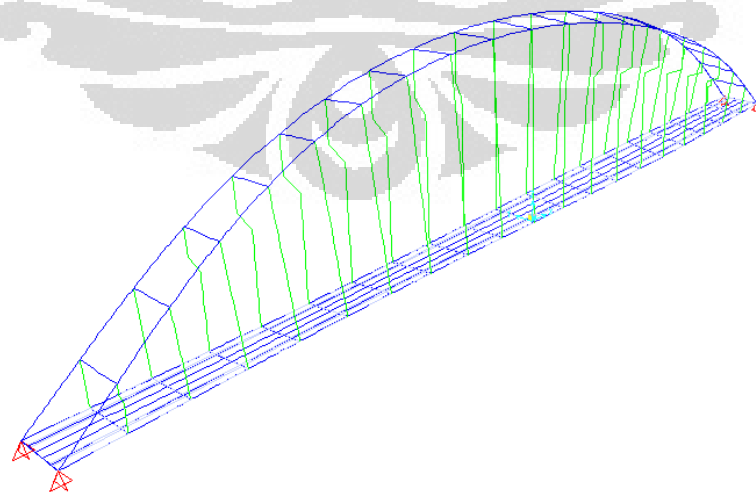
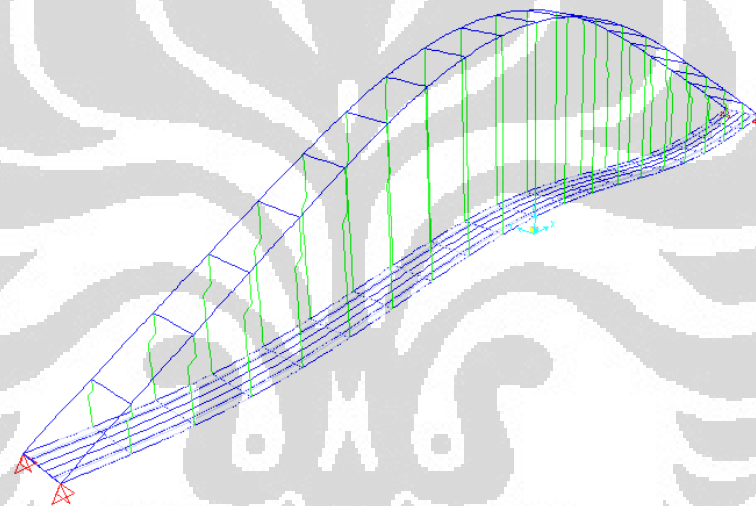
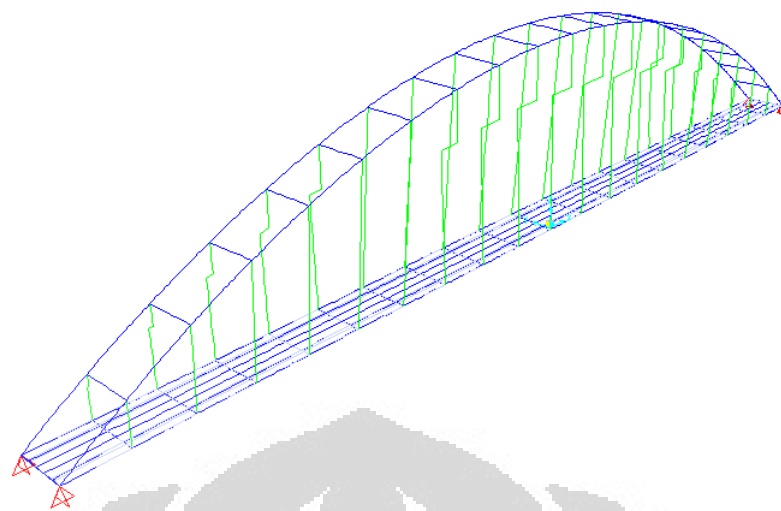
Respon struktur terhadap beban gempa ditinjau dalam konteks hanya untuk jenis beban ini, tanpa memperhitungkan beban mati dan beban luar lainnya. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan perilaku struktur murni saat terjadi gempa. Selanjutnya, dapat dilihat bentuk deformasi yang terjadi untuk 5 mode pertama pada masing-masing variasi model.

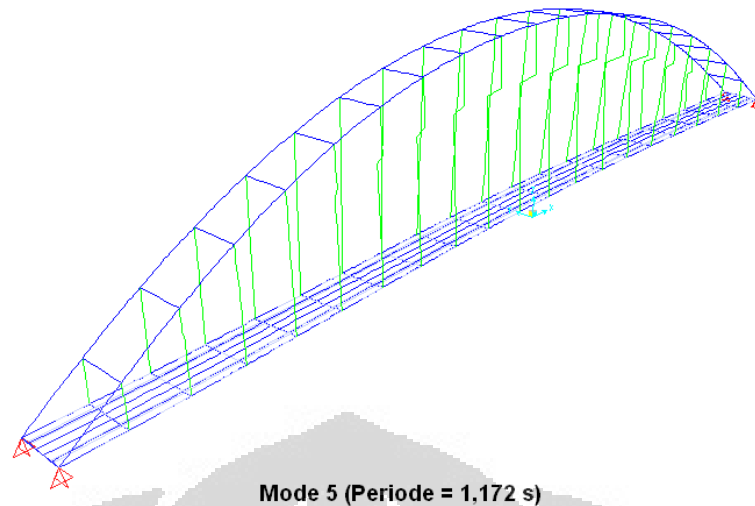
4.2.6.1 Model 1

Untuk variasi model pertama, dianalisis 12 mode awal yang terjadi pada struktur. Lima mode pertama akan ditampilkan dalam gambar di bawah ini. Dari hasil analisis oleh program SAP2000, diketahui bahwa pada mode pertama, terjadi pergoyangan translasi pada arah sumbu x (memanjang). Sama halnya pada mode kedua, terjadi pergoyangan translasi pada arah sumbu y (melintang). Pada mode ketiga baru terjadi pergoyangan rotasi pada struktur, dan mode keempat serta kelima terjadi deformasi puntir pada struktur.



Mode 1 (Periode = 3,641 s)

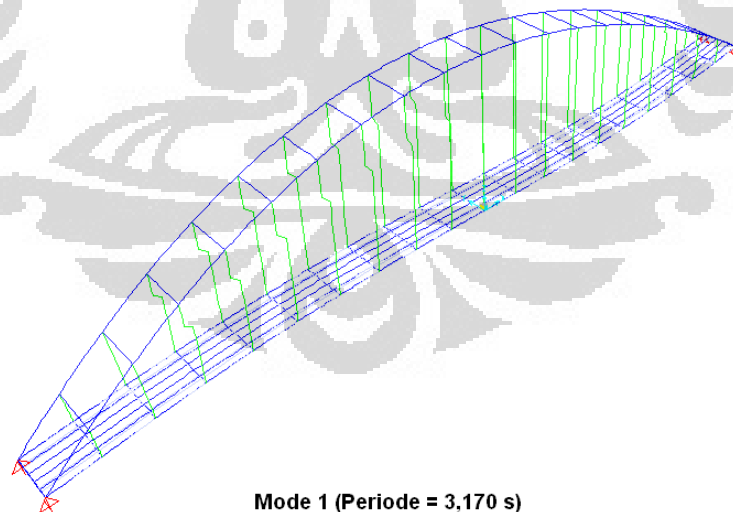


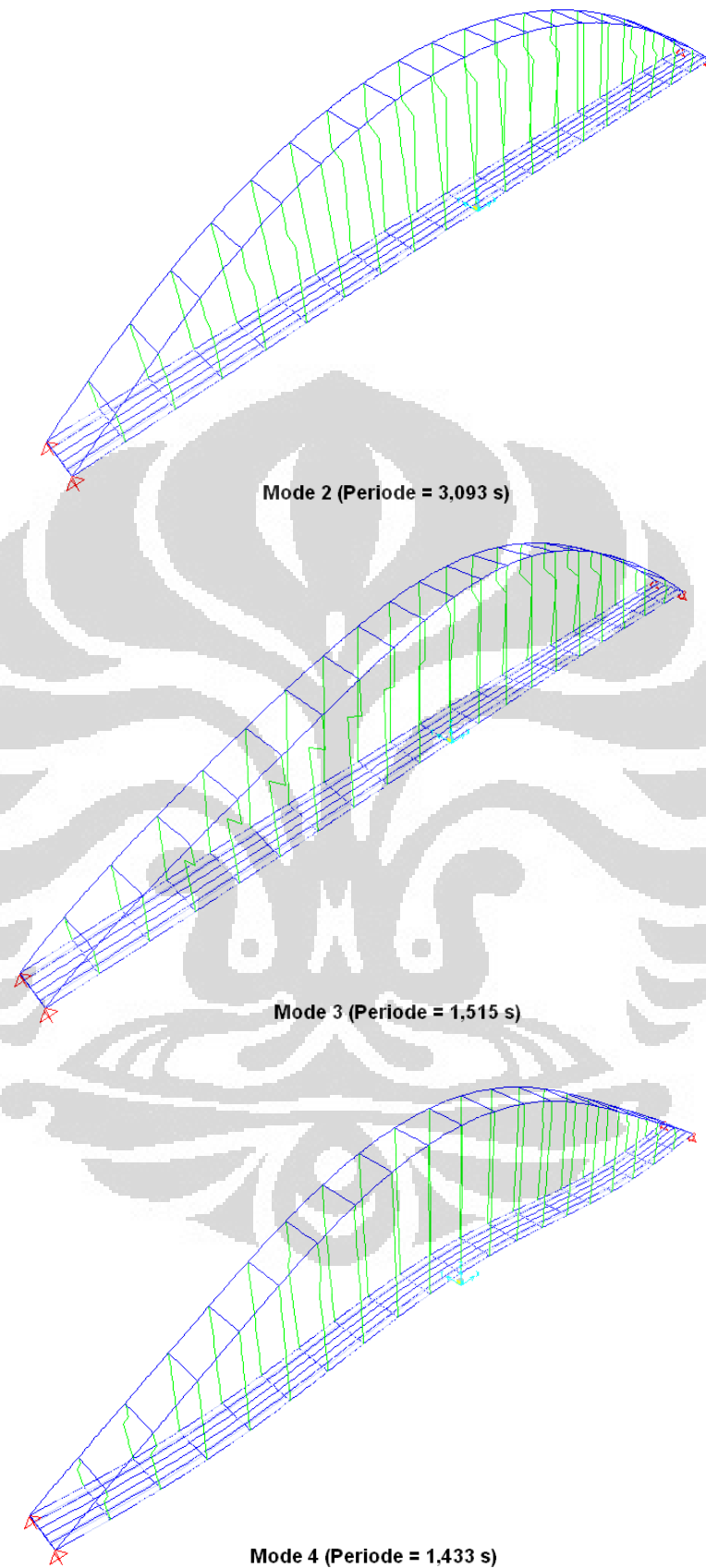


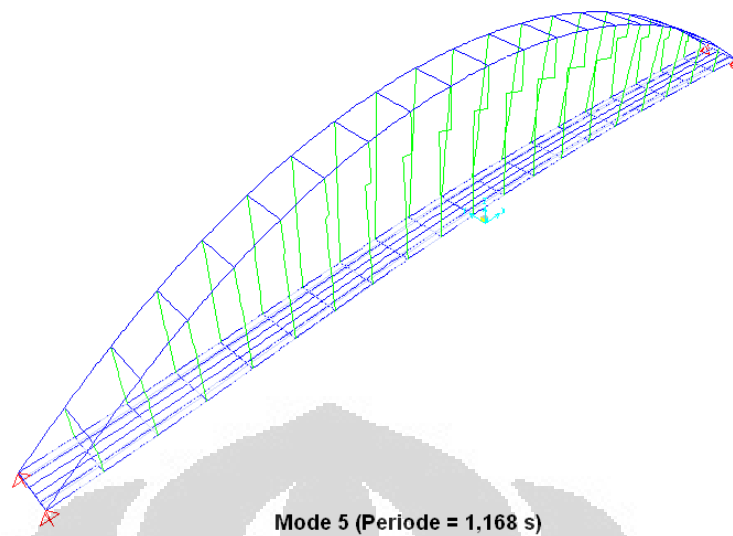
Gambar 4.31 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 1

4.2.6.2 Model 2

Pada model 2 juga dianalisis 12 mode pertama yang terjadi pada struktur. Sama halnya dengan pada model 1, dua mode pertama yang terjadi adalah pergoyangan translasi pada arah x dan y. Sedangkan pada mode ketiga baru terjadi pergoyangan dengan rotasi dan terjadi puntir pada mode keempat dan kelima. Di bawah ini ditampilkan 5 mode pertama untuk variasi model 2 .



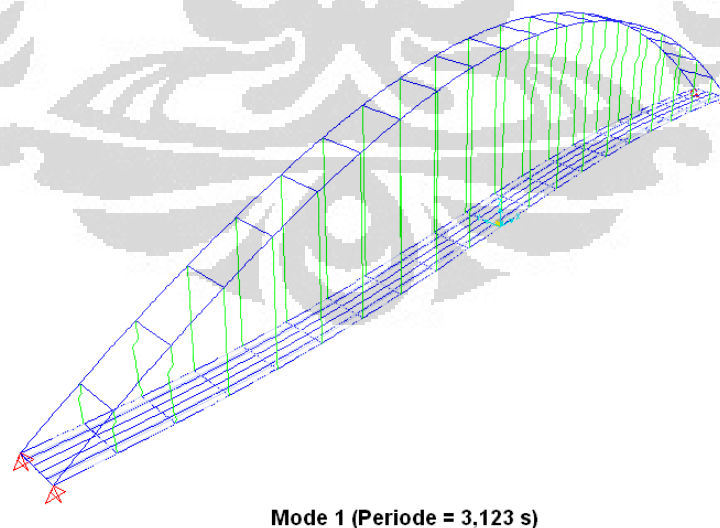


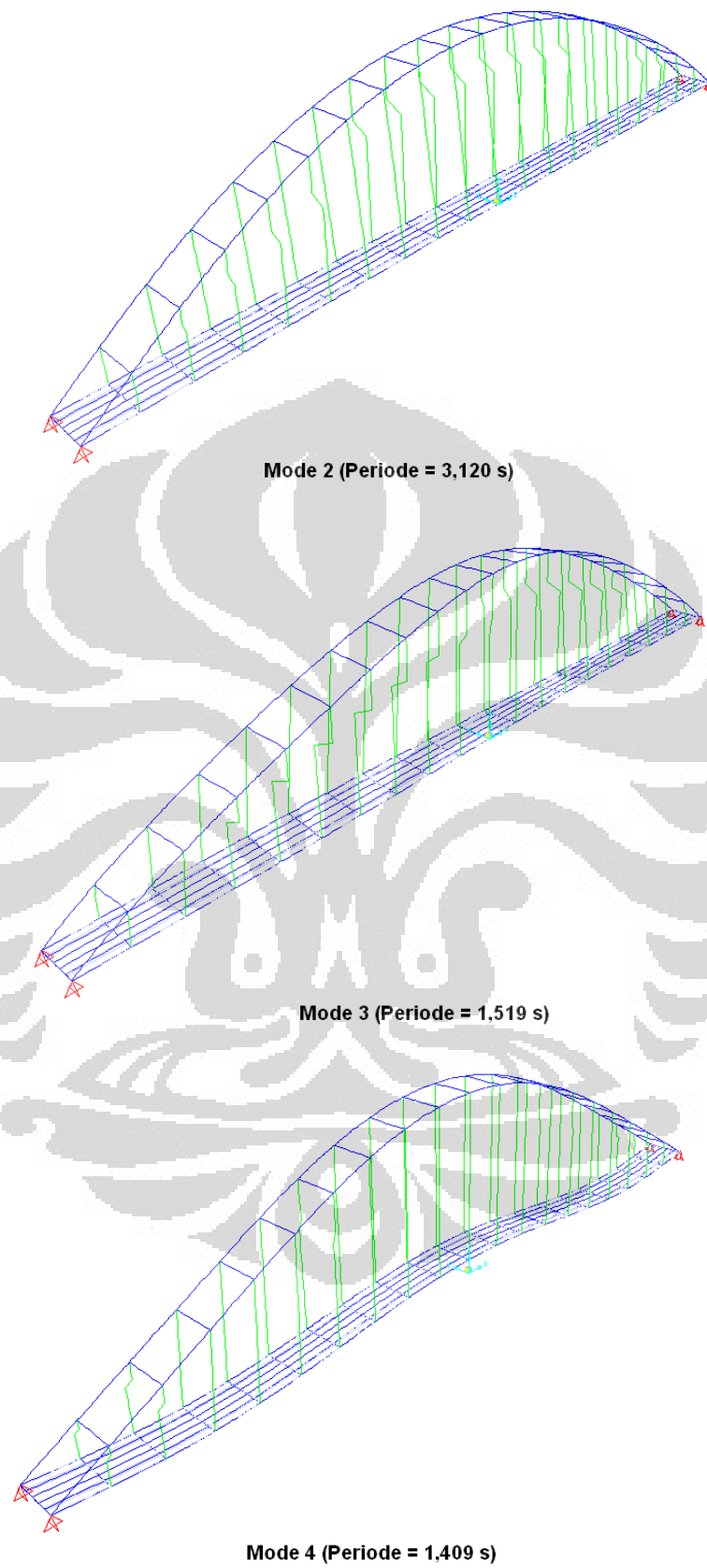


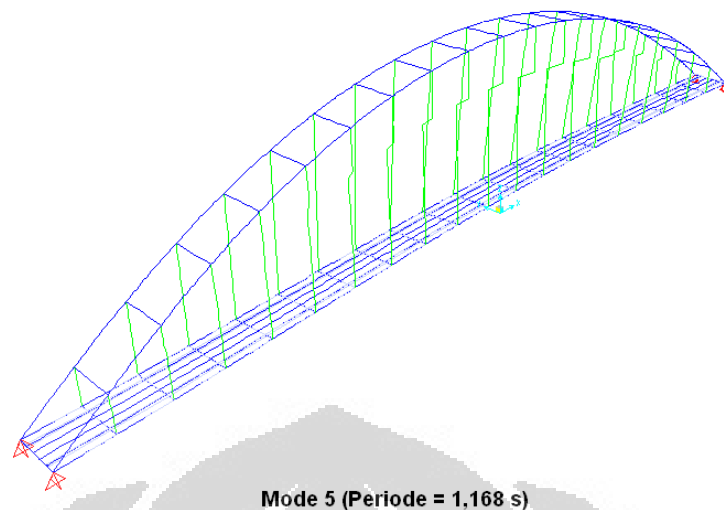
Gambar 4.32 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 2

4.2.6.3 Model 3

Pada variasi model yang ketiga ini, terjadi perilaku yang tidak jauh berbeda dengan pada model sebelumnya. Mode pertama dan kedua adalah pergoyangan translasi pada arah x dan y. Sedangkan pada mode ketiga terjadi rotasi, mode keempat dan kelima terjadi puntir pada struktur. Berikut ini adalah bentuk deformasi pada kelima mode awal untuk model 3.



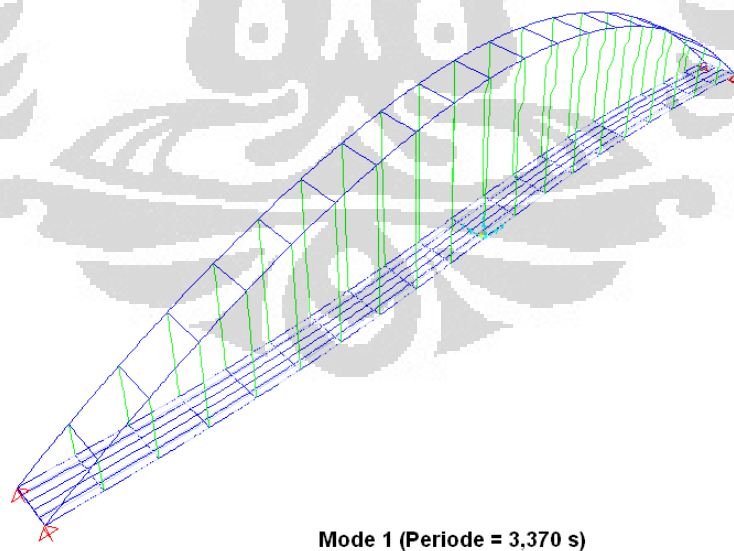


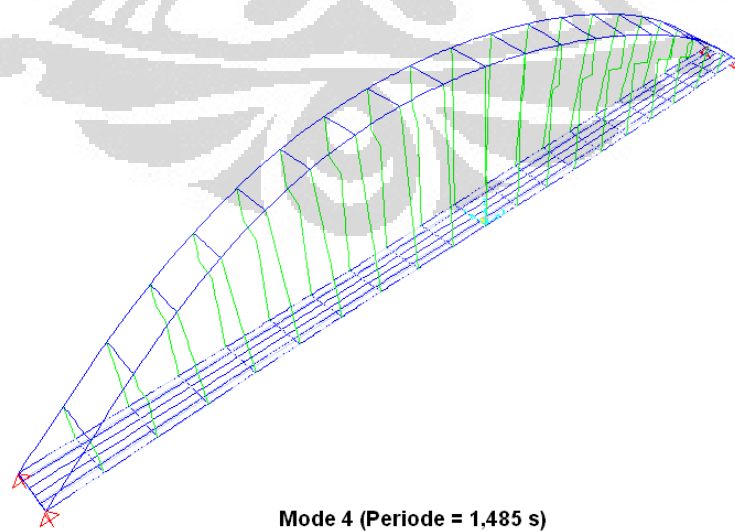
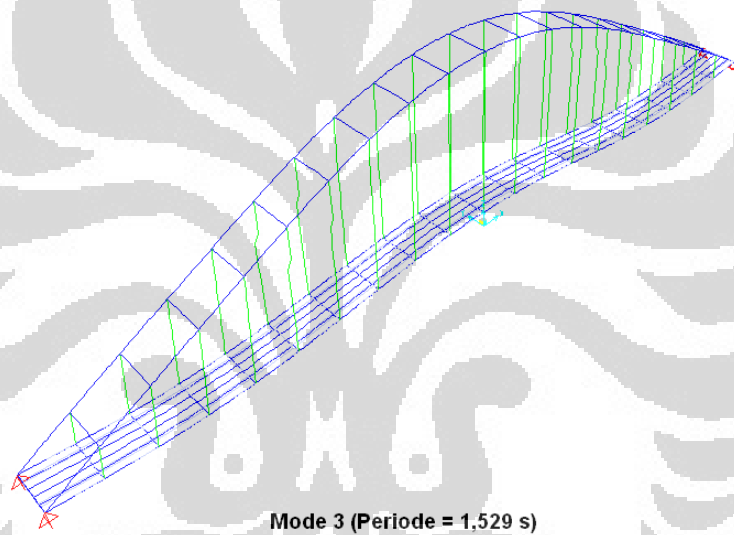
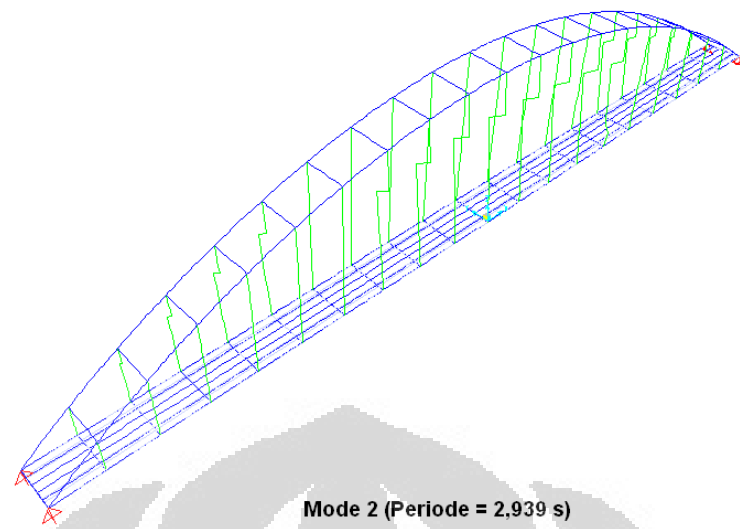


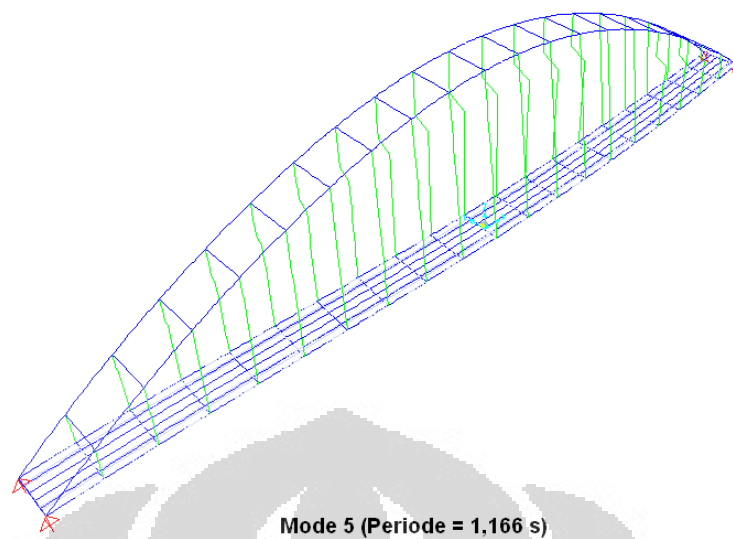
Gambar 4.33 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 3

4.2.6.4 Model 4

Pergoyangan yang terjadi pada model 4 juga tidak jauh berbeda dengan model sebelumnya dimana terjadi pergoyangan translasi pada arah x dan y untuk dua mode pertama. Sedangkan mode ketiga terjadi pergoyangan rotasi dan mode keempat dan kelima terjadi puntir pada struktur. Berikut ini dapat dilihat bentuk deformasi dari lima mode pertama yang terjadi pada struktur untuk model 4.



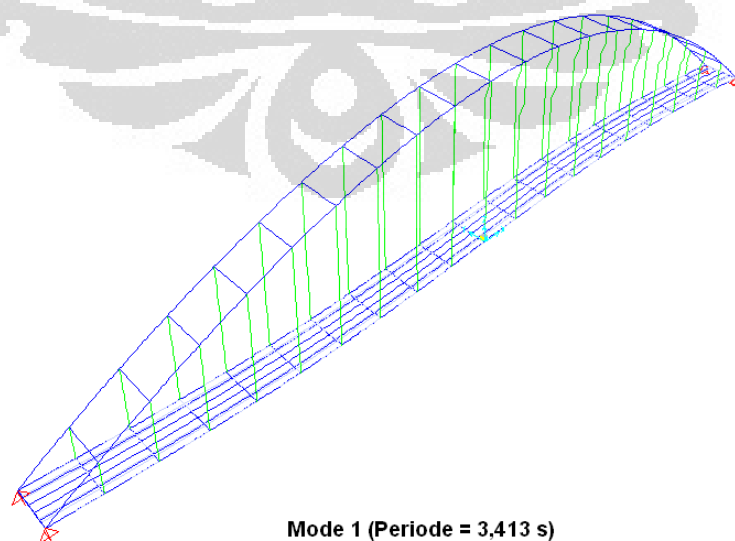


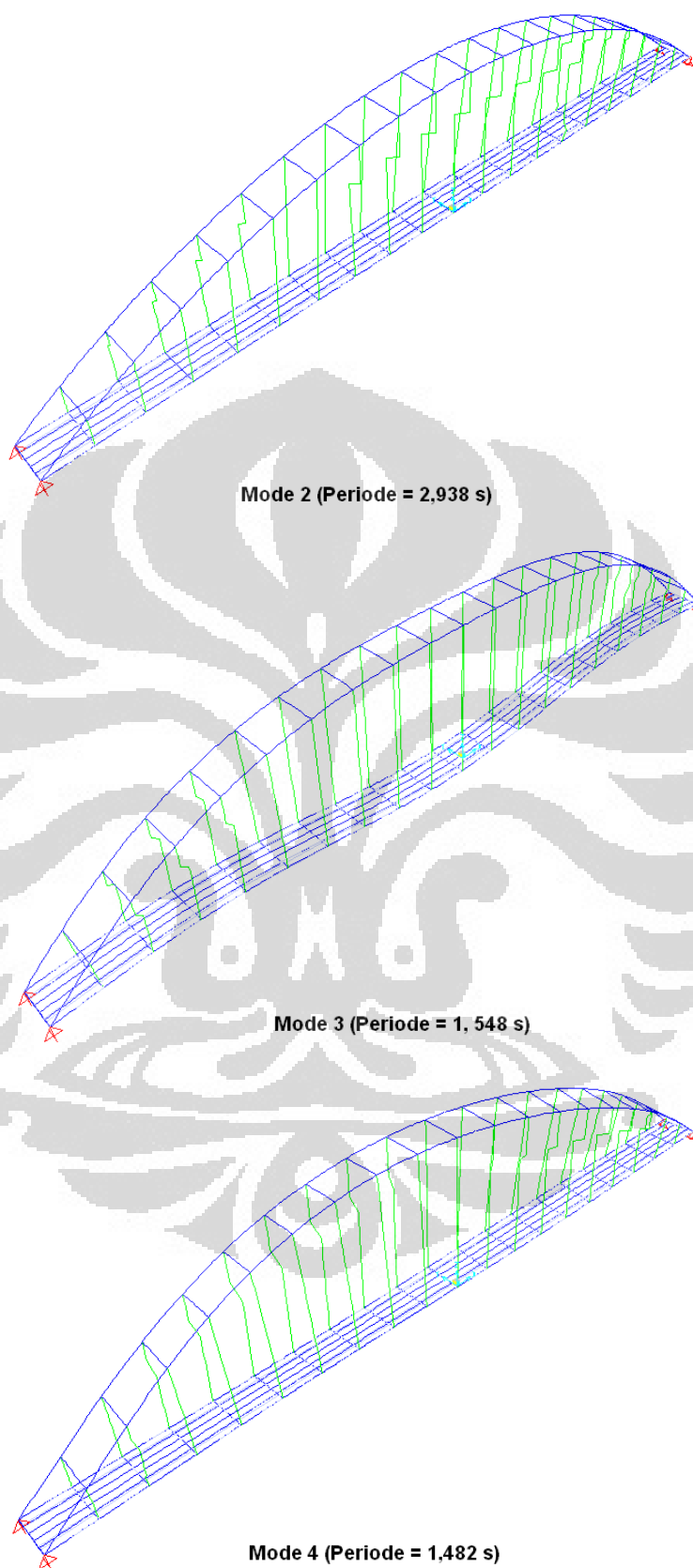


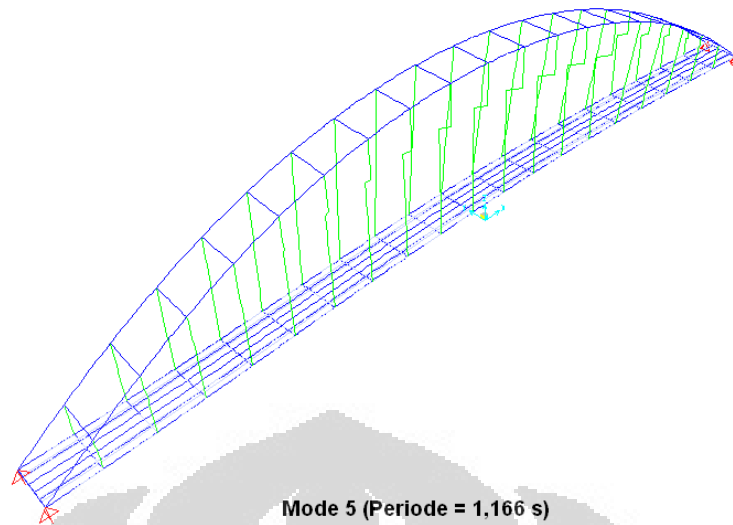
Gambar 4.34 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 4

4.2.6.5 Model 5

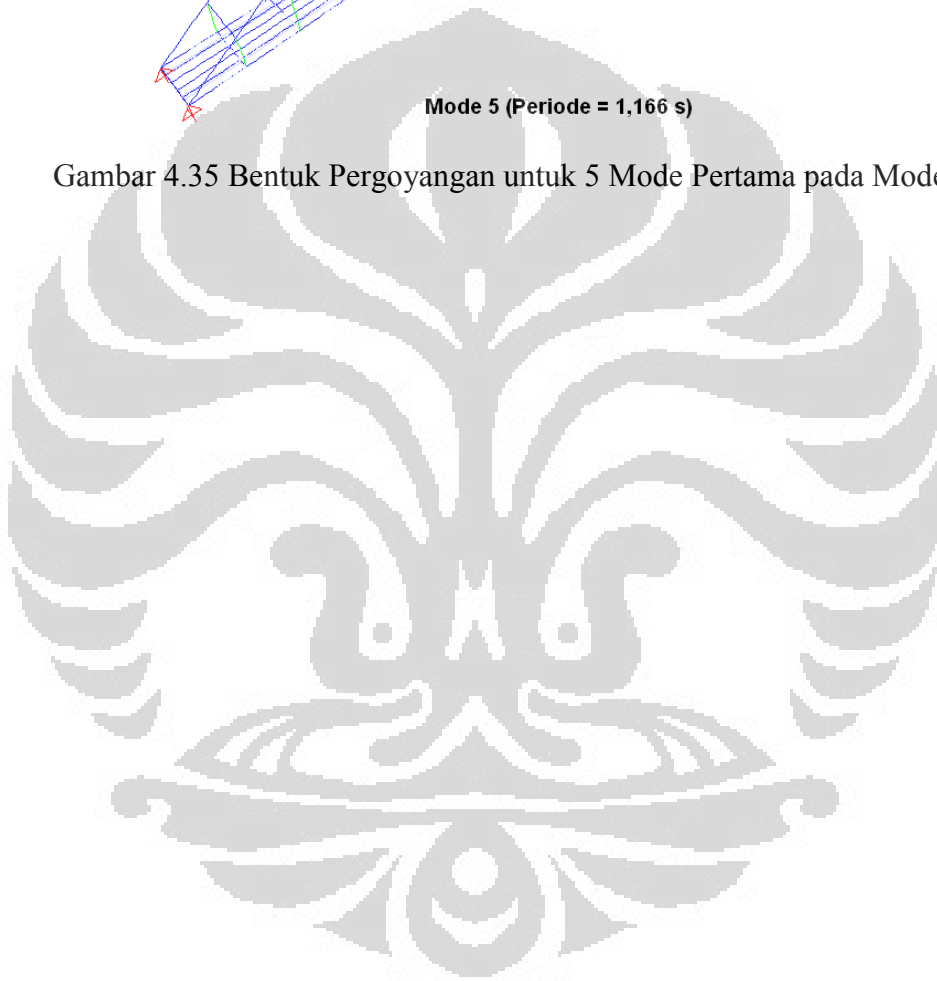
Bentuk pergoyangan yang terjadi pada model 5 juga memiliki pola yang sama dengan model sebelumnya dimana pada dua mode pertama terjadi pergoyangan translasi pada arah x dan y. Mode ketiga terjadi pergoyangan rotasi pada struktur, dan pada mode keempat dan kelima terjadi puntir pada struktur. Dari kelima model, periode yang terjadi pada masing-masing *mode shape* juga tidak berbeda terlalu jauh sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi yang diberikan tidak mengubah kekakuan dan frekuensi natural dari jembatan secara ekstrim. Selanjutnya, dapat dilihat bentuk deformasi dari 5 mode pertama.







Gambar 4.35 Bentuk Pergoyangan untuk 5 Mode Pertama pada Model 5



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah semua prosedur yang telah dijabarkan pada bab 3 yaitu metodologi penelitian dilakukan, hasil dari permodelan struktur dapat diperoleh untuk selanjutnya dianalisis pada bab 4. Kemudian, dari hasil analisis tersebut dalam studi ini dapat diperoleh suatu kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada jembatan *tied arch bridge*, elemen *arch rib* dan *tie beam* adalah merupakan struktur utama yang memikul gaya-gaya terbesar di dalam struktur, baik gaya aksial maupun momen. Keduanya juga memiliki hubungan jika dikaitkan dengan kekuatan dan penampang yang digunakan, dimana penampang *arch* yang kuat akan mengurangi gaya yang harus diterima pada *tie beam* (*strong arch-weak beam*) dan sebaliknya. Hal ini dapat dilihat pada variasi model jika dibandingkan dengan model 1 (penampang konstan, 1:1), saat terjadi kenaikan besar momen sebesar 19 – 39% pada *arch*, sebaliknya terjadi penurunan momen sebesar 1 – 14% pada *tie beam*.
2. Dilihat dari efisiensi berat struktur, model 1 dengan variasi penampang konstan (1:1), memiliki berat struktur yang ringan, namun, jika dibandingkan dengan nilai lendutan maksimum yang terjadi, model 4 dengan variasi penampang semakin mengecil di puncak (1,25:1) memiliki nilai lendutan yang paling kecil yaitu lebih kecil 11% dibandingkan dengan model 1 dengan penambahan berat struktur yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 6,2% sehingga untuk pertimbangan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna selama masa layan jembatan, model 4 merupakan alternatif yang terbaik di dalam studi ini.
3. Pemberian variasi juga memberikan efek penambahan konsentrasi dan besar gaya dalam pada model, namun di dalam studi ini model-model tersebut didapatkan dari perhitungan terhadap batas layan dan ultimit sehingga untuk kapasitas dari material masih dapat menahan gaya-gaya tersebut. Nilai *stress*

check ratio dibatasi sebesar 1,00 dan semua elemen model dalam studi ini telah memenuhi nilai tersebut. Jika dilihat dari grafik rasio tegangan yang terjadi pada struktur jembatan, model 1 (variasi penampang konstan) memiliki nilai yang paling optimal untuk rasio tegangan yang terjadi dimana rata-rata nilai rasio tegangan yang terjadi adalah sekitar 0,85

4. Pemberian variasi penampang nonprismatis pada elemen *arch rib* untuk semua model struktur memberikan efek terhadap perilaku dan kekuatan terhadap struktur secara keseluruhan.

5.2 Saran

Dari semua hasil, analisis, dan kesimpulan yang diperoleh dari studi ini ada beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi masukan dan manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya. Saran tersebut diantaranya:

1. Dalam memodelkan suatu struktur yang akan dianalisis dengan menggunakan bantuan program komputer, definisi, pemahaman, dan asumsi saat akan memasukkan parameter dan spesifikasi model adalah penting agar dihasilkan suatu model struktur yang mendekati kondisi sebenarnya dan dengan perilaku yang diharapkan.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan detail, dapat dilakukan modelisasi pada bagian substruktur dan elemen lain pada jembatan seperti *deck slab*, abutmen, dan lain-lain. Hal ini dapat memperjelas respon struktur terhadap gempa karena struktur bawah dari jembatan adalah bagian yang berinteraksi langsung dengan tanah.
3. Suatu proyek konstruksi termasuk jembatan sangat perlu diperhatikan mengenai tiga hal yaitu, keamanan, kenyamanan, dan ekonomis/efisiensi sehingga pertimbangan dan pengambilan suatu keputusan dalam suatu desain struktur secara umum dan jembatan khususnya haruslah memasukkan ketiga pertimbangan tersebut sebagai persyaratan.

DAFTAR REFERENSI

- Brockenbrough, R.L. & Merritt, F.S.(2006).*Structural Steel Designer's Handbook* (4th ed.).New York:Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Gorenc, Branko; Tinyou, Ron; & Syam, Arum.(2005).*Steel Designers Handbook* (7th ed.).New South Wales:University of New South Wales Press Ltd.
- Chen Wai Fah & Lian Duan.(2000).*Bridge Engineering Handbook*.CRC Press LLC.
- Heins, C.P.(1979).*Design of Modern Steel Highway* (16th ed.).New York:John Wiley & Sons.
- Segui, William.(2007).*Steel Design* (4th ed.).Toronto:Thomson Canada Limited.
- Departemen Pekerjaan Umum.(2005). *Rancangan Standar Nasional Indonesia tentang Pembebanan untuk Jembatan* (RSNI T02-2005).
- Departemen Pekerjaan Umum.(2008). *Standar Nasional Indonesia tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan* (SNI 03-2833-2008).
- De Backer, H; Outtier, A.; & Van Bogart, Ph.(2006).*The Effect of Using Beam Buckling Curves on The Stability of Steel Arch Bridges*.
- Omolofe, b; Oni, S.T; & Tolorunshagba, J.M.(2009).*On The Transverse Motions of Non-Prismatic Deep Beam Under The Actions of Variable Magnitude Moving Loads*.
- Saffari, H; Fadae, M.J.; Tabatabaei, R..(2007).*Developing A Formulation Based Upon Curvature for Analysis of Nonprismatic Curved Beams*.
- Sengupta, Amlan & Menon, Devdas.(2001).*Prestressing Steel*.Indian Institute of Technology Madras.
- Maorun Feng.(2009). *Recent Development of Arch Bridges in China*.

Savor, Z.; Radic, J.; & Hrelja, G.(2003).*Steel Arch Bridges In Croatia-Past And Present*.

AASHTO *Bridge Design Specifications*.(2007).4th Ed.American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc.

AASHTO *Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design*.(2007)

Mahan, Amir.(2009).*Dynamic Response of A Tied Arch Bridge to A Choice of Loading & Operation Condition*.Stockholm.

Suhendro, Ir. Bambang.(1991). *Finite Element Model untuk Analisis Struktur Lengkung Tiga Dimensi*.Teknik Sipil UGM.

Priestley, M.J.N; Seible, F.; & Calvi, G.M.(1996).*Seismic Design and Retrofit of Bridges*.John Wiley & Sons, Inc.

Sukrawa, Made.(2007).*Kekakuan Lateral Struktur Pelengkung Tegak dan Miring pada Jembatan Pelengkung Terikat*.

LRFD Design Specification for Steel Hollow Structural Sections.(2000).American Institute of Steel Construction, Inc.

AASHTO *Standard Specifications for Highway Bridges*.(1996).American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc.



REAKSI PERLETAKAN STRUKTUR

Model	Elemen Perletakan	Arah Reaksi	Reaksi Perletakan (kN)						
			Ultimit 1	Ultimit 2	Ultimit 3	Ultimit 4	Ultimit 5-1	Ultimit 5-2	Ultimit 6
1	Sendi 1	Fx	-2159.37	399.984	399.98	-3055.19	3565.799	10839.679	-2879.29
		Fy	-718.71	-388.701	-338.222	-751.707	4.791	740.358	-637.897
		Fz	10488.17	11129.49	9779.489	8891.104	10700.431	11062.303	7227.918
	Sendi 2	Fx	3599.256	399.984	399.98	3855.154	3565.798	10839.679	2879.337
		Fy	56.398	388.701	338.222	-43.067	716.187	1451.755	-24.415
		Fz	11968.81	11129.49	9779.489	10667.87	10700.43	11062.303	8708.56
	Rol 1	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	-615.061	-411.1	-360.621	-601.346	-128.701	324.258	-493.93
		Fz	10595.09	11129.49	9779.486	9019.406	10753.065	11083.92	7334.836
	Rol 2	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	240.684	411.1	360.621	152.093	582.696	1035.655	119.552
		Fz	11861.89	11129.49	9779.486	10539.57	10753.063	11083.919	8601.636
2	Sendi 1	Fx	-2164.44	399.985	399.981	-3061.28	3725.432	10986.985	-2884.36
		Fy	-723.752	-394.663	-344.774	-758.428	11.267	749.363	-646.653
		Fz	10779.86	11428.63	10078.63	9181.304	11184.168	11592.788	7519.607
	Sendi 2	Fx	3604.327	399.985	399.981	3861.24	3725.432	10986.985	2884.408
		Fy	61.181	394.663	344.774	-36.657	735.771	1473.867	-15.918
		Fz	12275.39	11428.63	10078.63	10975.95	11184.167	11592.787	9015.144
	Rol 1	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	-619.857	-417.067	-367.178	-607.767	-127.281	325.437	-502.433
		Fz	10901.64	11428.62	10078.62	9327.442	11252.18	11593.31	7641.389
	Rol 2	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	245.728	417.067	367.178	158.812	597.224	1049.941	128.303
		Fz	12153.61	11428.62	10078.62	10829.8	11252.179	11593.31	8893.357

Model	Elemen Perletakan	Arah Reaksi	Reaksi Perletakan (kN)						
			Ultimit 1	Ultimit 2	Ultimit 3	Ultimit 4	Ultimit 5-1	Ultimit 5-2	Ultimit 6
3	Sendi 1	Fx	-2163.74	399.985	399.981	-3060.44	3744.767	11010.736	-2883.66
		Fy	-724.945	-395.893	-346.02	-759.653	11.322	749.826	-647.927
		Fz	10807.96	11457.24	10107.24	9209.307	11232.534	11647.342	7547.712
	Sendi 2	Fx	3603.63	399.985	399.981	3860.403	3744.766	11010.736	2883.711
		Fy	62.409	395.893	346.02	-35.39	738.316	1476.82	-14.609
		Fz	12304.52	11457.24	10107.24	11005.17	11232.533	11647.341	9044.264
	Rol 1	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	-621.085	-418.296	-368.423	-609.034	-127.471	325.958	-503.741
		Fz	10930.76	11457.24	10107.24	9356.663	11300.947	11643.217	7670.508
	Rol 2	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	246.92	418.296	368.423	160.037	599.524	1052.953	129.577
		Fz	12181.71	11457.24	10107.24	10857.81	11300.946	11643.216	8921.462
4	Sendi 1	Fx	-2175.14	399.985	399.98	-3074.12	3652.452	10885.561	-2895.06
		Fy	-717.173	-387.925	-338.098	-752.075	12.94	749.43	-640.461
		Fz	10681.18	11328.99	9978.993	9082.819	11018.443	11422.846	7420.931
	Sendi 2	Fx	3615.029	399.985	399.98	3874.082	3652.453	10885.562	2895.11
		Fy	54.067	387.925	338.098	-43.652	724.08	1460.57	-22.645
		Fz	12174.81	11328.99	9978.993	10875.17	11018.442	11422.845	8914.554
	Rol 1	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	-612.729	-410.32	-360.493	-600.763	-125.416	322.884	-495.705
		Fz	10801.05	11328.99	9978.989	9226.66	11083.647	11441.479	7540.798
	Rol 2	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	239.134	410.32	360.493	152.45	585.725	1034.025	122.111
		Fz	12054.93	11328.99	9978.989	10731.32	11083.646	11441.478	8794.681
5	Sendi 1	Fx	-2173.1	399.985	399.98	-3071.68	3640.121	10876.353	-2893.02
		Fy	-717.07	-387.799	-337.919	-751.834	12.07	748.441	-640.07

Model	Elemen Perletakan	Arah Reaksi	Reaksi Perletakan (kN)						
			Ultimit 1	Ultimit 2	Ultimit 3	Ultimit 4	Ultimit 5-1	Ultimit 5-2	Ultimit 6
		Fz	10658.16	11305.45	9955.448	9059.896	10981.445	11385.309	7397.904
	Sendi 2	Fx	3612.99	399.985	399.98	3871.635	3640.122	10876.354	2893.071
		Fy	54.066	387.799	337.919	-43.771	722.86	1459.231	-22.934
		Fz	12150.74	11305.45	9955.448	10851	10981.444	11385.309	8890.492
	Rol 1	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	-612.735	-410.198	-360.318	-600.648	-125.964	322.238	-495.417
		Fz	10776.99	11305.45	9955.445	9202.496	11045.456	11404.941	7516.738
	Rol 2	Fx	0	0	0	0	0	0	0
		Fy	239.039	410.198	360.318	152.213	584.826	1033.028	121.721
		Fz	12031.9	11305.45	9955.445	10708.39	11045.455	11404.94	8771.653

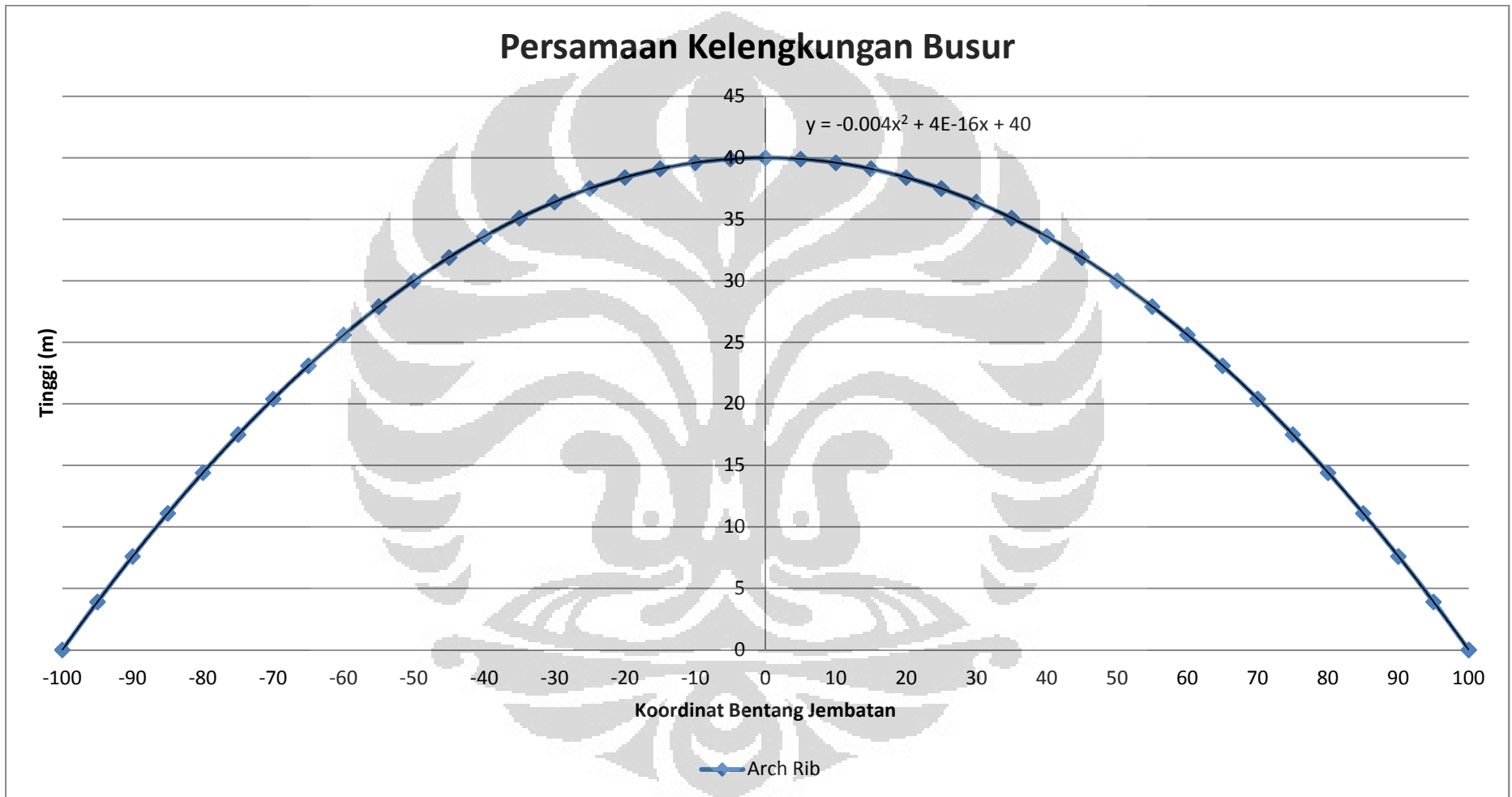
**PENGECEKAN RASIO TEGANGAN ELEMEN STRUKTUR
UTAMA (ARCH & TIE BEAM)**

Elemen	Arch 1				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
3	0.911	0.836	0.841	0.783	0.802
17	0.741	0.669	0.668	0.649	0.650
34	0.697	0.602	0.604	0.595	0.602
51	0.691	0.599	0.595	0.602	0.611
68	0.662	0.573	0.568	0.590	0.597
85	0.632	0.543	0.536	0.571	0.576
102	0.611	0.521	0.515	0.561	0.566
119	0.594	0.498	0.492	0.545	0.548
136	0.581	0.481	0.475	0.530	0.533
153	0.570	0.471	0.466	0.526	0.529
170	0.562	0.491	0.453	0.527	0.528
190	0.560	0.471	0.466	0.527	0.529
207	0.578	0.485	0.480	0.534	0.536
224	0.592	0.502	0.495	0.548	0.552
241	0.615	0.526	0.520	0.564	0.570
258	0.638	0.548	0.541	0.575	0.581
275	0.669	0.577	0.571	0.594	0.601
292	0.697	0.601	0.596	0.605	0.615
309	0.702	0.604	0.608	0.599	0.608
326	0.749	0.674	0.673	0.657	0.657
342	0.924	0.843	0.847	0.794	0.813

Elemen	Arch 2				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
5	0.932	0.836	0.841	0.783	0.802
22	0.741	0.669	0.668	0.649	0.650
39	0.701	0.602	0.604	0.595	0.602
56	0.695	0.599	0.595	0.602	0.611
73	0.671	0.573	0.568	0.590	0.597
90	0.646	0.543	0.536	0.571	0.577
107	0.621	0.521	0.515	0.561	0.566
124	0.599	0.498	0.492	0.545	0.548
141	0.581	0.481	0.475	0.532	0.535
158	0.567	0.471	0.466	0.526	0.528
175	0.557	0.491	0.453	0.525	0.525
195	0.561	0.471	0.466	0.527	0.529
212	0.576	0.495	0.480	0.534	0.536
229	0.593	0.502	0.495	0.548	0.552
246	0.615	0.526	0.520	0.564	0.570
263	0.636	0.548	0.541	0.575	0.581
280	0.669	0.577	0.571	0.594	0.601
297	0.697	0.601	0.596	0.605	0.615
314	0.702	0.604	0.608	0.599	0.608
331	0.749	0.674	0.673	0.657	0.657
344	0.924	0.843	0.847	0.794	0.813

Elemen	Tie 1				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
2	0.832	0.874	0.878	0.870	0.866
15	0.721	0.750	0.753	0.740	0.737
32	0.626	0.632	0.632	0.632	0.631
49	0.569	0.574	0.574	0.578	0.577
66	0.497	0.502	0.502	0.507	0.505
83	0.458	0.464	0.464	0.467	0.466
100	0.461	0.468	0.468	0.468	0.467
117	0.493	0.504	0.506	0.496	0.495
134	0.529	0.541	0.543	0.529	0.529
151	0.560	0.572	0.574	0.557	0.557
168	0.580	0.592	0.594	0.577	0.578
188	0.591	0.602	0.605	0.589	0.589
205	0.595	0.605	0.607	0.595	0.595
222	0.595	0.605	0.607	0.595	0.595
239	0.591	0.598	0.600	0.593	0.593
256	0.577	0.583	0.583	0.582	0.581
273	0.556	0.560	0.560	0.562	0.561
290	0.529	0.532	0.533	0.536	0.535
307	0.500	0.505	0.506	0.508	0.507
324	0.484	0.522	0.526	0.513	0.510
341	0.603	0.654	0.658	0.652	0.646

Elemen	Tie 2				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
4	0.832	0.874	0.878	0.870	0.866
20	0.721	0.750	0.753	0.740	0.737
37	0.626	0.632	0.632	0.632	0.631
54	0.569	0.574	0.574	0.578	0.577
71	0.497	0.502	0.502	0.507	0.505
88	0.458	0.464	0.464	0.467	0.466
105	0.461	0.468	0.468	0.468	0.467
122	0.493	0.504	0.506	0.496	0.495
139	0.529	0.541	0.543	0.529	0.529
156	0.560	0.572	0.574	0.557	0.557
173	0.580	0.592	0.594	0.577	0.578
193	0.591	0.602	0.605	0.589	0.589
210	0.595	0.605	0.607	0.595	0.595
227	0.595	0.605	0.607	0.595	0.595
244	0.591	0.598	0.600	0.593	0.593
261	0.577	0.583	0.583	0.582	0.581
278	0.556	0.560	0.560	0.562	0.561
295	0.529	0.532	0.533	0.536	0.535
312	0.500	0.505	0.506	0.508	0.507
329	0.506	0.530	0.532	0.525	0.523
343	0.631	0.662	0.664	0.664	0.660



TUTORIAL DESAIN

1. Menentukan grid untuk input permodelan

System Name: GLOBAL Units: kN, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	-100.	Primary	Show	End	
2	-95.	Primary	Show	End	
3	-90.	Primary	Show	End	
4	-85.	Primary	Show	End	
5	-80.	Primary	Show	End	
6	-75.	Primary	Show	End	
7	-70.	Primary	Show	End	
8	-65.	Primary	Show	End	

Y Grid Data

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	0.	Primary	Show	End	
2	2.	Primary	Show	End	
3	4.	Primary	Show	End	
4	6.	Primary	Show	End	
5	8.	Primary	Show	End	
6	10.	Primary	Show	End	
7					
8					

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	0.	Primary	Show	End	
2	3.9	Primary	Show	End	
3	7.6	Primary	Show	End	
4	11.1	Primary	Show	End	
5	14.4	Primary	Show	End	
6	17.5	Primary	Show	End	
7	20.4	Primary	Show	End	
8	23.1	Primary	Show	End	

Display Grids as: Ordinates Spacing

Hide All Grid Lines
 Glue to Grid Lines

Bubble Size: 2.4384

Reset to Default Color
Reorder Ordinates

OK Cancel

2. Menentukan material yang akan digunakan

Materials

BJ 41
fc' 30 MPa
SS60

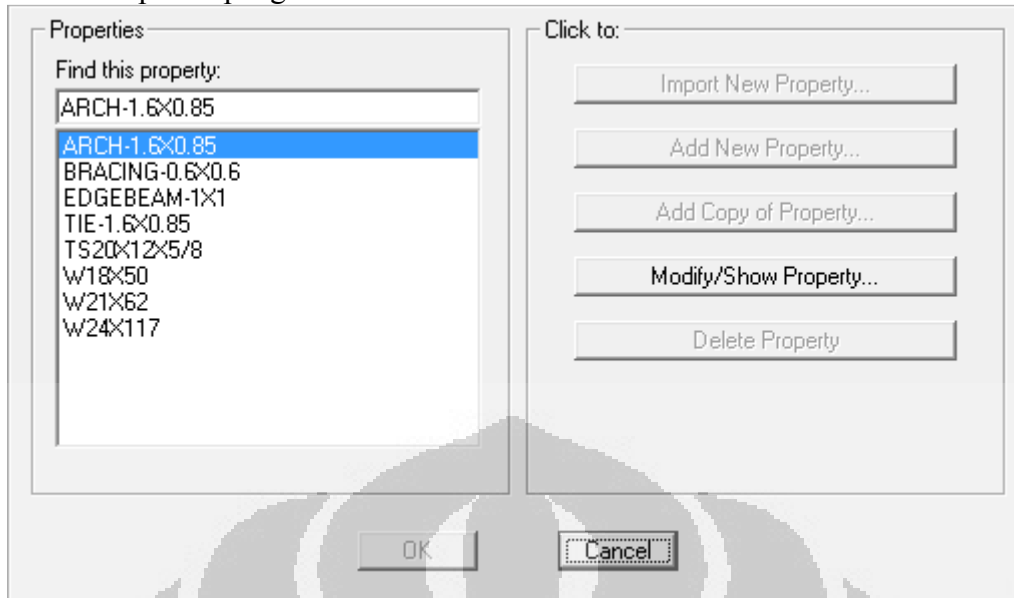
Click to:

Add New Material Quick...
Add New Material...
Add Copy of Material...
Modify/Show Material...
Delete Material

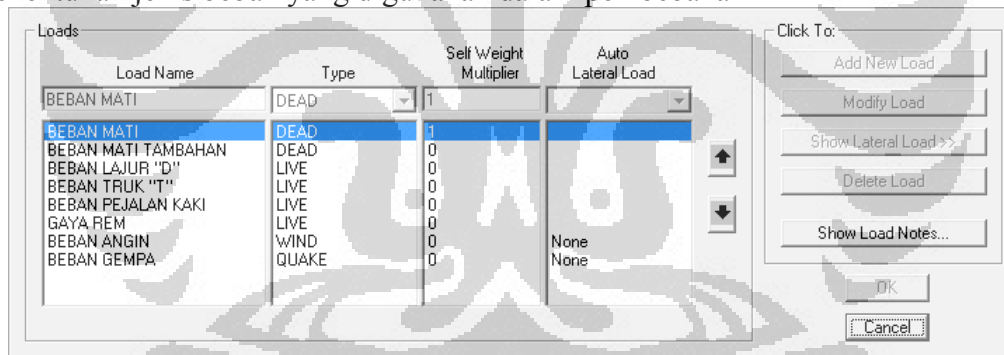
Show Advanced Properties

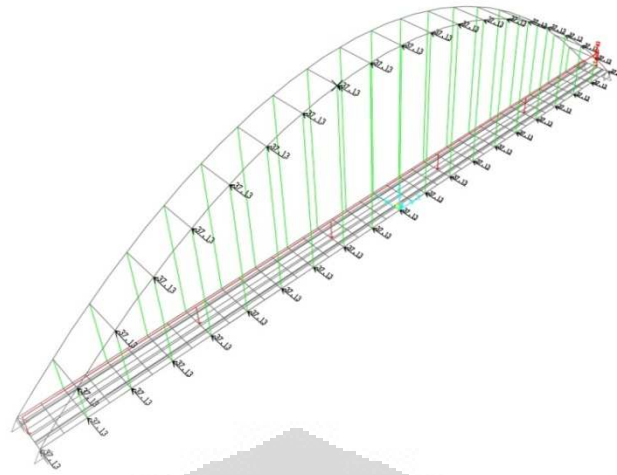
OK
Cancel

3. Menentukan penampang untuk elemen struktur

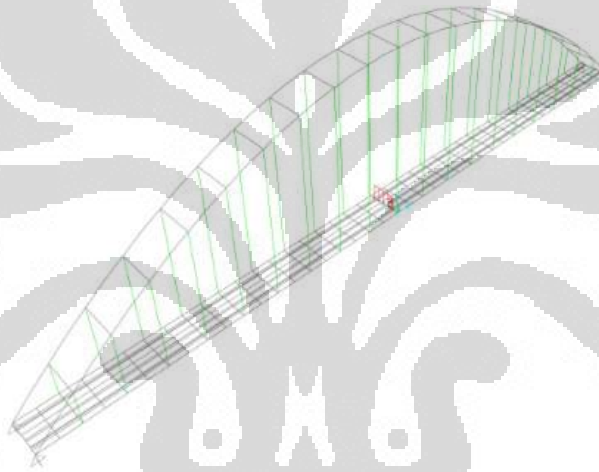


4. Menentukan jenis beban yang digunakan dalam pembebanan

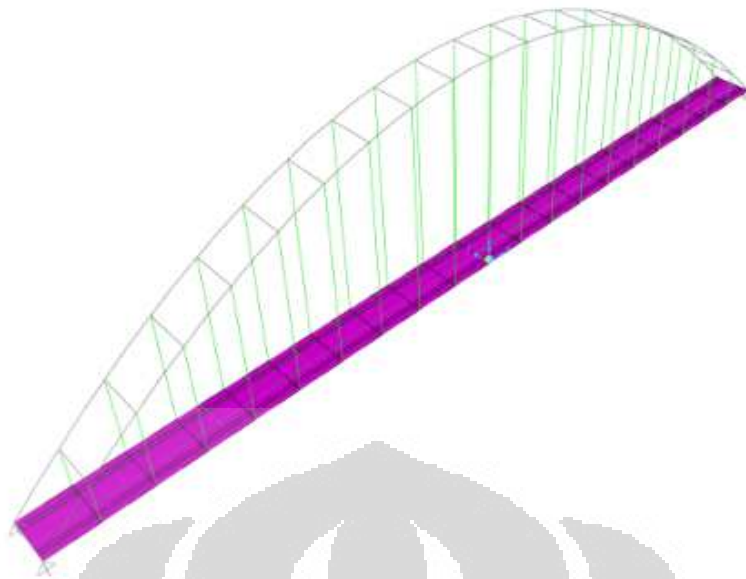




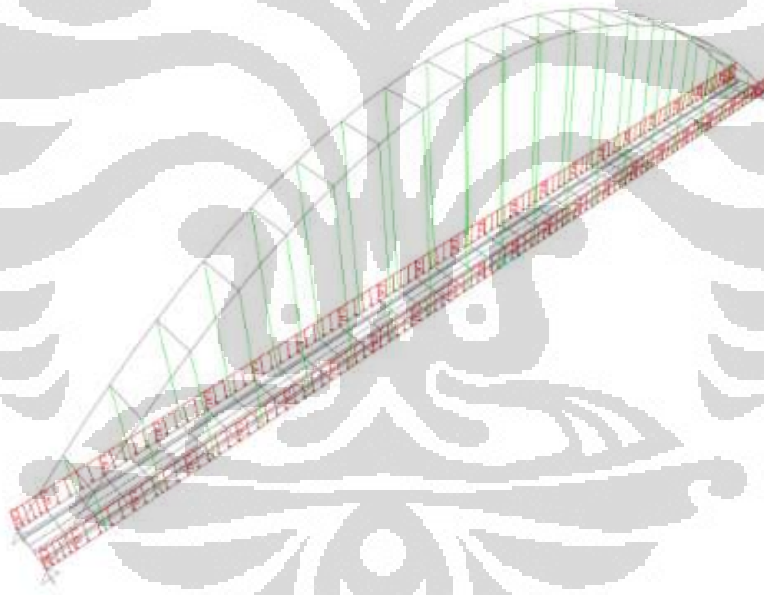
beban angin



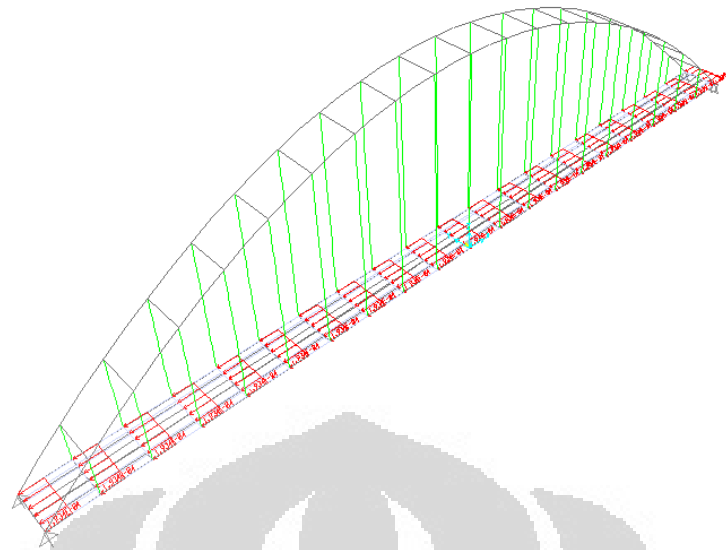
Beban BTR



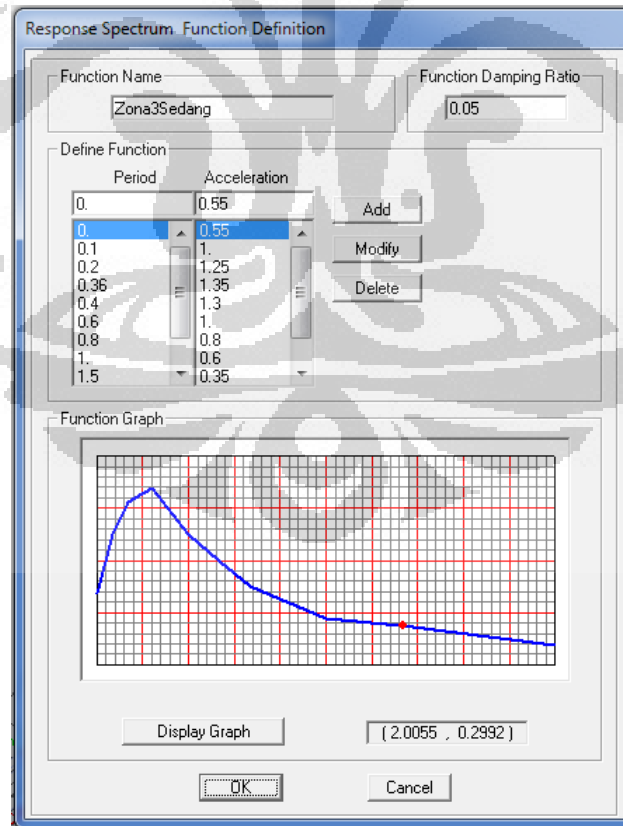
Beban area (“D”, Pejalan kaki, SDL”)



Beban railing



Beban rem



Respon spektrum wilayah 3

Analysis Case Name:

Notes:

Analysis Case Type:

Modal Combination: CQC SRSS ABS GMC 10 Pct Dbl Sum

GMC f1: GMC f2:

Directional Combination: SRSS ABS Modified SRSS (Chinese)

ABS Scale Factor:

Modal Analysis Case: Use Modes from this Modal Analysis Case:

Diaphragm Eccentricity: Eccentricity Ratio:

Override Eccentricities:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RS1	6.13
Accel	U1	RS1	8.13

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Modal Damping:

faktor skala beban gempa