



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH PERSAMAAN KURVA KELENGKUNGAN JEMBATAN
INVERTED ARCH BRIDGE TERHADAP PERILAKU JEMBATAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Sipil

OLEH

Rahmat Rifki SM

0806329546

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
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 : RAHMAT RIFKI SM
NPM : 0806329546
Tanda Tangan : *Rahmat*.....
Tanggal : 2 Juli 2012

STATEMENT OF ORIGINALITY

This final report is the result of my own work, and all sources which are quoted or referred I have stated correctly.

Name : RAHMAT RIFKI SM

Student Number : 0806329546

Signature : *Rahmat*.....

Date : 2nd July 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rahmat Rifki SM
NPM : 0806329546
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi pengaruh persamaan kurva kelengkungan jembatan inverted arch bridge terhadap perilaku jembatan.

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 : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()

Penguji : Mulia Orientilize ST. M. Eng ()

Penguji : Dr. Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report is submitted by :

Name : Rahmat Rifki SM

Student Number : 0806329546

Study Program : Civil Engineering

Title : Study of the effect of arch curvature equation to the behavior of inverted arch bridge.

Has been successfully defended in front of the Examiners and was accepted as part of the necessary requirements to obtain Engineer Bachelor Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

COUNCIL OF EXAMINERS

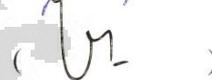
Counselor : Ir. Syahril A. Rahim M. Eng

()

Counselor : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA

()

Examiner : Mulia Orientilize ST. M. Eng

()

Examiner : Dr. Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi

()

Faculty of Engineering, University of Indonesia, Depok

Date : July 2nd 2012

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan seminar skripsi ini. Keberhasilan penyusunan seminar skripsi ini merupakan sebuah proses yang tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang memberikan dorongan dan masukan, maka pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Bapak Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng, sebagai dosen pembimbing atas segala bimbingan, dan arahnya dalam menyusun seminar skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo sebagai dosen pembimbing atas segala bimbingan dan masukan dalam hal konstruksi jembatan yang merupakan topik seminar skripsi saya ini.
3. Kepada ayah dan ibu yang selalu memberikan dorongan dan doa sehingga penulis mempunyai kesempatan menimba ilmu hingga saat ini.
4. Rekan-rekan kuliah Sipil lingkungan 2008 yang selama ini bersama-sama menimba ilmu di teknik sipil Universitas Indonesia.
5. Semua pihak yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu disini yang berkontribusi dalam penulisan seminar skripsi ini, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih belum sempurna, oleh karena itu saran dan masukan demi penyempurnaan seminar skripsi ini dari pembaca akan saya terima dengan senang hati.

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rahmat Rifki SM

NPM : 0806329546

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

Studi pengaruh persamaan kurva kelengkungan jembatan inverted arch bridge terhadap perilaku jembatan.

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 pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2012

Yang menyatakan



(Rahmat Rifki SM)

**STATEMENT OF AGREEMENT
OF FINAL REPORT PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES**

As a civitas academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned:

Name : Maisarah Rizky
Student ID : 0806329413
Study Program: Civil Engineering
Department : Civil Engineering
Faculty : Engineering
Type of Work : Final Report

for the purpose of science development, I hereby agree to provide Universitas Indonesia **Non-exclusive Royalty Free Right** for my scientific work entitled:

Study of the effect of arch curvature equation to the behavior of inverted arch bridge.

together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty Free Right, Universitas Indonesia has rights to store, convert, manage in the form of database, keep and publish this final report as long as cited my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Signed at : Depok

Date this : 2nd July 2012

The Declarer



(Rahmat Rifki SM)

ABSTRAK

Nama : Rahmat Rifki SM
Prodi : Teknik Sipil
Judul : Studi pengaruh persamaan kurva kelengkungan jembatan inverted arch bridge terhadap perilaku jembatan.

Jembatan busur atau arch bridge adalah suatu struktur jembatan yang struktur utamanya dibuat dan ditumpu sedemikian rupa sehingga sebagian besar bebannya disalurkan ke pondasi melalui gaya normal pada elemennya. Jembatan busur yang dalam penelitian ini bertipe inverted arch bridge, yaitu jembatan busur terbalik dengan crown berada di bagian dasar, sehingga dengan sendirinya, semua gaya vertikal yang diterima struktur akan diteruskan menjadi gaya normal tarik ke elemen strukturnya. Dalam penelitian ini akan dimodelkan tiga bentang jembatan yaitu 30m, 50m, dan 80m dengan kombinasi persamaan catenary, persamaan pangkat dua, persamaan pangkat tiga, dan persamaan pangkat empat. Jembatan kemudian dibebani dengan dengan beban-beban sesuai dengan RSNI T-02-2005 tentang pembebanan untuk jembatan. Kemudian jembatan dianalisis menggunakan software analisis SAP2000. Hasilnya diketahui bahwa persamaan catenary dan persamaan pangkat dua mendistribusikan gaya dengan baik ke elemen-elemen strukturnya, sehingga didapatkan struktur yang efisien.

Kata kunci : bridge, arch bridge, jembatanbusur, catenary

ABSTRACT

Name : Rahmat Rifki SM

Study Program : Civil Engineering

Title : Study of the effect of arch curvature equation to the behavior of inverted arch bridge.

Arch bridge is a bridge structure which is designed so that most of the load transmitted to the foundation through the normal force on the elements. The bridge in this study is inverted arch bridge type, which the bow is upside down with the crown bridge is at the base, so that, all the vertical force received will be transferred to the substructure via the normal force to the element. In this study the bridge will be modeled for 30m, 50m, and 80m-span bridge in combination with catenary equation, the parabolic, 3rd power equation, and the 4th power equation. The bridge then subjected to the loads in accordance with RSNI T-02-2005 Loading of bridges. Then the bridges were analyzed using SAP2000 software. The result shows that the catenarie equation, and the parabolic equation distributes the stress within the structure uniformly, and produce an efficient structure.

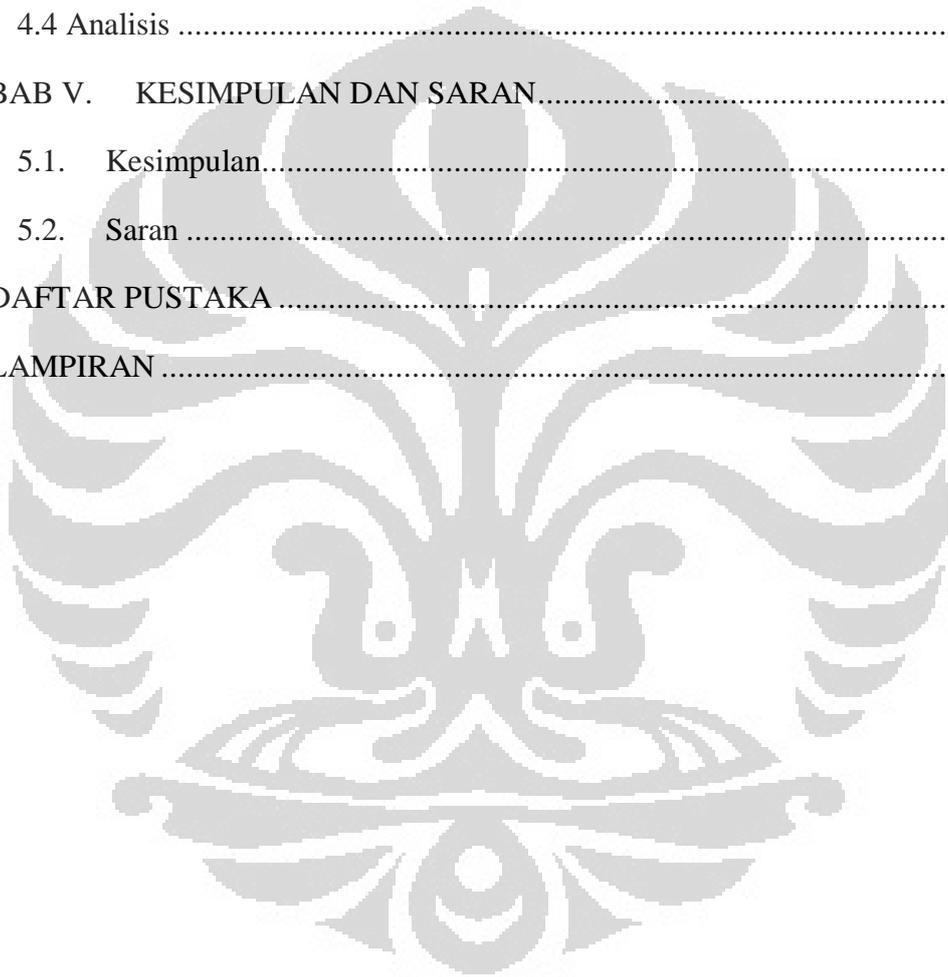
Keyword : bridge, arch bridge, catenary

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Metodologi Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II. DASAR TEORI	6
2.1 Teori Jembatan	6
2.2 Tipe Jembatan	6
2.2.1. Suspended bridge	6
2.2.2. Cable stayed bridge	7
2.2.3. Arch Bridge	7
2.2.4. Truss bridge	8
2.2.5. Jembatan boks girder	9
2.3 Jembatan Inverted Arch Bridge	9
2.3.1. Deck	10
2.3.2. Superstruktur	11

2.3.3. Substruktur.....	12
2.3.4. Pembebanan	14
2.3.5. Analisa struktur.....	28
2.3.6. SAP2000 ®	28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Prosedur analisis dan perancangan	29
3.2 Modelisasi struktur	30
3.2.1 Material	30
3.2.2 Struktur.....	30
3.2.3 Preliminary sizing	33
3.3 Metode analisa.....	36
3.4 Variasi pemodelan	36
3.5 Pembebanan	43
3.6 Output pemodelan	49
BAB IV. HASIL DAN ANALISIS.....	50
4.1 Hasil stress check dan gaya dalam	51
4.1.1. Bentang 30m, persamaan catenary.....	51
4.1.2. Bentang 30m, persamaan pangkat 2.....	52
4.1.3. Bentang 30m, persamaan pangkat 3.....	53
4.1.4. Bentang 30m, persamaan pangkat 4.....	54
4.1.5. Bentang 50m, persamaan catenary.....	55
4.1.6. Bentang 50m, persamaan pangkat 2.....	56
4.1.7. Bentang 50m, persamaan pangkat 3.....	57
4.1.8. Bentang 50m, persamaan pangkat 4.....	58
4.1.9. Bentang 80m, persamaan catenary.....	59
4.1.10. Bentang 80m, persamaan pangkat 2.....	60

4.1.11. Bentang 80m, persamaan pangkat 3.....	61
4.1.12. Bentang 80m, persamaan pangkat 4.....	62
<i>Tabel gaya dalam pada batang vertikal</i>	63
<i>Tabel gaya dalam pada Arch</i>	63
4.2 lendutan struktur.....	65
4.3 Massa total struktur	68
4.4 Analisis	68
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1. Kesimpulan.....	79
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	82



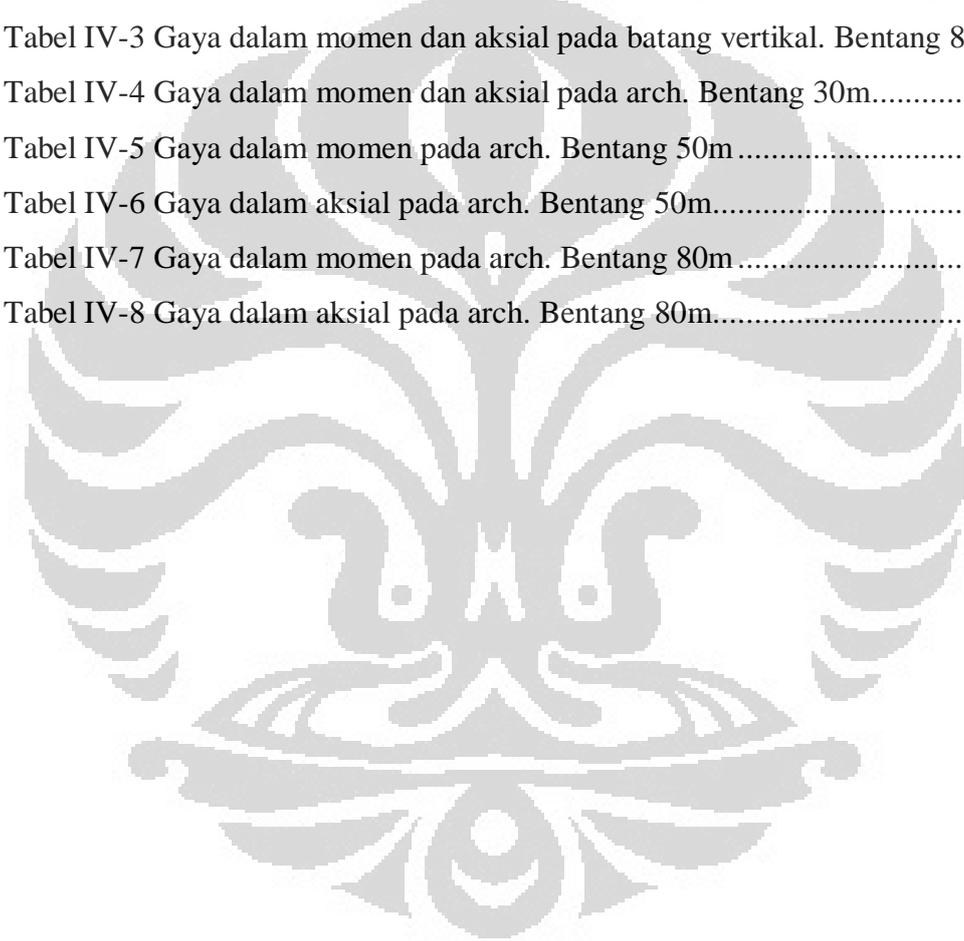
DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1. Gambar rencana jembatan rio colorado.....	2
Gambar I.2 Elemen jembatan busur	2
Gambar I.3. Contoh jembatan busur	3
Gambar I.4. Persamaan catenary pangkat 2,3 dan 4	3
Gambar II.1 Struktur tipikal <i>arch bridge</i>	7
Gambar II.2 Tipe-tipe jembatan busur	8
Gambar II.3 Cowlitzs River Concrete Arch.....	8
Gambar II.4 Freemont Bridge yang membelah sungai Willamette.....	8
Gambar II.5 Susunan boks girder	9
Gambar II.6 <i>Rio colorado bridge</i>	10
Gambar II.7 <i>Struktur deck</i>	11
Gambar II.8 Persamaan catenary	12
Gambar II.9 Rocker bearing	13
Gambar II.10 bentuk-bentuk tipikal kolom jembatan.....	13
Gambar II.11 – Tipikal abutment jembatan	14
Gambar II.12 Bagan alir perencanaan beban jembatan	15
Gambar II.13 Beban Lajur D.....	23
Gambar II.14. BTR vs panjang yang dibebani	23
Gambar II.15. Penyebaran beban pada arah melintang	24
Gambar II.16. Susunan pembebanan D	25
Gambar II.17. Pembebanan truk T (500KN).....	26
Gambar III.1 <i>Bagan alir prosedur penelitian</i>	29
Gambar III.2 Perbandingan kelengkungan yang diplot di	31
Gambar III.3 Model jembatan dengan kurva persamaan catenary	31
Gambar III.4 Model jembatan dengan kurva persamaan pangkat 2	32
Gambar III.5 Model jembatan dengan kurva persamaan pangkat 3	32
Gambar III.6 Model jembatan dengan kurva persamaan pangkat 4	32
Gambar III.7 Beban garis yang di modelkan sebagai sebuah vehicle	44
<i>Gambar III.8 input beban truk pada SAP2000 sebagai suatu vehicle</i>	<i>46</i>
<i>Gambar III.9. table beban angin untuk masing-masing model.....</i>	<i>47</i>

<i>Gambar III.10. input pembebanan angin untuk bentang 50m pada SAP2000</i>	47
Gambar IV.1 Section profile Bentang 30m, persamaan catenary	51
Gambar IV.2 Section profile Bentang 30m, persamaan pangkat dua.....	52
Gambar IV.3 Section profile Bentang 30m, persamaan pangkat tiga	53
Gambar IV.4 Section profile Bentang 30m, persamaan pangkat empat	54
Gambar IV.5 Section profile Bentang 50m, persamaan catenary	55
Gambar IV.6 Section profile Bentang 50m, persamaan pangkat dua.....	56
Gambar IV.7 Section profile Bentang 50m, persamaan pangkat 4	57
Gambar IV.8 Section profile Bentang 50m, persamaan pangkat 4	58
Gambar IV.9 Section profile Bentang 80m, persamaan catenary	59
Gambar IV.10 Section profile Bentang 80m, persamaan pangkat 2	60
Gambar IV.11 Section profile Bentang 80m, persamaan pangkat 3	61
Gambar IV.12 Section profile Bentang 80m, persamaan pangkat 4	62
Gambar IV.13 Distribusi aksial pada batang vertikal pada bentang 30m.....	69
Gambar IV.14 Distribusi aksial pada batang vertikal bentang 50m.....	69
Gambar IV.15 Distribusi aksial pada batang vertikal bentang 80m.....	70
Gambar IV.16 Distribusi momen pada batang vertikal bentang 30m	71
Gambar IV.17 Distribusi momen pada batang vertikal bentang 50m	71
Gambar IV.18 Distribusi momen pada batang vertikal bentang 80m	72
Gambar IV.19 Distribusi momen pada arch bentang 30m.....	72
Gambar IV.20 Distribusi momen pada arch bentang 50m.....	73
Gambar IV.21 Distribusi momen pada arch bentang 80m.....	73
Gambar IV.22 Distribusi aksial pada arch bentang 30m	75
Gambar IV.23 Distribusi aksial pada arch bentang 50m	75
Gambar IV.24 Distribusi aksial pada arch bentang 80m	76
Gambar IV.25 Perbandingan massa struktur bentang 30m.....	77
Gambar IV.26 Perbandingan massa struktur bentang 50m.....	77
Gambar IV.27 Perbandingan massa struktur bentang 80m.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel II-1. Ringkasan aksi-aksi rencana	19
Tabel II-2. Berat isi untuk beban mati	20
Tabel II-3. Faktor beban akibat beban lajur "D"	21
Tabel II-4. Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana	22
Tabel II-5. Faktor distribusi untuk pembebanan truk T	27
Tabel IV-1. Gaya dalam momen dan aksial pada batang vertikal. Bentang 30m .	63
Tabel IV-2 Gaya dalam momen dan aksial pada batang vertikal. Bentang 50m ..	63
Tabel IV-3 Gaya dalam momen dan aksial pada batang vertikal. Bentang 80m ..	63
Tabel IV-4 Gaya dalam momen dan aksial pada arch. Bentang 30m.....	63
Tabel IV-5 Gaya dalam momen pada arch. Bentang 50m	64
Tabel IV-6 Gaya dalam aksial pada arch. Bentang 50m.....	64
Tabel IV-7 Gaya dalam momen pada arch. Bentang 80m	64
Tabel IV-8 Gaya dalam aksial pada arch. Bentang 80m.....	64



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan adalah suatu struktur yang digunakan untuk menghubungkan dua tempat dimana terdapat halangan berupa jurang, laut, sungai, bangunan, atau halangan lainnya. Sebuah jembatan yang lengkap terdiri dek, struktur utama yang menyangga dek dan berat sendiri, serta substruktur¹. Dalam perancangannya, banyak aspek yang mesti dipertimbangkan, antara lain kegunaan dari jembatan, bentuk medan, material yang digunakan, serta dana yang tersedia.

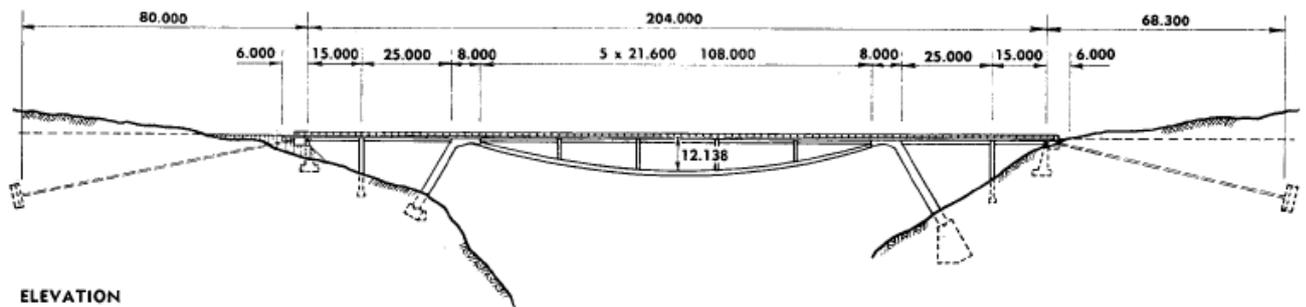
Beberapa tipe struktur utama jembatan adalah sebagai berikut²

- a. Slab;
- b. Girder;
- c. Cable-stayed girder;
- d. Truss;
- e. Arch;
- f. Suspension.

Pada penelitian yang berjudul pengaruh persamaan kelengkungan jembatan busur terhadap perilaku jembatan ini, jembatan yang dibahas adalah tipe *inverted arch bridge* atau jembatan busur. Bagian yang dibahas adalah bagian struktur utama. Dengan melihat sebaran gaya dalam pada masing masing jembatan yang diakibatkan oleh beban beban yang bekerja, akan kita dapatkan bentuk persamaan yang paling efektif dan ekonomis. Satu-satunya jembatan arch bridge yang saat ini telah dibangun yaitu jembatan rio colorado di San Jose, Costa Rica. (Gbr I.6). Jembatan ini mempunyai panjang total 204m serta bentang utama 108m. Jembatan ini dirancang oleh T.Y. Lin, seorang Professor di university of California, dan selesai dibangun pada tahun 1974.

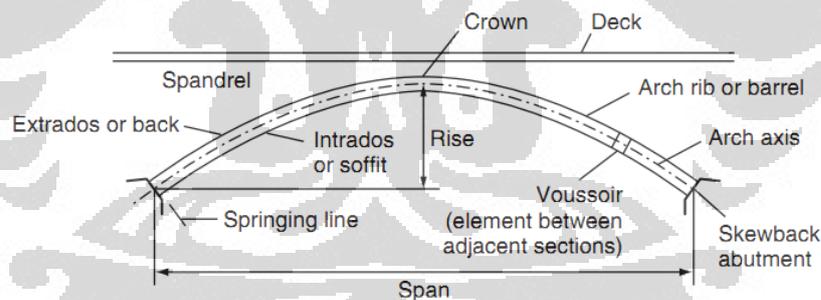
¹ Design of Bridge Superstructure, Colin o'Connor, pg 1, Intro.

² Design of Bridge Superstructure, Colin o'Connor, pg 15, Design philosophy.



Gambar I.1. Gambar rencana jembatan rio colorado

Menurut buku *Design of bridge superstructure*, jembatan busur didefinisikan sebagai suatu struktur jembatan berbentuk lengkungan yang meneruskan semua gaya vertikal yang diterima jembatan menjadi gaya normal yang terjadi pada elemen strukturnya.³ Walaupun secara teoritis jembatan busur ini direncanakan untuk hanya menerima gaya normal, akan tetapi pada prakteknya momen selalu muncul. Hal ini diakibatkan oleh pembebanan yang dilakukan ke segala arah. Dan juga kombinasi pembebanan dilakukan untuk suatu mendapatkan output gaya dalam yang maksimum sehingga didapat suatu struktur yang aman.



Gambar I.2 Elemen jembatan busur⁴

³ ICE Bridge engineering Handbook, ch. 17, Arch Bridge.

⁴ Design of Bridge Superstructure, Colin o'Connor, pg 488, Arches.



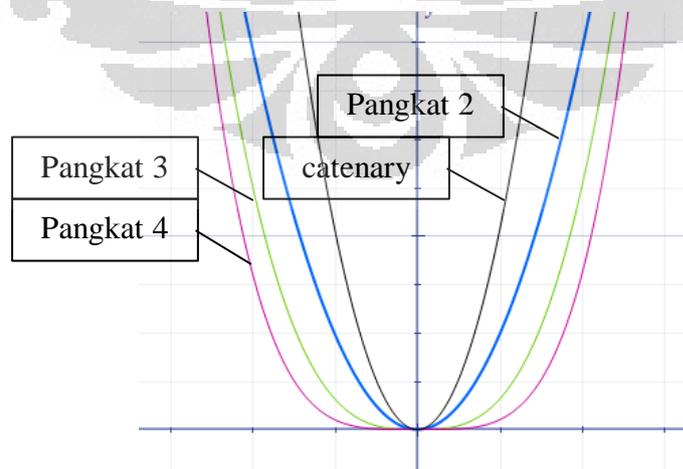
Gambar I.3. Contoh jembatan busur

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku dari jembatan busur dengan variasi panjang bentang dan bentuk persamaan kelengkungan. Pengujian dilakukan untuk suatu jembatan busur bentang pendek, menengah, dan panjang. Untuk setiap jembatan tersebut persamaan kelengkungan yang diujikan yaitu persamaan catenary, persamaan pangkat 2, pangkat 3, dan pangkat 4. Perilaku jembatan yang diamati adalah besarnya lendutan yang terjadi.

Hipotesa yang diambil adalah:

1. Bentuk dengan persamaan catenary merupakan persamaan paling optimum karena kurva catenary adalah kurva yang secara alami terbentuk oleh suatu kabel yang tergantung bebas.
2. Dikarenakan bentuk persamaan pangkat dua yang mendekati persamaan catenary, perilaku kedua arch ini adalah mirip.



Gambar I.4. Persamaan catenary pangkat 2,3 dan 4

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan permasalahan, penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

- a. Kajian dilakukan terhadap jembatan busur dengan material baja;
- b. Bentang yang ujikan ada 3, yaitu pendek, menengah, dan panjang, relatif untuk ukuran *arch bridge* secara umum.
- c. Persamaan yang diujikan yaitu persamaan catenary, persamaan pangkat 2, pangkat 3, dan pangkat 4.
- d. Efek ketidaksempurnaan geometri penampang tidak ditinjau.
- e. Analisa dilakukan berdasarkan sifat baja pada mode *linear-elastic*.

1.4 Metodologi Penelitian

Secara umum, metode penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut berikut:

- a. Melakukan studi literatur mengenai perancangan jembatan busur;
- b. Melakukan perancangan jembatan busur dengan variasi bentang pendek, menengah, dan panjang, sesuai dengan *code* yang berlaku;
- c. Pada masing-masing bentang jembatan yang telah di rancang, diberikan variasi kurva kelengkungan, yaitu catenary, persamaan pangkat 2, persamaan pangkat 3, dan persamaan pangkat 4;
- d. Pada masing-masing struktur diberikan beban sesuai dengan Standar SNI mengenai pembebanan pada jembatan;
- e. Melakukan analisis menggunakan software analisa struktur SAP2000

1.5 Sistematika Penulisan

BAB 1. Pendahuluan

Terdiri dari latar belakang dilakukannya penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2. Dasar teori

Terdiri dari definisi jembatan, jenis-jenis jembatan, statika jembatan, pertimbangan umum pemilihan model jembatan yang sesuai, metode teoritis desain awal, persamaan kurva yang akan digunakan, dan software yang akan digunakan.

BAB 3. Metodologi penelitian

Terdiri dari prosedur analisis dan perancangan, modelisasi struktur, metode analisi, variasi pemodelan, pembebanan, dan output pemodelan.

BAB 4. Pemodelan struktur

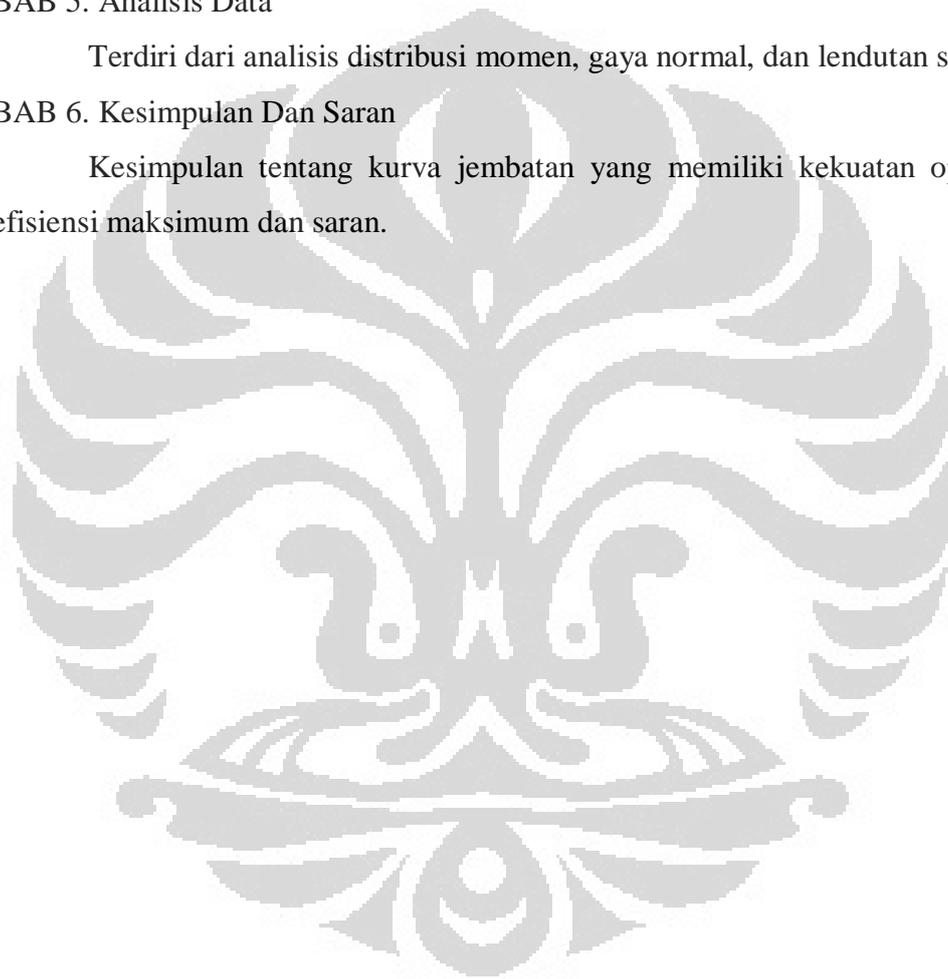
Terdiri dari permodelan struktur jembatan sokongan dengan variasi kurva yang telah ditentukan, dan juga variasi bentang struktur jembatan (pendek, menengah, dan panjang)

BAB 5. Analisis Data

Terdiri dari analisis distribusi momen, gaya normal, dan lendutan struktur.

BAB 6. Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan tentang kurva jembatan yang memiliki kekuatan optimum, efisiensi maksimum dan saran.



BAB II. DASAR TEORI

2.1 Teori Jembatan

Jembatan adalah suatu struktur yang digunakan untuk menghubungkan dua tempat dimana terdapat halangan berupa jurang, laut, sungai, bangunan, atau halangan lainnya. Jembatan ini dapat digunakan sebagai tempat lewatnya pejalan kaki, kendaraan, jalur kereta api, pipa gas, atau kabel listrik.

Jembatan arch sendiri adalah jembatan dengan struktur utamanya berupa pelengkung (*Arch*). Jembatan pelengkung ini memiliki geometri kelengkungan yang di ambil dari suatu persamaan tertentu dan perbandingan antara tinggi dan panjang bentang (*sag to span ratio*) yang memenuhi aturan yang ada.

Keuntungan dari pelengkung adalah kemampuannya menyebarkan gaya dalam pada aksial, dan bending momen dan geser yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan *simple beam* pada bentuk dan panjang bentang yang sama. Hal ini memungkinkan material yang digunakan akan lebih efektif sehingga biayanyapun menjadi lebih ekonomis.

Struktur jembatan adalah suatu hasil rekayasa yang kompleks. Proses desain harus memenuhi 4 faktor utama yaitu (a) fungsi (b) struktural (c) ekonomis dan (d) estetika.⁵ Faktor keamanan dan bentuk ekonomis merupakan faktor utama yang perlu dipertimbangkan dengan signifikan. Faktor estetika juga memiliki pengaruh yang sangat besar dalam pemilihan model jembatan terutama kota-kota besar yang menjadi pusat kegiatan politik dan ekonomi.

2.2 Tipe Jembatan

2.2.1. Suspended bridge

Jembatan gantung biasa dan *Stiffened Suspended bridge* atau jembatan gantung berpengaku dapat dikategorikan sebagai jembatan gantung. Meskipun secara fundamental sama, kedua jembatan ini cukup berbeda pada prakteknya. Jembatan gantung ini merupakan pilihan utama saat bentang yang digunakan melebihi 600m. Untuk bentang yang lebih kecilpun, jembatan ini banyak

⁵ Design of Bridge Superstructure, Colin o connor

digunakan secara luas. Salah satu sebabnya adalah keindahan alami yang dimiliki struktur jembatan gantung ini.

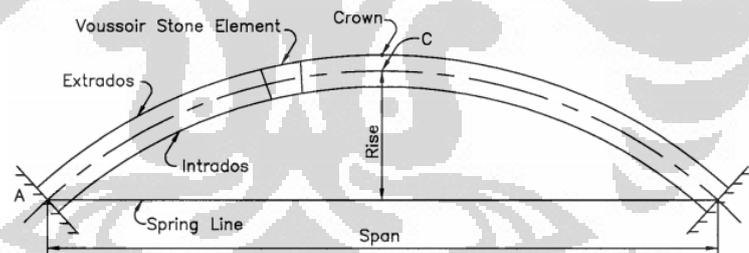
2.2.2. Cable stayed bridge

Jembatan cable stay terdiri dari dek, sistem girder utama, kabel penyokong, dan tower utama. Jembatan ini ekonomis untuk bentang antara 100m sampai 300m⁶. Pada struktur ini, beban dek diteruskan ke gaya aksial kabel, untuk kemudian diteruskan ke gaya aksial pada tower.

2.2.3. Arch Bridge

Jembatan busur atau *arch bridge* didefinisikan sebagai struktur jembatan yang mana struktur utamanya dibuat dan di tumpu sedemikian rupa sehingga sebagian besar beban lateralnya disalurkan ke pondasi melalui gaya tekan pada elemennya.

Bentuk busur dipilih sedemikian rupa sehingga hanya gaya tekan yang terjadi dan tidak ada gaya momen. Untuk struktur arch tekan, busur ini akan berbentuk cekung kebawah, yang mana bentuknya adalah kebalikan dari suspended bridge.

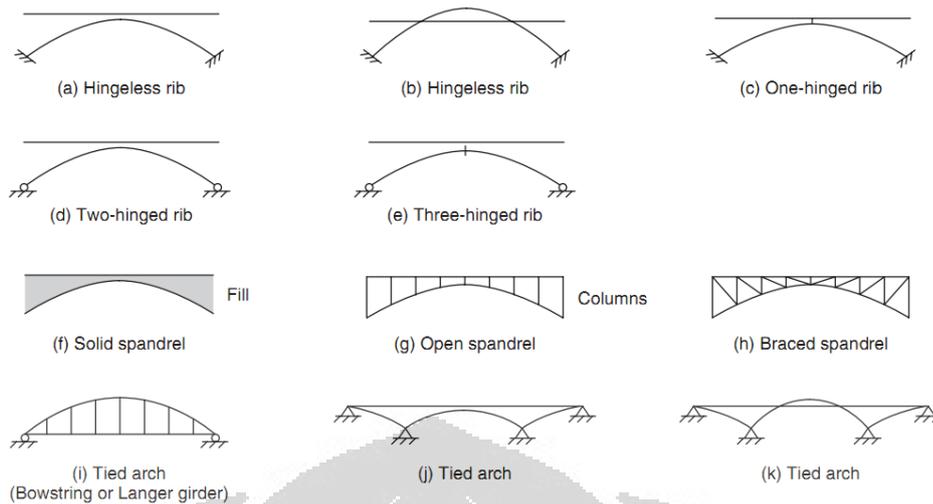


Gambar II.1 Struktur tipikal *arch bridge*⁷

Arch bridge sangatlah unggul dalam hal estetika, fungsi, dan kenyamanan bagi pengendara kendaraan bermotor. Arch bridge relatif lebih indah dilihat daripada jembatan rangka biasa.

⁶ Design of Bridge Superstructure, Colin o connor

⁷ Bridge Engineering Handbook, W.F.Chen, T.Y. Lin



Gambar II.2 Tipe-tipe jembatan busur⁸



Gambar II.3 Cowlitz River Concrete Arch



Gambar II.4 Fremont Bridge yang membelah sungai Willamette⁹

2.2.4. Truss bridge

Jembatan rangka menggunakan rangka untuk menahan dan mendistribusikan beban yang diterimanya. Pada struktur rangka, beban hanya didistribusikan melalui gaya aksial pada setiap membranya. Momen yang terjadi diusahakan seminimal mungkin untuk meningkatkan performa rangka. Meskipun demikian, banyak juga rangka yang menggunakan koneksi kaku pada

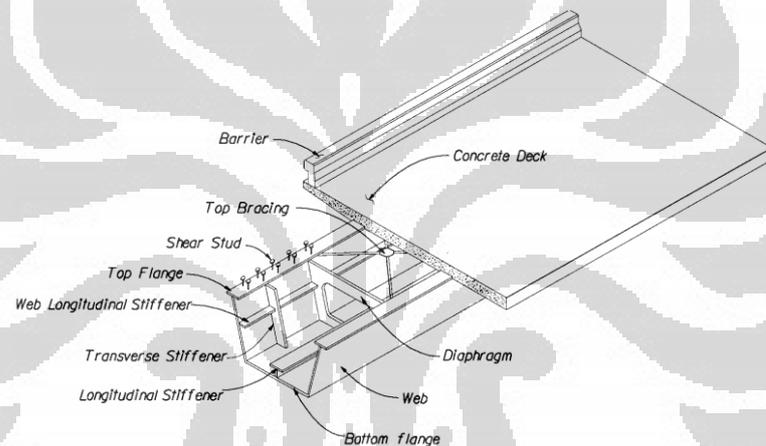
⁸ ICE Manual of bridge Engineering

⁹ Bridge Engineering Handbook, W.F.Chen, T.Y. Lin

sambungannya. Hal ini dilakukan karena besarnya momen masih dalam kemampuan layan serta untuk meningkatkan kekakuan struktur.

2.2.5. Jembatan boks girder

Jembatan boks girder ini menahan beban dek dan lalu lintas kendaraan menggunakan balok girder yang menahan dek langsung. Biasanya girder ini dibuat dari baja atau juga beton prategang atau juga komposit baja-beton. Salah satu kelebihan jembatan ini adalah bentuknya yang sederhana bila dibandingkan dengan bentuk truss, atau lainnya. Kekurangan utama struktur ini adalah material yang digunakan lebih banyak bila dibandingkan dengan arch, truss atau struktur lain yang lebih banyak bergantung pada kekuatan aksial, ketimbang pada kekuatan lentur atau geser.

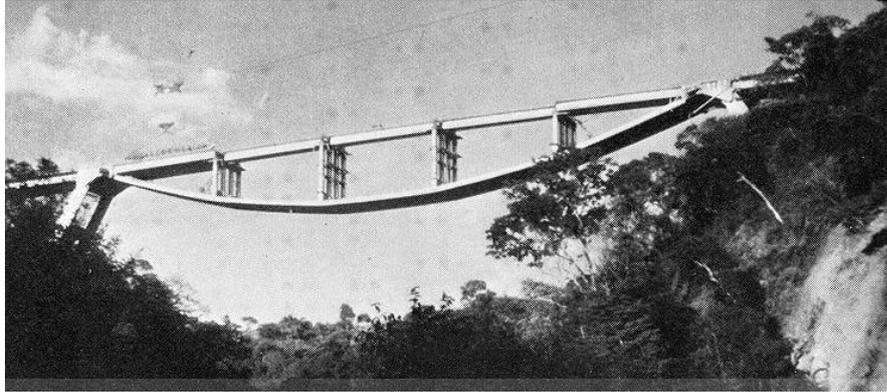


Gambar II.5 Susunan boks girder¹⁰

2.3 Jembatan Inverted Arch Bridge

Jembatan ini merupakan invers dari jembatan arch bridge konvensional sehingga bentuknya cekung ke atas. Beban dari dek dan beban hidup ditransfer menjadi gaya tarik di struktur utama jembatan. Selanjutnya jembatan di tahan oleh penyangga di ujung-ujungnya, dan kemudian di angkur ke blok angkur.

¹⁰ Bridge Engineering Handbook, W.F.Chen, T.Y. Lin



Gambar II.6 *Rio Colorado bridge*¹¹

2.3.1. Deck

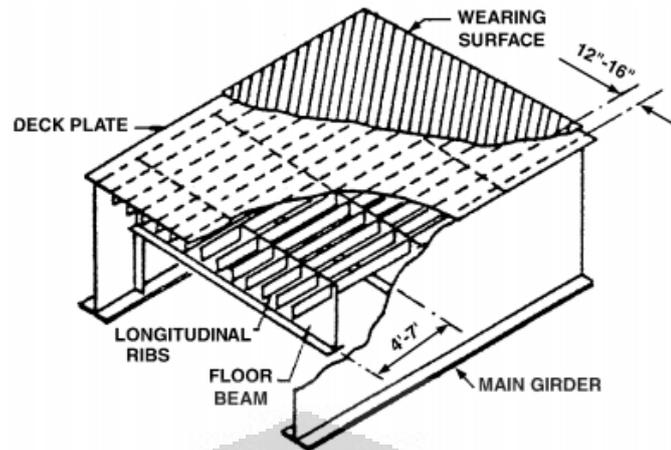
Deck ini adalah bagian yang berguna mentransfer beban jalur kendaraan, kereta api, atau pejalan kaki ke struktur utama jembatan. Diatas dek ini akan dibangun jalur-jalur jalan, rel, dan trotoar. Material yang umum digunakan untuk struktur dek antara lain beton cor, beton precast, prestress, dan baja. Jika pelat dek dibuat segmental, maka penting dilakukan post-stressing untuk menjamin *continuity* dari dek tersebut.

Dalam perancangan dek ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

- a. Durability
- b. Kuat lentur lateral
- c. Kuat tekan longitudinal
- d. Biaya
- e. Beban mati
- f. Kehalusan permukaan

Pada permodelan pelat dek ini, digunakan elemen shell untuk memodelkan elemen pelat jembatan. Khusus untuk kekakuan aksial x, aksial y serta geser inplane xy, sengaja dihilangkan, agar gaya aksial yang terjadi dipikul seluruhnya oleh balok memanjang jembatan dan bukan oleh pelat. Sehingga pelat hanya berfungsi untuk mendistribusikan momen dari beban hidup di atas jembatan saja.

¹¹ Construction of Rio Colorado bridge, TY. Lin, Felix Kulka



Gambar II.7 Struktur deck¹²

Pelat jembatan ditahan oleh balok memanjang (*longitudinal ribs*). Dibawahnya terdapat floor beam yang ditahan oleh main girder. Main girder inilah yang kemudian berhubungan langsung ke struktur utama jembatan. Untuk dek baja, korosi merupakan masalah tersendiri. Perlindungan terhadap korosi menjadi hal penting karena korosi ini akan mengurangi kemampuan layan dari struktur tersebut.

2.3.2. Superstruktur

Struktur utama dari jembatan busur adalah busur yang menahan semua beban di atasnya. Beban dari dek dan beban hidup di atasnya ditransfer melalui penggantung menjadi gaya tekan yang terjadi pada elemen strukturnya. Busur ini sendiri dibentuk sedemikian hingga hanya gaya tekan yang diterimanya sedangkan momennya nol. Hal ini untuk meningkatkan kekuatan dari struktur busur tersebut. Material struktur utamanya terbuat dari baja struktural.

Dalam permodelan, digunakan elemen *continuous frame* untuk memodelkannya, dimana semua ujung-ujungnya adalah *fix* (momen di ujungnya tidak di *release*). Hal ini dikarenakan elemen arch ini selain memikul aksial, juga memikul momen lentur.

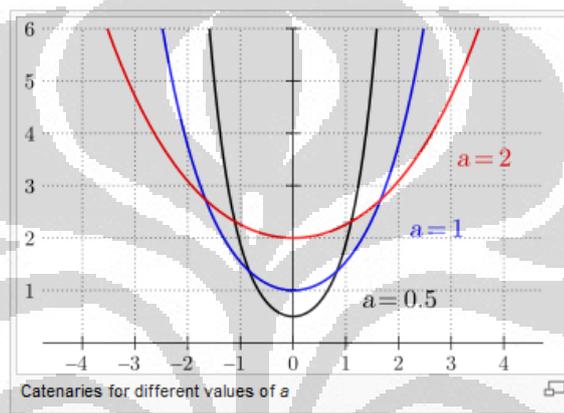
Jembatan busur yang dalam penelitian ini berupa busur terbalik dengan crown berada di bagian dasar, sehingga dengan sendirinya, semua gaya vertikal

¹² Bridge Engineering Handbook, W.F.Chen, T.Y. Lin

yang diterima struktur akan diteruskan menjadi gaya normal tarik ke elemen strukturnya. Persamaan kelengkungan yang diujikan yaitu persamaan *catenary*, persamaan pangkat 2, pangkat 3, dan pangkat 4.

Catenary adalah persamaan yang identik dengan kurva yang terbentuk pada suatu tali yang tergantung bebas. Kurva ini dianggap elastis sempurna, yang berarti tidak memiliki kekakuan sama sekali. Secara matematis kurva ini didefinisikan sebagai¹³:

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{a}{2} \left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right)$$



Gambar II.8 Persamaan catenary¹⁴

2.3.3. Substruktur

Sub-struktur merupakan struktur bawah yang mendukung beban struktur atas beserta beban hidup di atasnya. Substruktur ini mencakup angkur dan penyangga jembatan serta pondasi. Perencanaan substruktur sangat bergantung pada kondisi tanah di lapangan. Kondisi ini juga menjadi faktor yang mempengaruhi dimensi dari struktur atas.

a) *Bearings*

Bearing berfungsi menghubungkan struktur atas dengan struktur bawah. Bearing berfungsi sebagai:

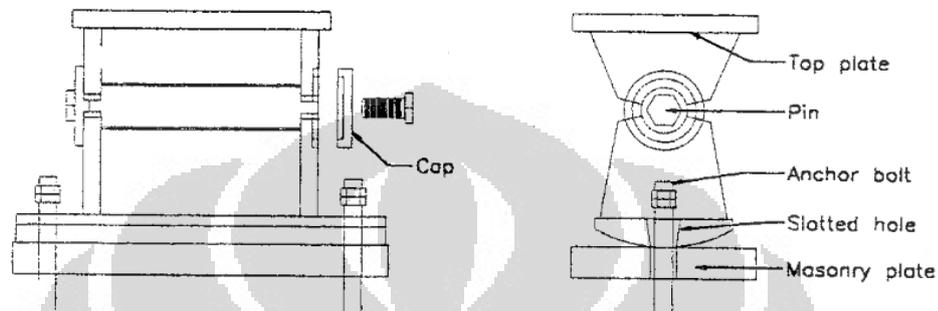
1. untuk mentransfer beban dari struktur atas ke struktur bawah

¹³ Cable structure, H.M. Irvine, Penerbit ITB BANDUNG 1988

¹⁴ Catenary, Wikipedia.

2. untuk mengakomodir *displacement* relatif struktur atas terhadap struktur bawah.

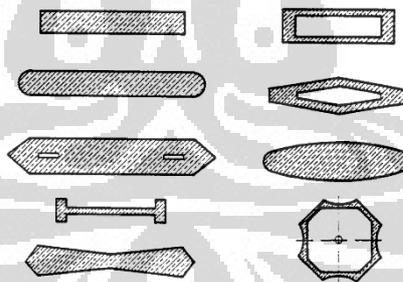
Beban-beban tersebut bias berasal dari beban mati struktur atas, beban lalu lintas, beban angin, dan beban gempa. *Displacement* berupa rotasi dan translasi yang berasal dari creep, shrinkage, dan perubahan temperatur.



Gambar II.9 Rocker bearing¹⁵

b) Pier dan kolom

Pier dan kolom berfungsi sebagai penahan di antara bentang jembatan dan pondasi. Fungsi utamanya sebagai penahan beban vertical sekaligus momen. Pier yang terdiri dari beberapa kolom biasa disebut *bent*.



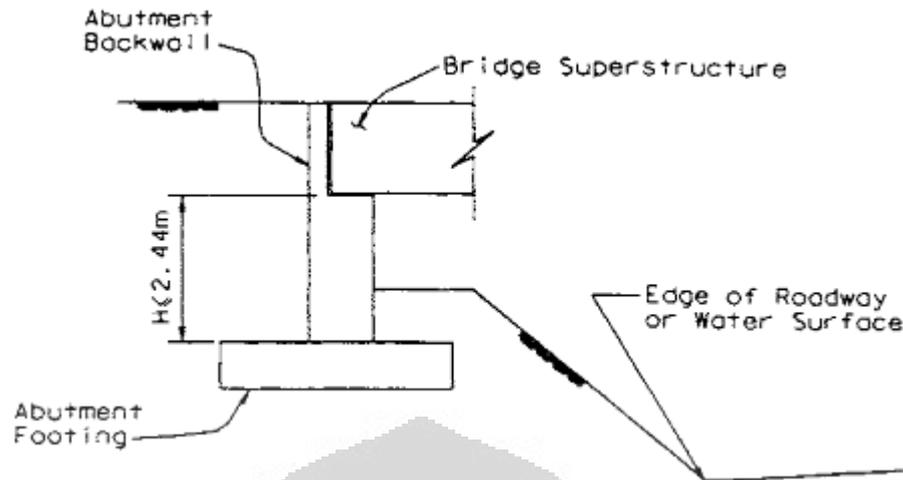
Gambar II.10 bentuk-bentuk tipikal kolom jembatan¹⁶

c) Abutmen

Abutmen berguna untuk menyediakan sokongan vertikal pada bagian ujung jembatan, dan juga bagian dari *approach way*.

¹⁵ Bridge Engineering Handbook

¹⁶ Bridge Engineering Handbook



Gambar II.11 – Tipikal abutment jembatan¹⁷

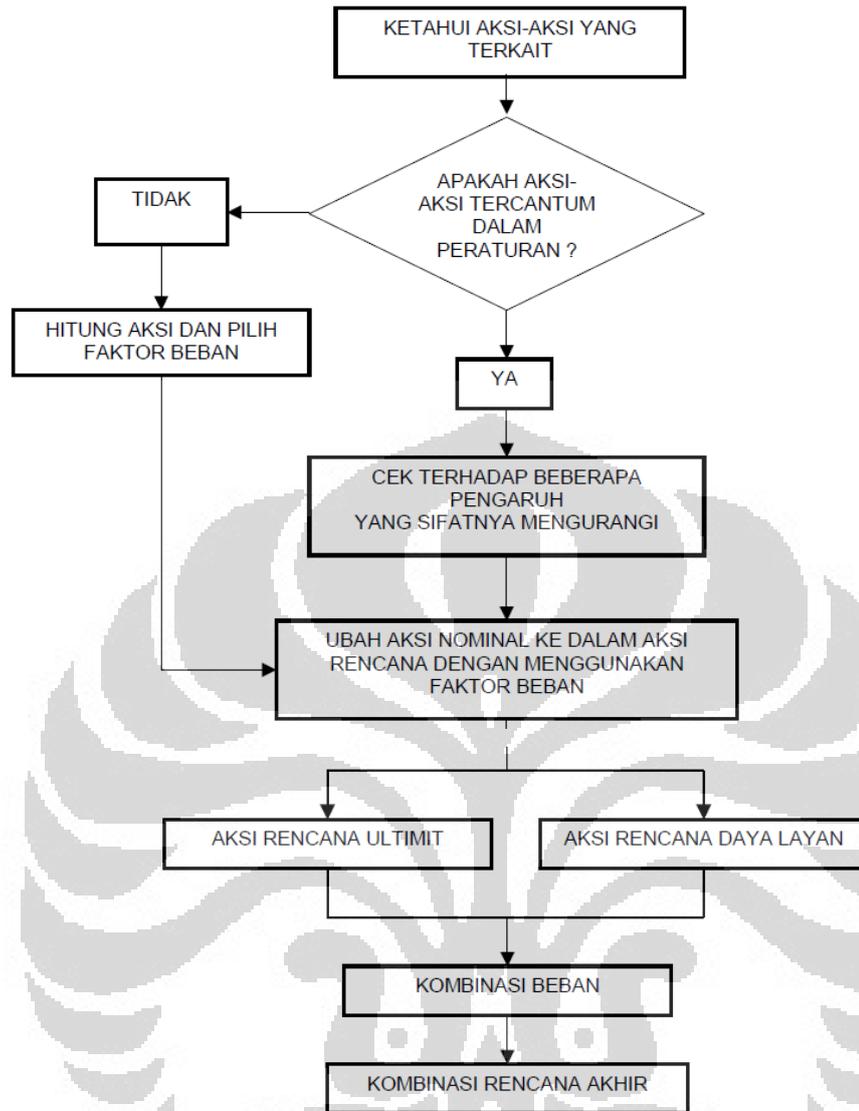
2.3.4. Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur jembatan ini menurut sifatnya mencakup beban tetap, beban lalu lintas, aksi lingkungan, dan aksi lainnya. Dalam penelitian ini hanya akan dibahas beban tetap dan beban lalu-lintas saja.

- a. Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.
- b. Beban lalu lintas adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

Berikut ini bagan alir proses perencanaan pembebanan jembatan.

¹⁷ Bridge Engineering Handbook



Gambar II.12 Bagan alir perencanaan beban jembatan¹⁸

2.3.4.1 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam tulisan ini adalah sebagai berikut:

1. aksi lingkungan
pengaruh yang timbul akibat temperatur, angin, aliran air, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya
2. aksi nominal
nilai beban rata-rata berdasarkan statistik untuk periode ulang 50 tahun
3. beban primer

¹⁸ RSNi pembebanan jembatan, 2005

beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

4. beban sekunder

beban yang merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan

5. beban khusus

beban yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan

6. beban mati

semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya

7. beban hidup

semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan

8. beban mati primer

berat sendiri dari pelat dan sistem lainnya yang dipikul langsung oleh masing-masing gelagar jembatan

9. beban pelaksanaan

beban sementara yang mungkin bekerja pada bangunan secara menyeluruh atau sebagian selama pelaksanaan

10. beban mati sekunder

berat kerb, trotoar, tiang sandaran dan lain-lain yang dipasang setelah pelat di cor. Beban tersebut dianggap terbagi rata di seluruh gelagar

11. Beban lalu lintas

seluruh beban hidup, arah vertikal dan horisontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan

12. berat

berat dari suatu benda adalah gaya gravitasi yang bekerja pada massa benda tersebut (kN). Berat = massa x g. dengan pengertian g adalah percepatan akibat gravitasi

13. faktor beban
pengali numerik yang digunakan pada aksi nominal untuk menghitung aksi rencana. Faktor beban diambil untuk:
 - a. adanya perbedaan yang tidak diinginkan pada beban
 - b. ketidak-tepatan dalam memperkirakan pengaruh pembebanan
 - c. adanya perbedaan ketepatan dimensi yang dicapai dalam pelaksanaan
14. faktor beban biasa
digunakan apabila pengaruh dari aksi rencana adalah mengurangi keamanan
15. faktor beban terkurangi
digunakan apabila pengaruh dari aksi rencana adalah menambah keamanan
16. fender
struktur pelindung pilar jembatan terhadap tumbukan kapal
17. jangka waktu aksi
perkiraan lamanya aksi bekerja dibandingkan dengan umur rencana jembatan.
Ada dua macam katagori jangka waktu yang diketahui :
 - Aksi tetap adalah bekerja sepanjang waktu dan bersumber pada sifat bahan jembatan atau cara jembatan dibangun dan bangunan lain yang mungkin menempel pada jembatan.
 - Aksi transien bekerja dengan waktu yang pendek, walaupun mungkin terjadi seringkali
18. lantai kendaraan
seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk menerima beban dari lalu lintas kendaraan. Bebannya disebut Beban "T"
19. Lajur lalu lintas
bagian dari lantai kendaraan yang digunakan oleh suatu rangkaian kendaraan. Bebannya disebut Beban "D".
20. lajur lalu lintas rencana
strip dengan lebar 2,75 m dari jalur yang digunakan dimana pembebanan lalu lintas rencana bekerja
21. lajur lalu lintas biasa
lajur yang diberi marka pada permukaan untuk mengendalikan lalu lintas
22. lebar jalan

lebar keseluruhan dari jembatan yang dapat digunakan oleh kendaraan, termasuk lajur lalu lintas biasa, bahu yang diperkeras, marka median dan marka yang berupa strip.

23. Lebar jalan

membentang dari kerb yang dipertinggi ke kerb yang lainnya. Atau apabila kerb tidak dipertinggi, adalah dari penghalang bagian dalam ke penghalang lainnya

24. profil ruang bebas jembatan

ukuran ruang dengan syarat tertentu yaitu meliputi tinggi bebas minimum jembatan tertutup, lebar bebas jembatan dan tinggi bebas minimum terhadap banjir

25. tipe aksi

Dalam hal tertentu aksi bisa meningkatkan respon total jembatan (mengurangi keamanan) pada salah satu bagian jembatan, tetapi mengurangi respon total (menambah keamanan) pada bagian lainnya.

- Tak dapat dipisah-pisahkan, artinya aksi tidak dapat dipisah kedalam salah satu bagian yang mengurangi keamanan dan bagian lain yang menambah keamanan (misalnya pembebanan "T")
- Tersebar dimana bagian aksi yang mengurangi keamanan dapat diambil berbeda dengan bagian aksi yang menambah keamanan (misalnya, beban mati tambahan)

Tabel II-1. Ringkasan aksi-aksi rencana

Pasal No	Aksi		Lamanya waktu (3)	Faktor Beban pada Keadaan Batas		
	Nama	Simbol (1)		Daya Layan $K_{s,;XX}$	$U_{;XX}$	
					Normal	Terkurangi
5.2	Berat Sendiri	P_{MS}	Tetap	1,0	* (3)	* (3)
5.3	Beban Mati Tambahan	P_{MA}	Tetap	1,0/1,3 (3)	2,0/1,4 (3)	0,7/0,8 (3)
5.4	Penyusutan & Rangkak	P_{SR}	Tetap	1,0	1,0	N/A
5.5	Prategang	P_{PR}	Tetap	1,0	1,0	N/A
5.6	Tekanan Tanah	P_{TA}	Tetap	1,0	* (3)	* (3)
5.7	Beban Pelaksanaan Tetap	P_{PL}	Tetap	1,0	1,25	0,8
6.3	Beban Lajur "D"	T_{TD}	Tran	1,0	1,8	N/A
6.4	Beban Truk "T"	T_{TT}	Tran	1,0	1,8	N/A
6.7	Gaya Rem	T_{TB}	Tran	1,0	1,8	N/A
6.8	Gaya Sentrifugal	T_{TR}	Tran	1,0	1,8	N/A
6.9	Beban trotoar	T_{TP}	Tran	1,0	1,8	N/A
6.10	Beban-beban Tumbukan	T_{TC}	Tran	* (3)	* (3)	N/A
7.2	Penurunan	P_{ES}	Tetap	1,0	N/A	N/A
7.3	Temperatur	T_{ET}	Tran	1,0	1,2	0,8
7.4	Aliran/Benda hanyutan	T_{EF}	Tran	1,0	* (3)	N/A
7.5	Hidro/Daya apung	T_{EU}	Tran	1,0	1,0	1,0
7.6	Angin	T_{EW}	Tran	1,0	1,2	N/A
7.7	Gempa	T_{EQ}	Tran	N/A	1,0	N/A
8.1	Gesekan	T_{BF}	Tran	1,0	1,3	0,8
8.2	Getaran	T_{VI}	Tran	1,0	N/A	N/A
8.3	Pelaksanaan	T_{CL}	Tran	* (3)	* (3)	* (3)

GATATAN (1) Simbol yang terlihat hanya untuk beban nominal, simbol untuk beban rencana menggunakan tanda bintang, untuk: P_{MS} = berat sendiri nominal, P_{MS}^* = berat sendiri rencana

CATATAN (2) Tran = transien

CATATAN (3) Untuk penjelasan lihat Pasal yang sesuai

CATATAN (4) " N/A" menandakan tidak dapat dipakai. Dalam hal di mana pengaruh beban transien adalah meningkatkan keamanan, faktor beban yang cocok adalah nol

Tabel II-2. Berat isi untuk beban mati

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Masa (kg/m ³)
1	Campuran aluminium	26.7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22.0	2240
3	Besi tuang	71.0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2320
6	Aspal beton	22.0	2240
7	Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
8	Beton	22.0-25.0	2240-2560
9	Beton prategang	25.0-26.0	2560-2640
10	Beton bertulang	23.5-25.5	2400-2600
11	Timbal	111	11 400
12	Lempung lepas	12.5	1280
13	Batu pasangan	23.5	2400
14	Neoprin	11.3	1150
15	Pasir kering	15.7-17.2	1600-1760
16	Pasir basah	18.0-18.8	1840-1920
17	Lumpur lunak	17.2	1760
18	Baja	77.0	7850
19	Kayu (ringan)	7.8	800
20	Kayu (keras)	11.0	1120
21	Air murni	9.8	1000
22	Air garam	10.0	1025
23	Besi tempa	75.5	7680

2.3.4.2 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.

Lajur lalu lintas Rencana harus mempunyai lebar 2,75 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel berikut.

Tabel II-3. Faktor beban akibat beban lajur "D"

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$S_{;TD};$	$U_{;TD};$
Transien	1,0	1,8

Intensitas dari beban D

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 3;

Tabel II-4. Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (m) (2)	Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana (n _i)
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 11,3 - 15,0 15,1 - 18,75 18,8 - 22,5	3 4 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 menyiap.		

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

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad \dots \dots \dots (2)$$

dengan pengertian :

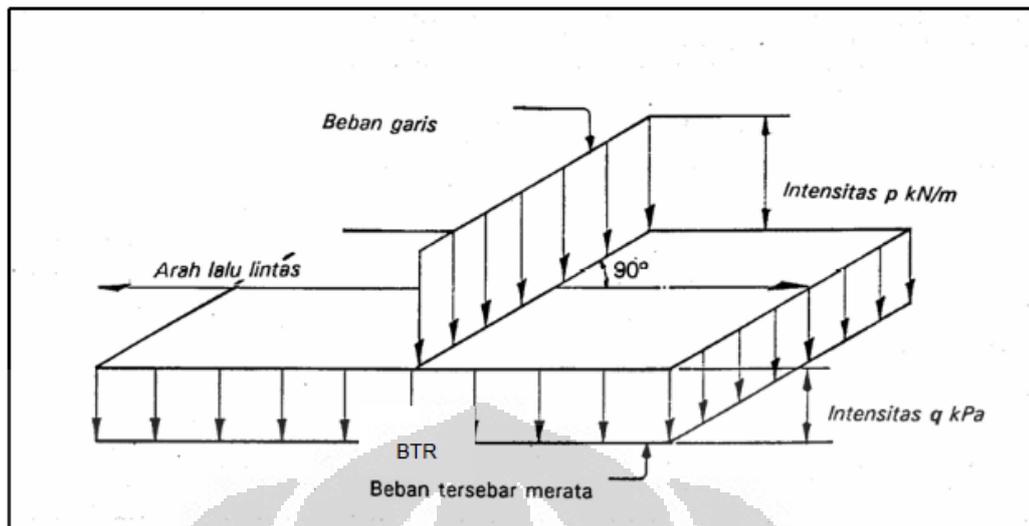
q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

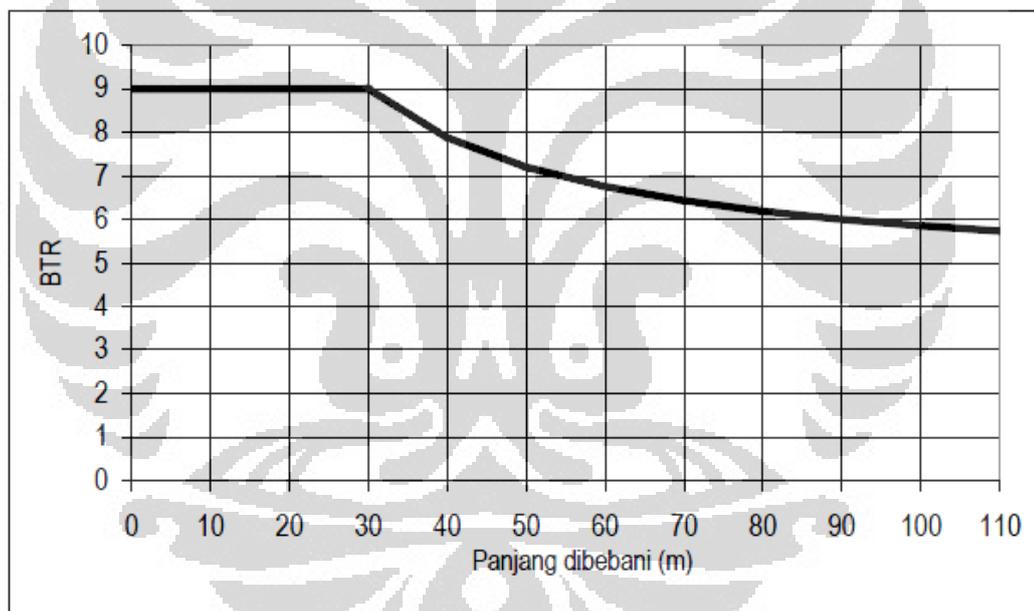
Hubungan ini bisa dilihat dalam Gambar 4.

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 seperti terlihat dalam Gambar 6.

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 menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya. Ini bisa dilihat dalam Gambar 6.



Gambar II.13 Beban Lajur D

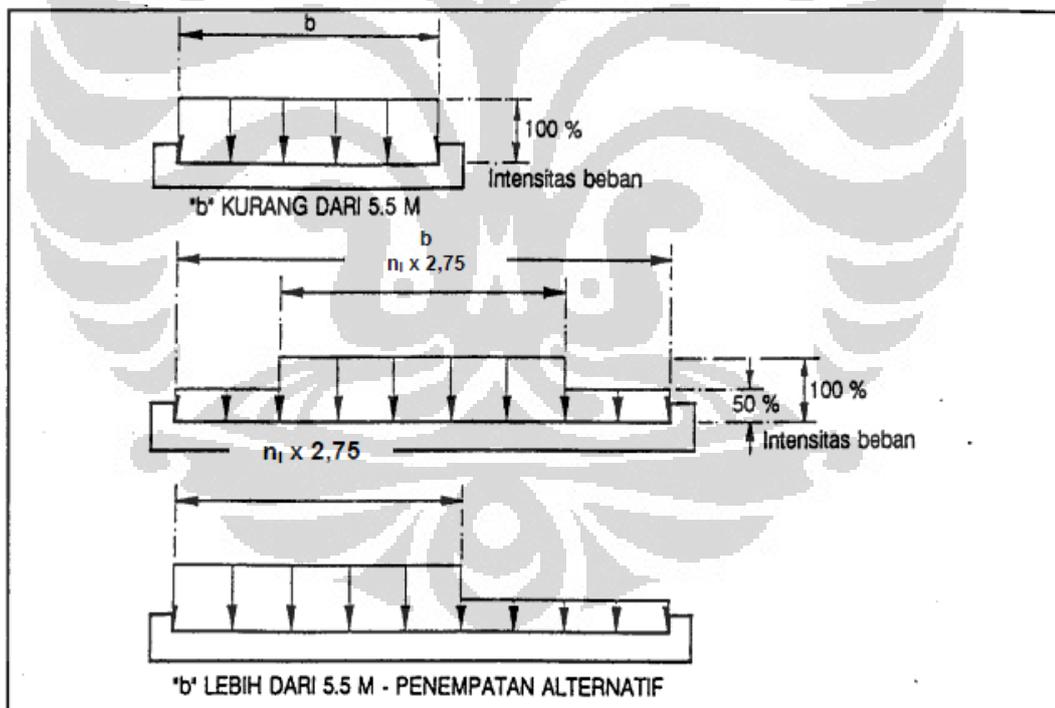


Gambar II.14. BTR vs panjang yang dibebani
 Penyebaran Beban D Pada Arah Melintang

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 :

- 1) Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 %

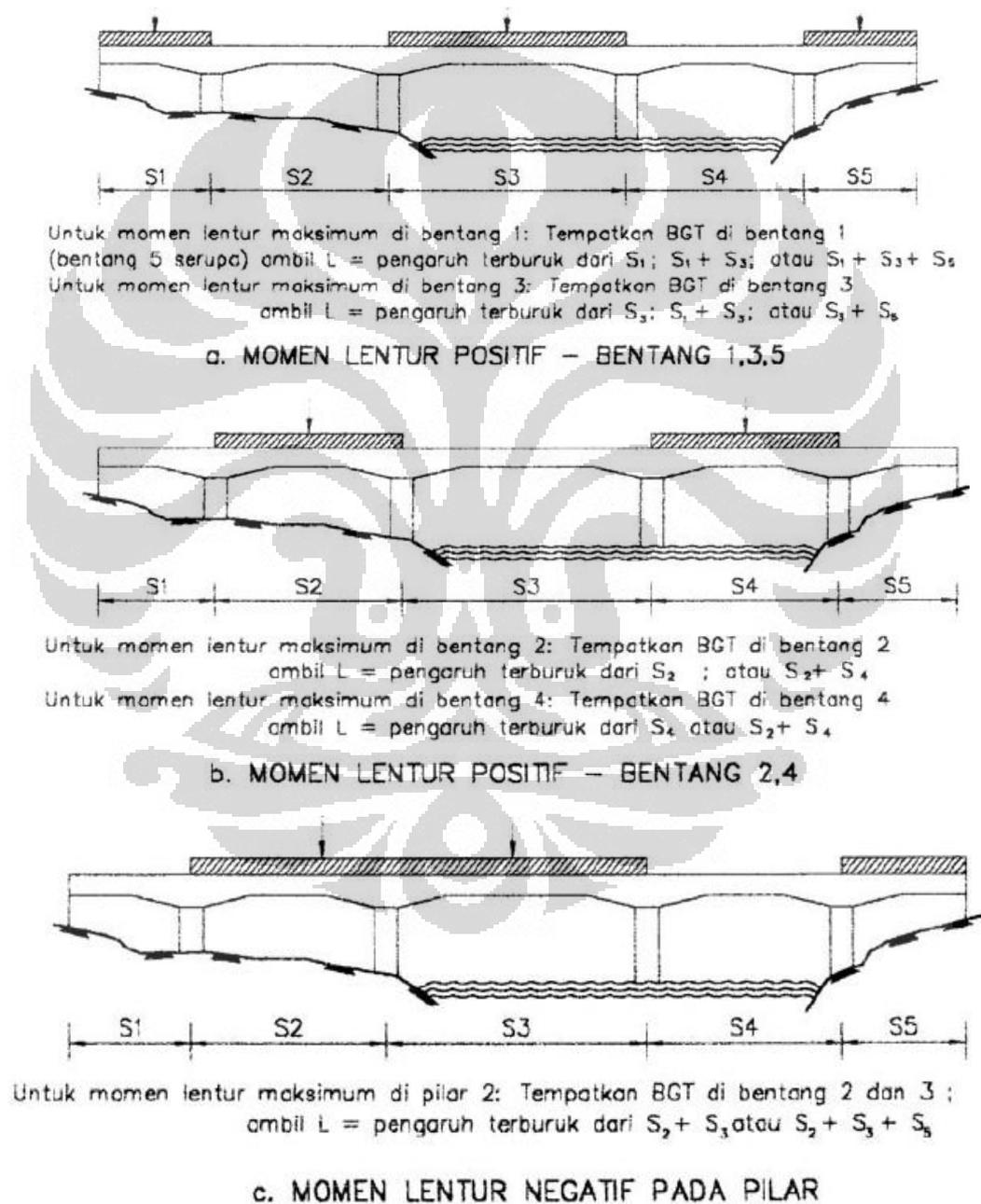
- 2) Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_l) yang berdekatan (Tabel 11), dengan intensitas 100 % seperti tercantum dalam Pasal 6.3.1. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_l \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar $n_l \times 2,75 p$ kN, kedua-duanya bekerja berupa strip pada jalur selebar $n_l \times 2,75$ m;
- 3) 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 % seperti tercantum dalam Pasal 6.3.1. Susunan pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 5;
- 4) 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.



Gambar II.15. Penyebaran beban pada arah melintang

Respon terhadap beban lalu lintas "d"

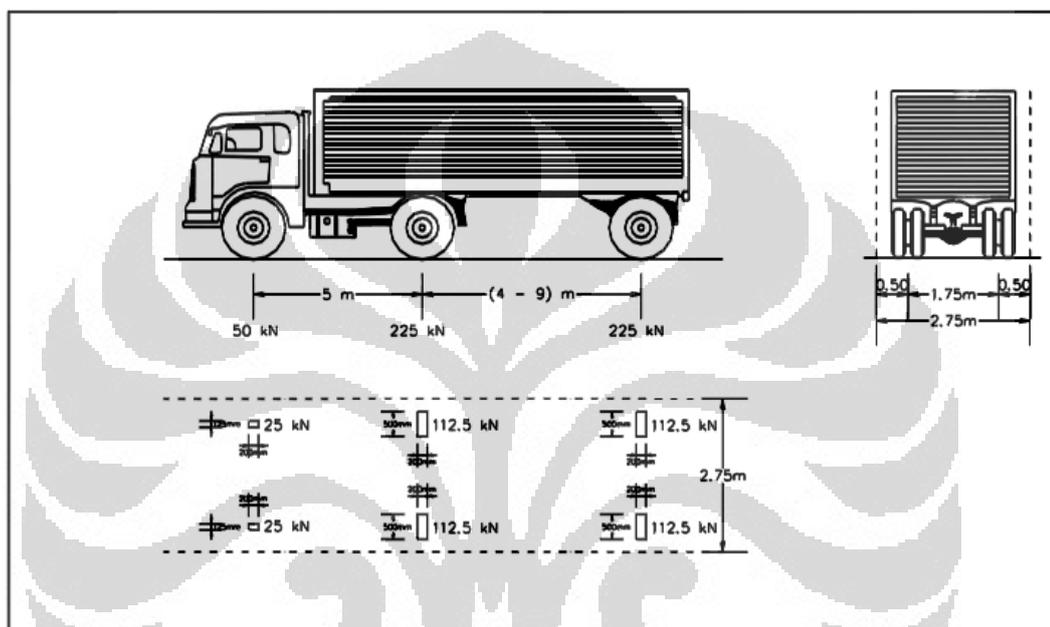
Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan dengan mempertimbangkan beban lajur "D" tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.



Gambar II.16. Susunan pembebanan D

Pembebanan Truk

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 7. Berat dari masing-masing as disembarkan 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.



Gambar II.17. Pembebanan truk T (500KN)

Posisi Dan Penyebaran Pembebanan Truk "T" Dalam Arah Melintang

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 7. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Pasal 6.2, 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.

Respon terhadap beban lalu lintas "T"

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan dengan:

1) menyebar beban truk tunggal "T" pada balok memanjang sesuai dengan faktor yang diberikan dalam Tabel 13;

Tabel II-5. 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 	$S/2,6$ $S/3,6$ (bila $S > 3,6$ m lihat Catatan 1)	$S/2,4$ $S/3,0$ (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).	

2) 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;

3) Bentang efektif S diambil sebagai berikut:

i. untuk pelat lantai yang bersatu dengan balok atau dinding (tanpa peninggian), S =bentang bersih;

- ii. untuk pelat lantai yang didukung pada gelagar dari bahan berbeda atau tidak dicor menjadi kesatuan, $S = \text{bentang bersih} + \text{setengah lebar dudukan tumpuan}$.

2.3.5. Analisa struktur

Analisa struktur merupakan modelisasi matematis sederhana dari respons struktur terhadap beban beban yang bekerja. Modelisasi ini menyangkut idealisasi perilaku dari material. Oleh karena itu hasil dari struktur sebenarnya dapat didekati.

Beberapa contoh idealisasi yang dibuat adalah:

- a) Ukuran fisik dari komponen struktur diidealkan ke satu bentuk sempurna. Kekurang sempurna bentuk yang sebenarnya selalu hadir pada kenyataannya, diabaikan.
- b) Perilaku material disederhanakan. Misalnya, karakteristik *stress-strain* baja diasumsikan linear-elastis sempurna.

Analisa yang dilakukan hanya pada mode linear-elastis karena perilaku model yang ditinjau berada pada kondisi layan dan tidak sampai pada kondisi keruntuhan.

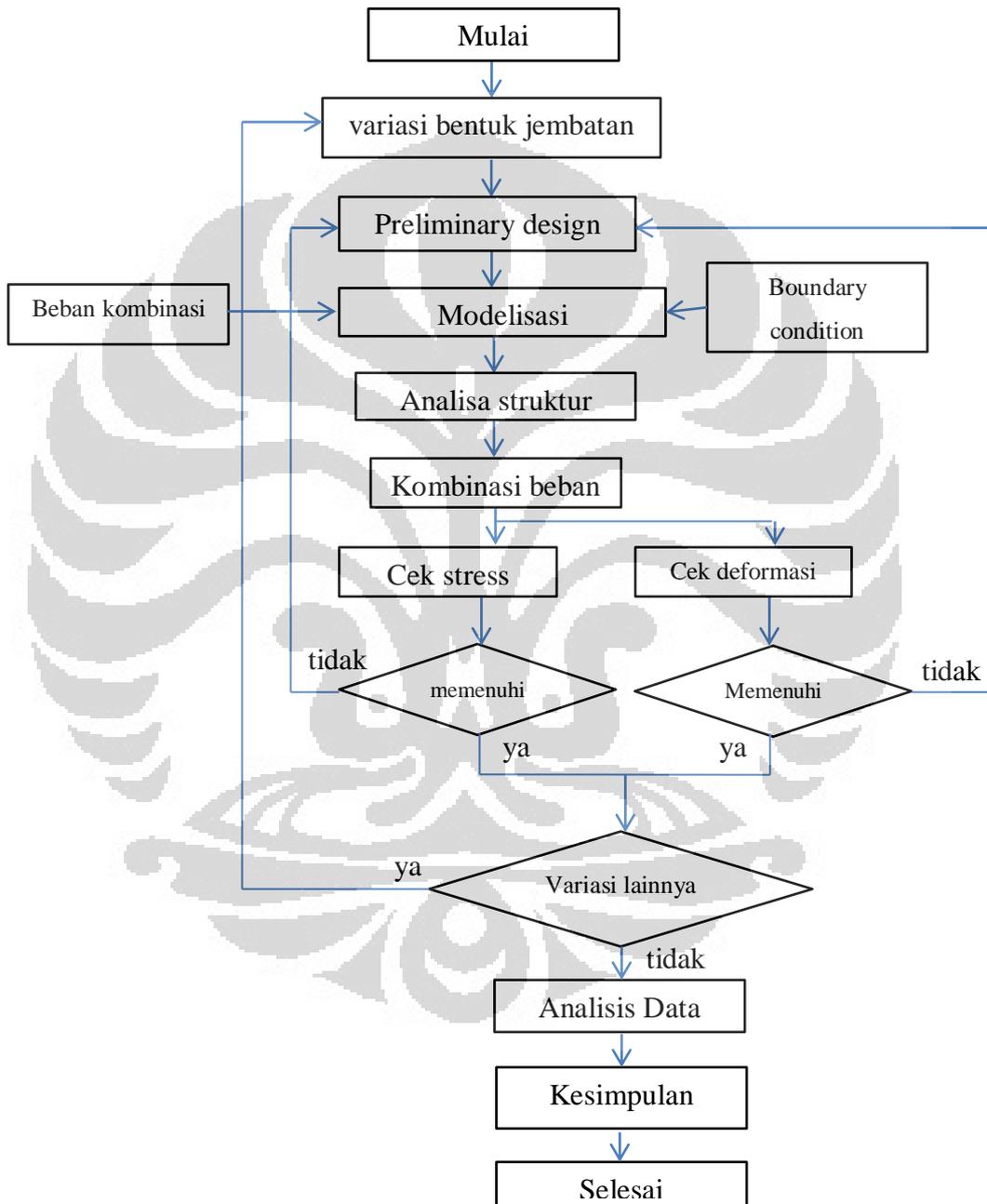
2.3.6. SAP2000 ®

SAP2000® merupakan software analisa dan desain struktur buatan Computers and Structures, Inc (CSI). Software ini dalam analisisnya berbasiskan *Finite Element Method*. Software ini relatif mudah dan cepat dalam penggunaannya sehingga dipilih dalam membantu analisa struktur dan desain dalam penelitian ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur analisis dan perancangan

Adapun prosedur analisis dan perancangan model struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar III.1 Bagan alir prosedur penelitian

3.2 Modelisasi struktur

3.2.1 Material

Material utama yang digunakan baja. Berikut spesifikasi baja yang digunakan:

- mutu baja : BJ – 41
- modulus elastisitas (E) : $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- modulus geser (G) : $8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- *Poisson Ratio* (μ) : 0.3
- koefisien pemuaian (α) : $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
- tegangan leleh (σ_y) : $2,500 \text{ kg/cm}^2$
- tegangan dasar (σ) : $1,600 \text{ kg/cm}^2$
- tegangan putus (f_u) : $4,100 \text{ kg/cm}^2$
- tegangan geser (τ) : 928 kg/cm^2

3.2.2 Struktur

Struktur yang di analisa adalah struktur jembatan. Pemodelan struktur dilakukan dalam 3 dimensi. Struktur jembatan yang akan di modelkan terdiri dari:

- a. Bentang : 3 ukuran bentang yaitu 30m, 50m, dan 80m.
- b. dengan sag to span ratio : 1/10 bentang.
- c. Panjang segmen : Panjang segmen diambil 1/8 – 1/5 panjang jembatan.
- d. Persamaan kelengkungan busur : Masing-masing busur dimodelkan dengan 4 persamaan yaitu Catenary, persamaan pangkat 2, pangkat 3, dan pangkat 4.

Ada empat persamaan yang di ujikan yaitu Catenary, persamaan pangkat 2, pangkat 3, dan pangkat 4. Agar persamaan dasar tersebut dapat memenuhi kriteria jembatan yang telah didesain sebelumnya, maka kita perlu memanipulasi persamaan dasar tersebut.

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) - a; \text{ masukkan } y = 5, x = 25; \quad 5 = a \cosh\left(\frac{25}{a}\right) - a$$

Tinggal kita mencari nilai a yang belum diketahui. Dengan menggunakan bantuan software Microsoft®Mathematics® kita selesaikan persamaan tersebut, dan kita dapatkan:

$a = 63.3162180199944$. Dapat kita tuliskan persamaan akhir:

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) - a, -25 < x < 25; a = 63.3162180199944$$

a) Persamaan pangkat 2 dapat kita tuliskan sebagai berikut:

$$y = ax^2, \text{ dengan memasukkan } x = 25, y = 5;$$

$$y = ax^2 \rightarrow a = \frac{y}{x^2} = \frac{5}{25^2} = 8 * 10^{-3}, \text{ sehingga persamaannya menjadi:}$$

$$y = 8 * 10^{-3}x^2$$

b) Persamaan pangkat 3 dapat kita tuliskan sebagai berikut:

$$y = ax^3, \text{ dengan memasukkan } x = 25, y = 5;$$

$$y = ax^3 \rightarrow a = \frac{y}{x^3} = \frac{5}{25^3} = 3.2 * 10^{-4}, \text{ sehingga persamaannya menjadi:}$$

$$y = 3.2 * 10^{-4}x^3$$

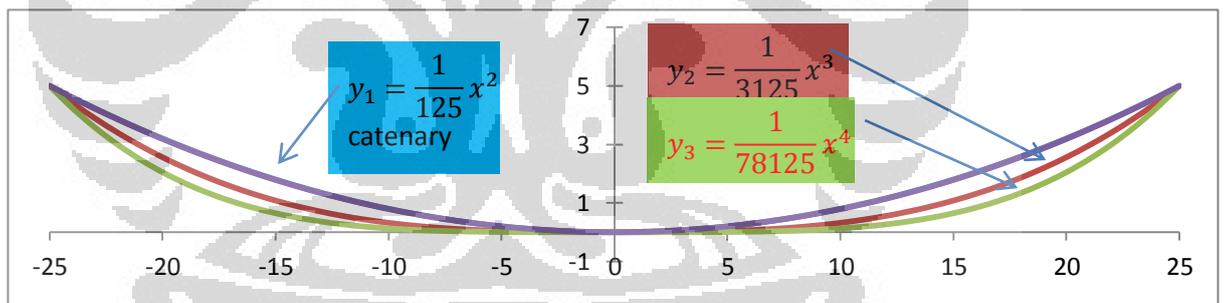
c) Persamaan pangkat 4 dapat kita tuliskan sebagai berikut:

$$y = ax^4, \text{ dengan memasukkan } x = 25, y = 5;$$

$$y = ax^4 \rightarrow a = \frac{y}{x^4} = \frac{5}{25^4} = 1.28 * 10^{-5}, \text{ sehingga persamaannya menjadi:}$$

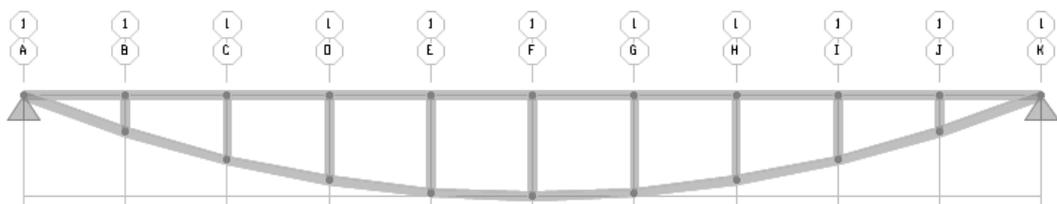
$$y = 1.28 * 10^{-5}x^4$$

Setelah semua persamaan kita dapatkan, kita plot ke grafik berikut:

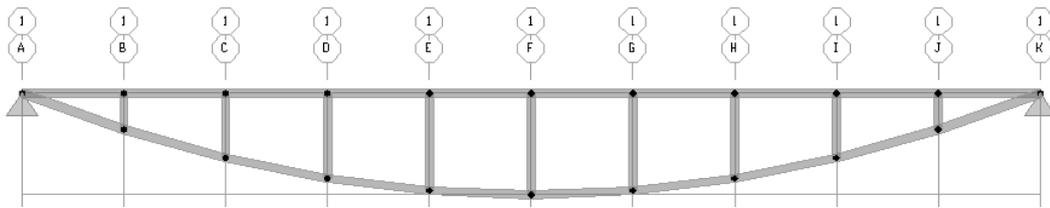


Catatan: pada grafik diatas kurva catenary terlihat berhimpitan dengan kurva parabola, walaupun sebenarnya terdapat perbedaan yang sangat kecil.

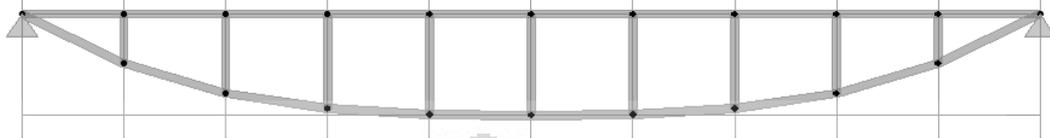
Gambar III.2 Perbandingan kelengkungan yang diplot di atas bidang xz untuk bentang 50m; $l=50m$, $sag = 5m$



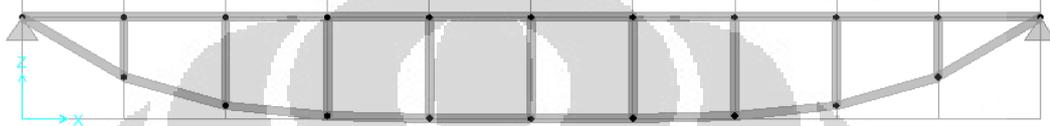
Gambar III.3 Model jembatan dengan kurva persamaan catenary



Gambar III.4 Model jembatan dengan kurva persamaan pangkat 2

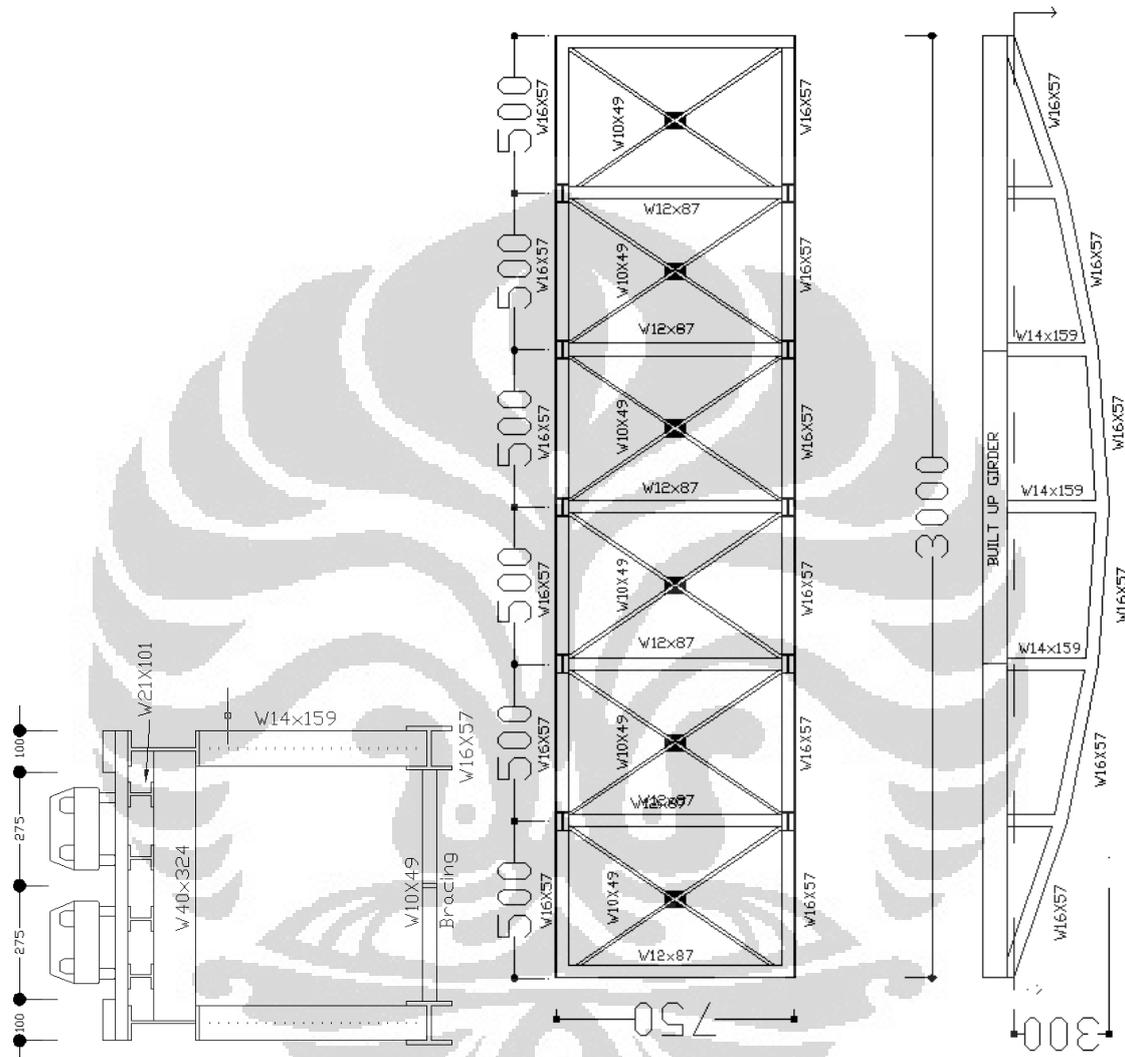


Gambar III.5 Model jembatan dengan kurva persamaan pangkat 3

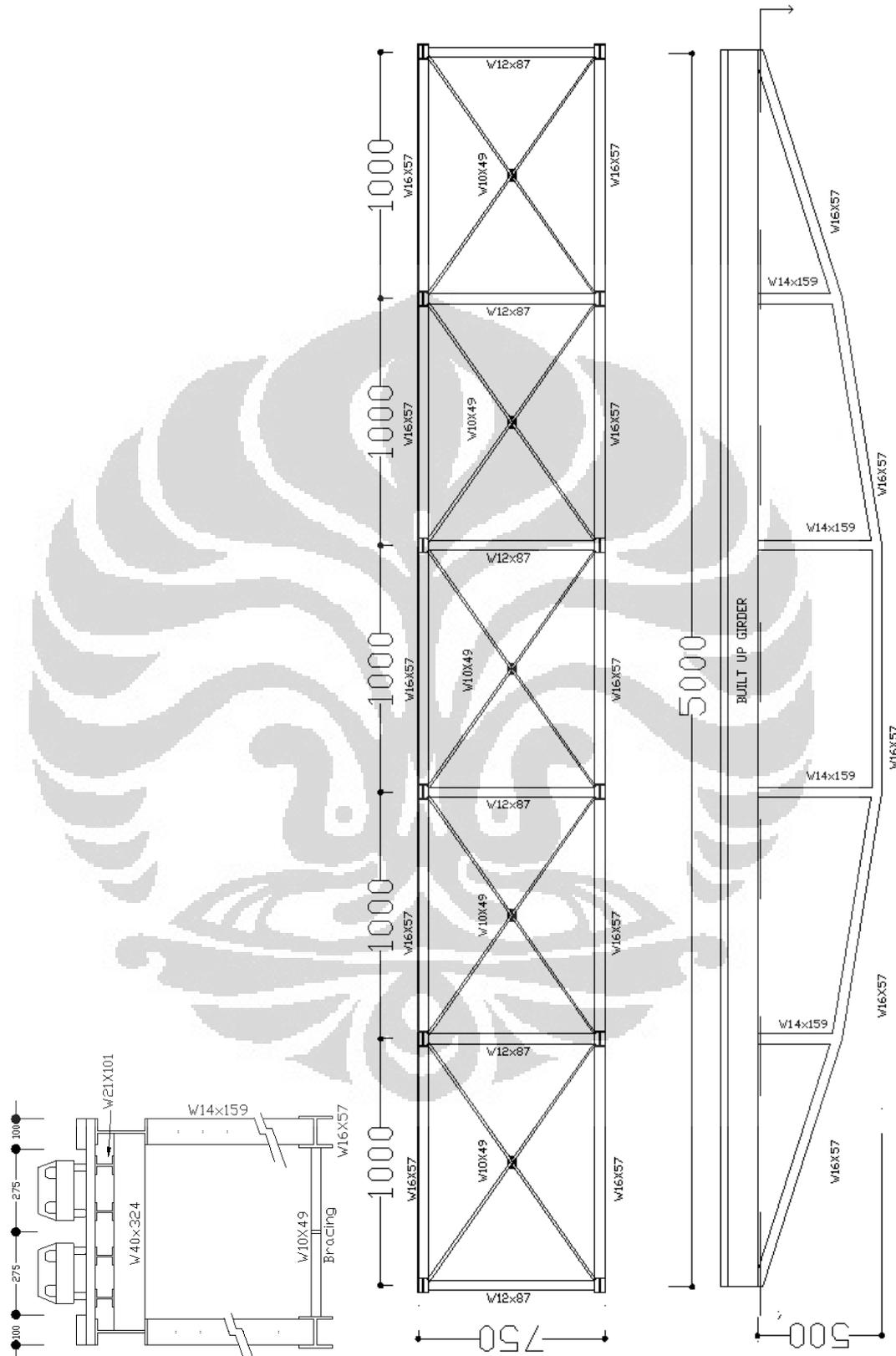


Gambar III.6 Model jembatan dengan kurva persamaan pangkat 4

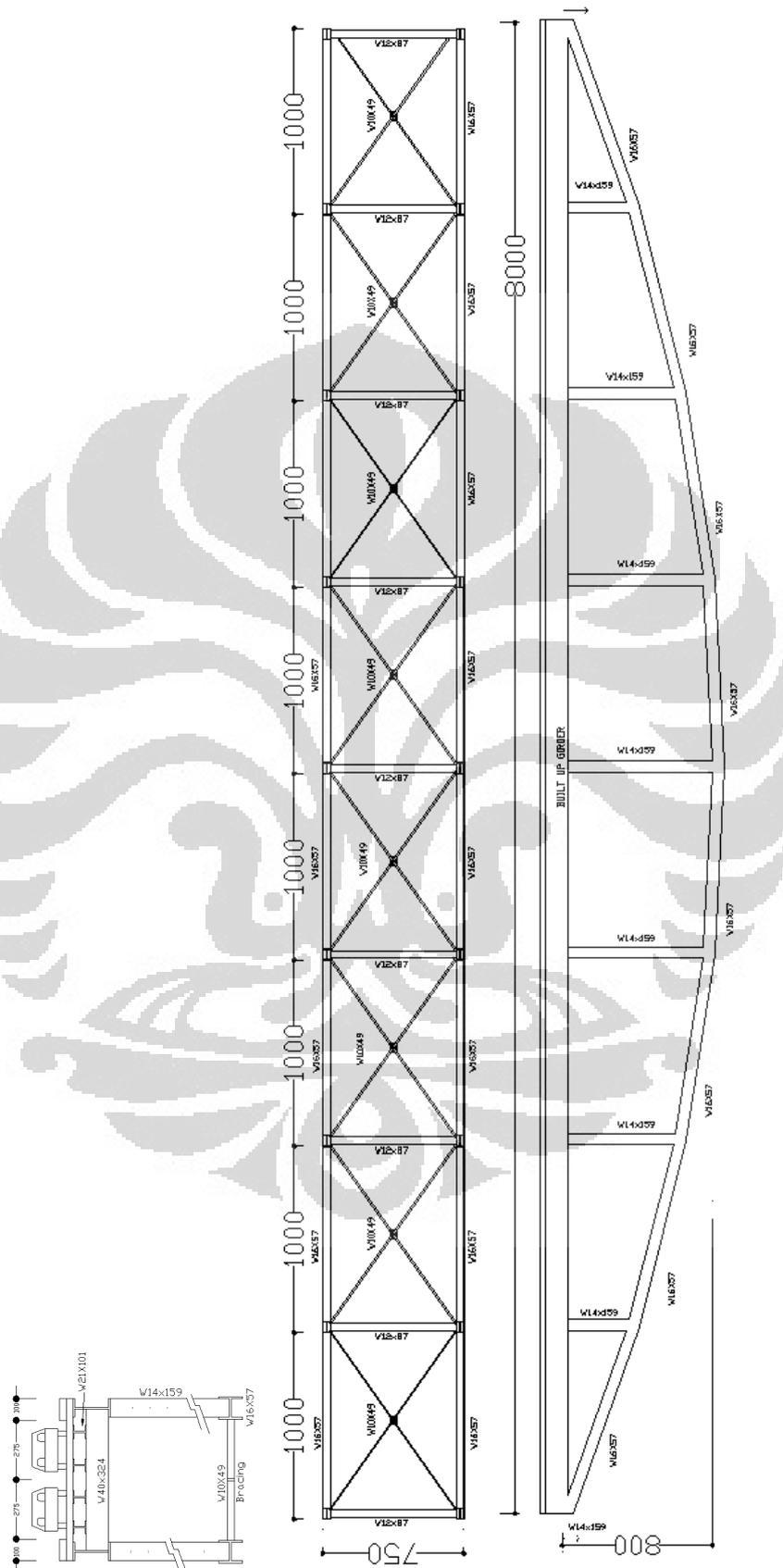
3.2.3 Preliminary sizing
 Bentang 30m



Bentang 50m



Bentang 80m



	Model 1	Model 2	Model 3
Panjang Jembatan	30m	50m	80m
Panjang Segmen	5m	6.25m	10m
Tinggi Jembatan	3m	5m	8m
<i>Sag to span ratio</i>	1/10	1/10	1/10
<i>f_y</i>	50ksi		

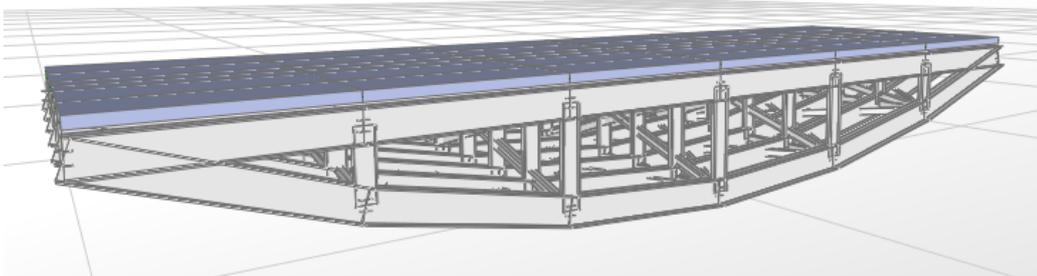
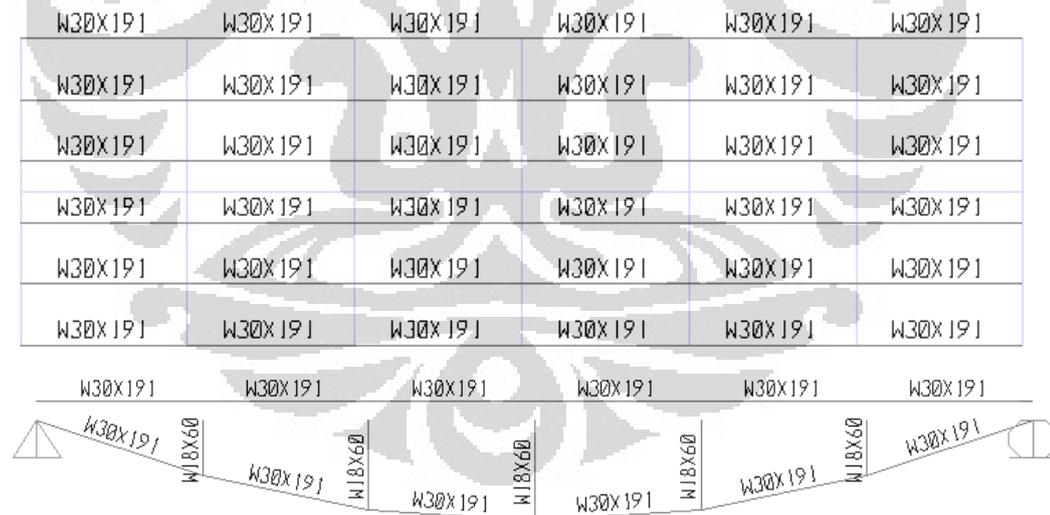
3.3 Metode analisa

Model struktur dianalisa secara 3D dengan menggunakan software SAP 2000 v14. Hal ini dimaksudkan agar pemodelan yang dilakukan dapat memberikan output yang lebih akurat dan menghemat waktu penelitian.

3.4 Variasi pemodelan

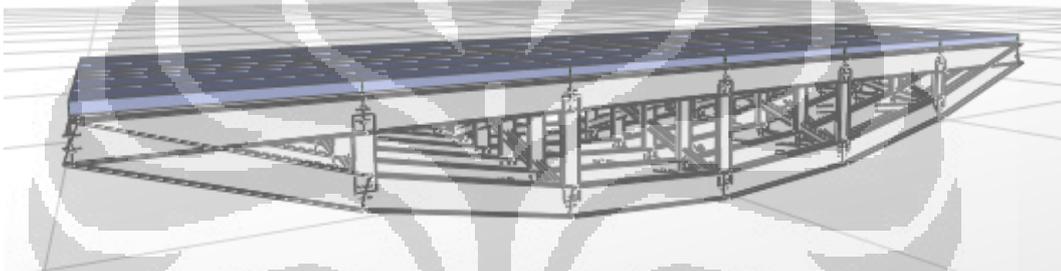
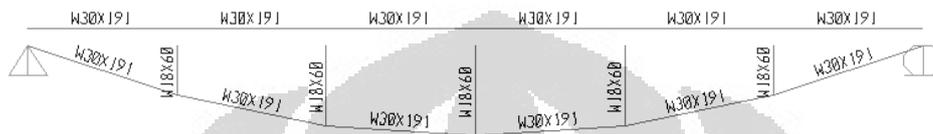
Jembatan yang dimodelkan memiliki bentang pendek, menengah, dan panjang. Masing-masing bentang jembatang akan dimodelkan dengan persamaan catenary, persamaan pangkat 2, pangkat 3, dan pangkat 4.

3.4.1 Variasi 1, Bentang 30m, persamaan catenary

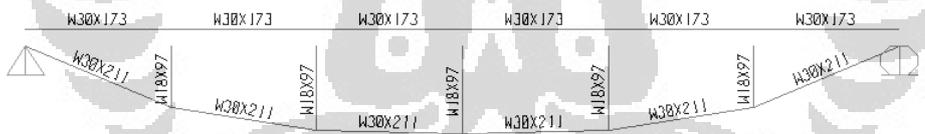


3.4.2 Variasi 2, Bentang 30m, persamaan pangkat 2

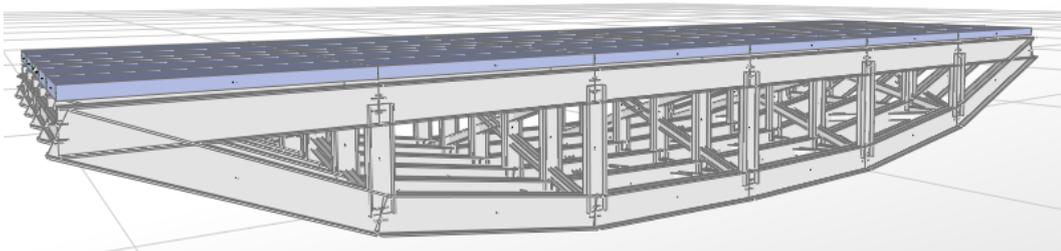
W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191
W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191
W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191
W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191
W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191
W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191	W30X191



3.4.3 Variasi 3, Bentang 30m, persamaan pangkat 3

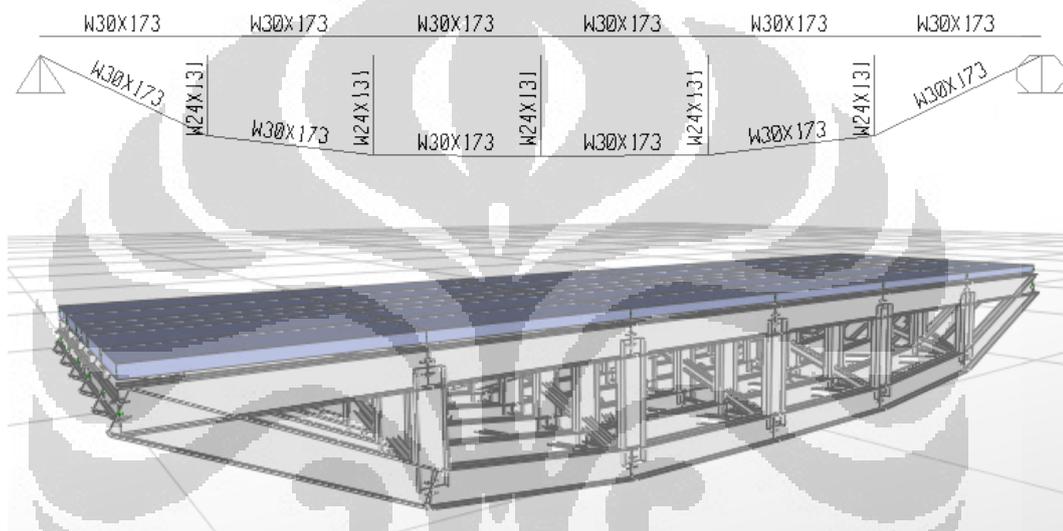


	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
6	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
5	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
4	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
3	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
2	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
1	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173

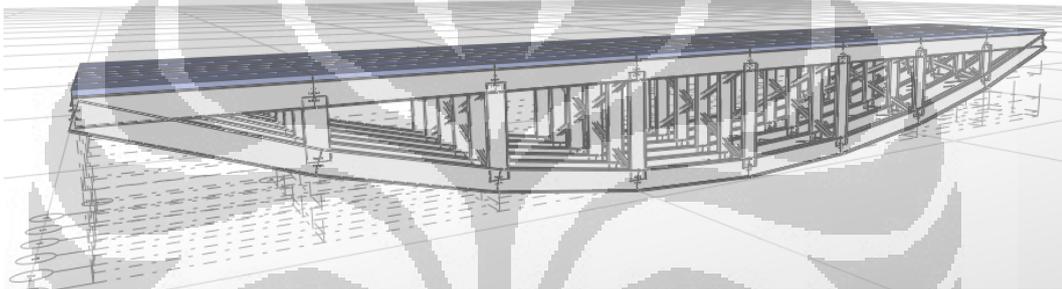
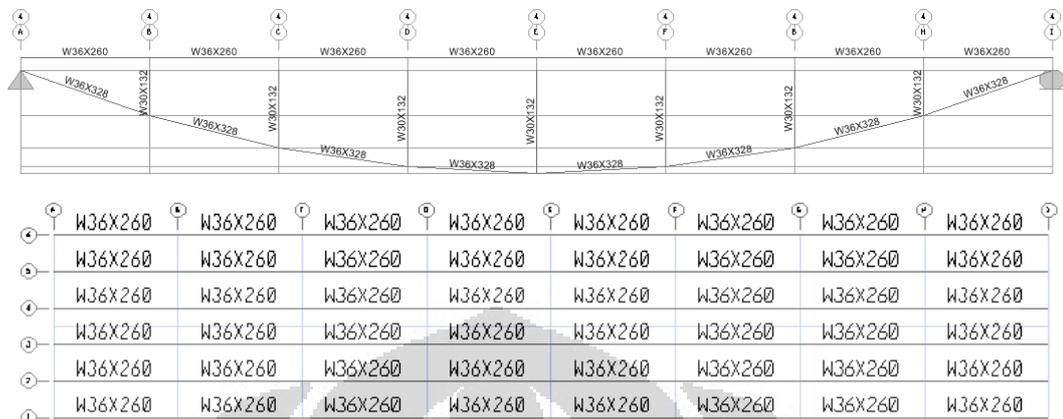


3.4.4 Variasi 4, Bentang 30m, persamaan pangkat 4

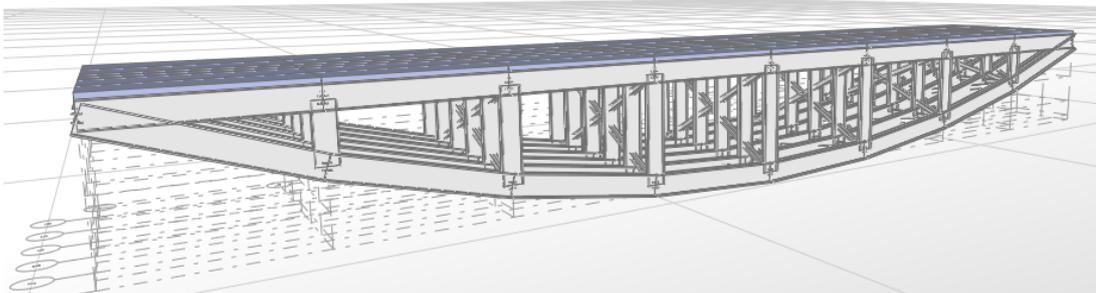
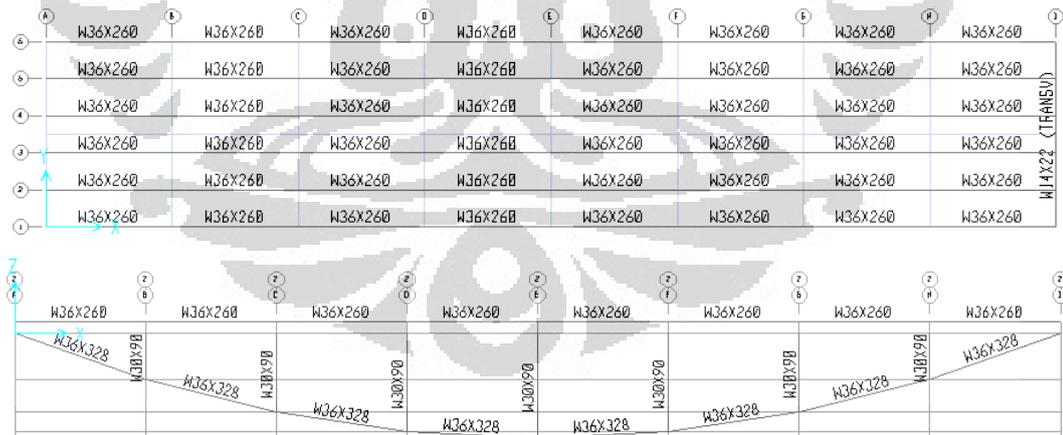
W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173
W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173	W30X173



3.4.5 Variasi 5, Bentang 50m, persamaan catenary

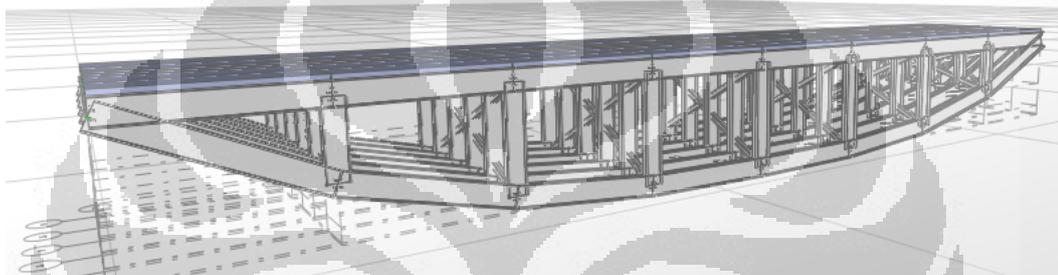
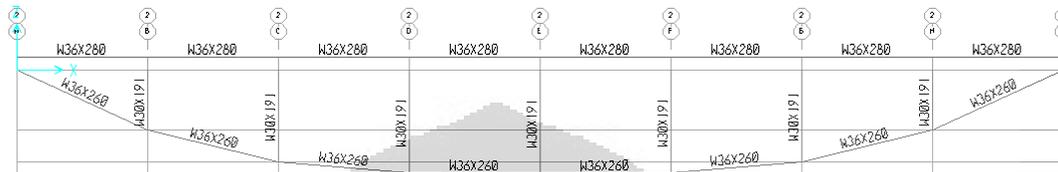


3.4.6 Variasi 6, Bentang 50m, persamaan pangkat 2



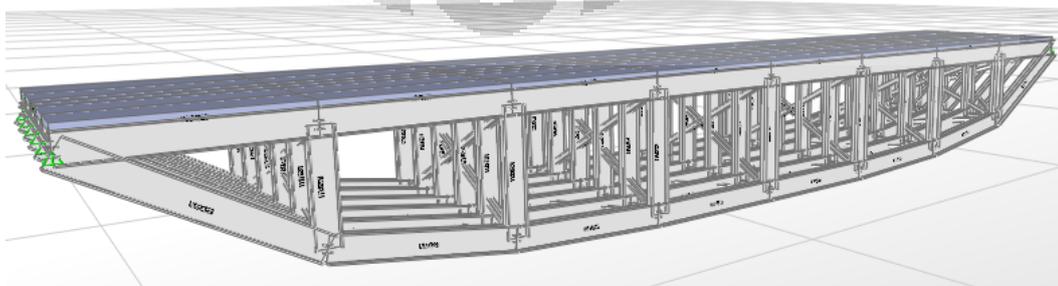
3.4.7 Variasi 7, Bentang 50m, persamaan pangkat 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	W36X280								
2	W36X280								
3	W36X280								
4	W36X280								
5	W36X280								



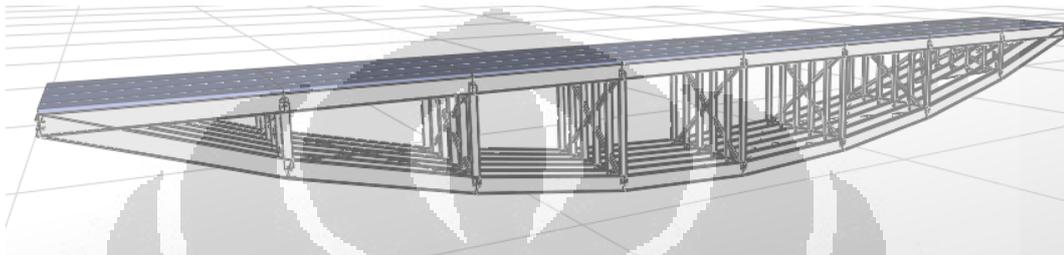
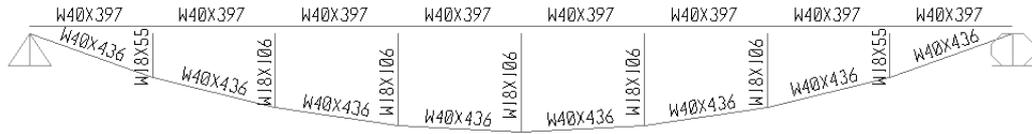
3.4.8 Variasi 8, Bentang 50m, persamaan pangkat 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	W36X328								
2	W36X328								
3	W36X328								
4	W36X328								
5	W36X328								
6	W36X328								
7	W36X328								
8	W36X328								
9	W36X328								



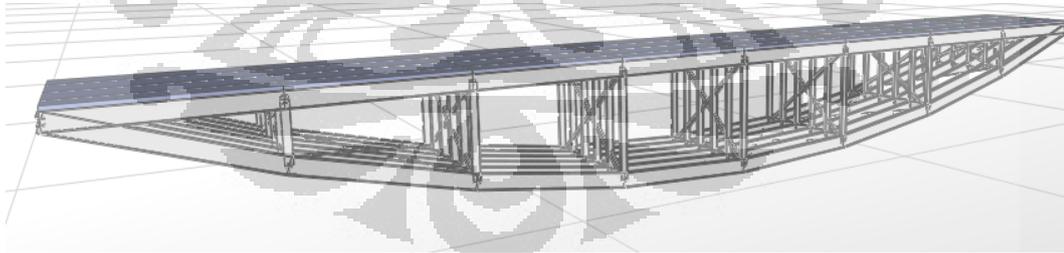
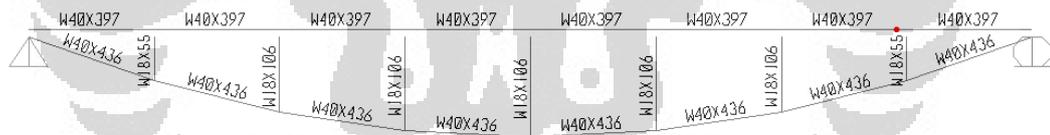
3.4.9 Variasi 8, Bentang 80m, persamaan catenary

W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							

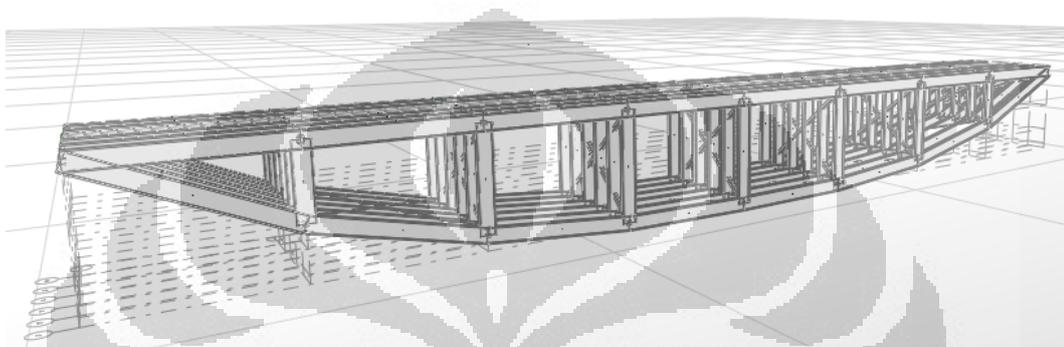
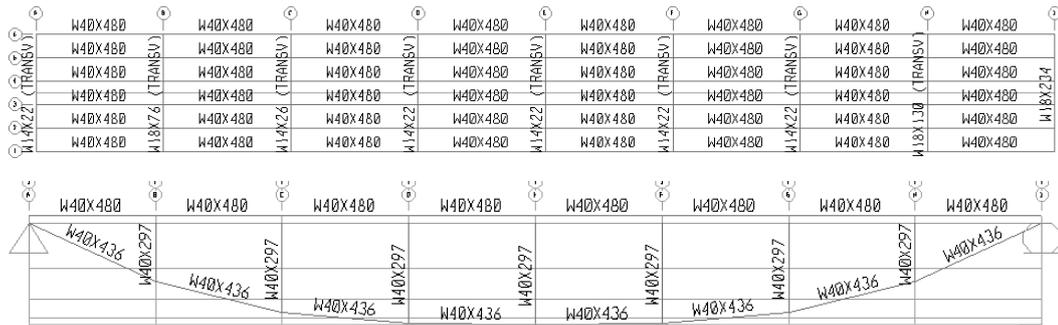


3.4.10 Variasi 8, Bentang 80m, persamaan pangkat 2

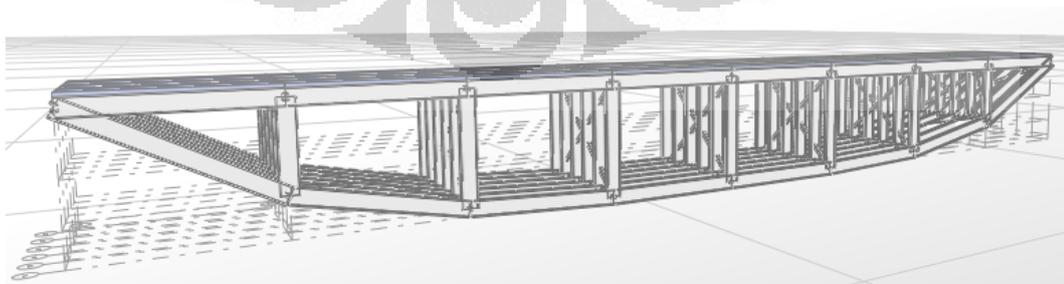
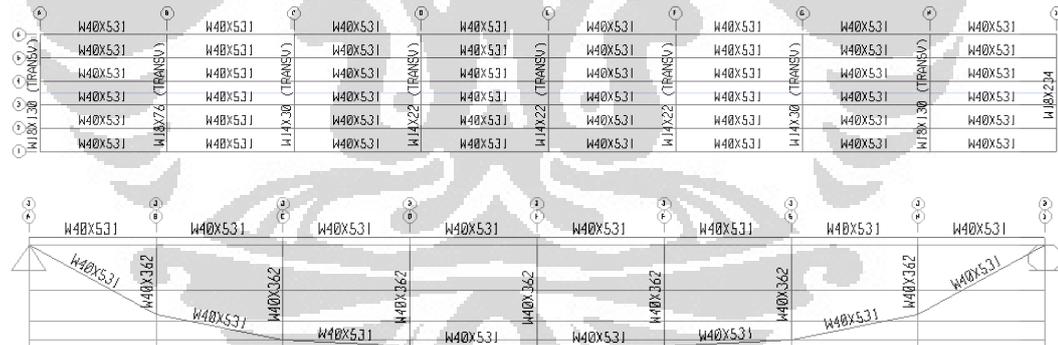
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							
W40X397							



3.4.11 Variasi 8, Bentang 80m, persamaan pangkat 3



3.4.12 Variasi 8, Bentang 80m, persamaan pangkat 4



3.5 Pembebanan

Pembebanan pada struktur jembatan ini mengikuti standar pembebanan pada SNI RSNI T-02-2005 Pembebanan pada jembatan. Beban yang bekerja yaitu beban tetap, beban lalu lintas, dan aksi lingkungan. Berikut detail dari pembebanan.

Beban tetap

Berat sendiri jembatan termasuk pelat pada jembatan otomatis telah dimasukkan pada model di SAP2000.

Beban merata (BTR) D.

Beban D tergantung dari panjang bentang. Untuk panjang bentang 30m, 50m, dan 80, maka beban terbagi rata mempunyai intensitas q Pa. Dimana q mempunyai intensitas:

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

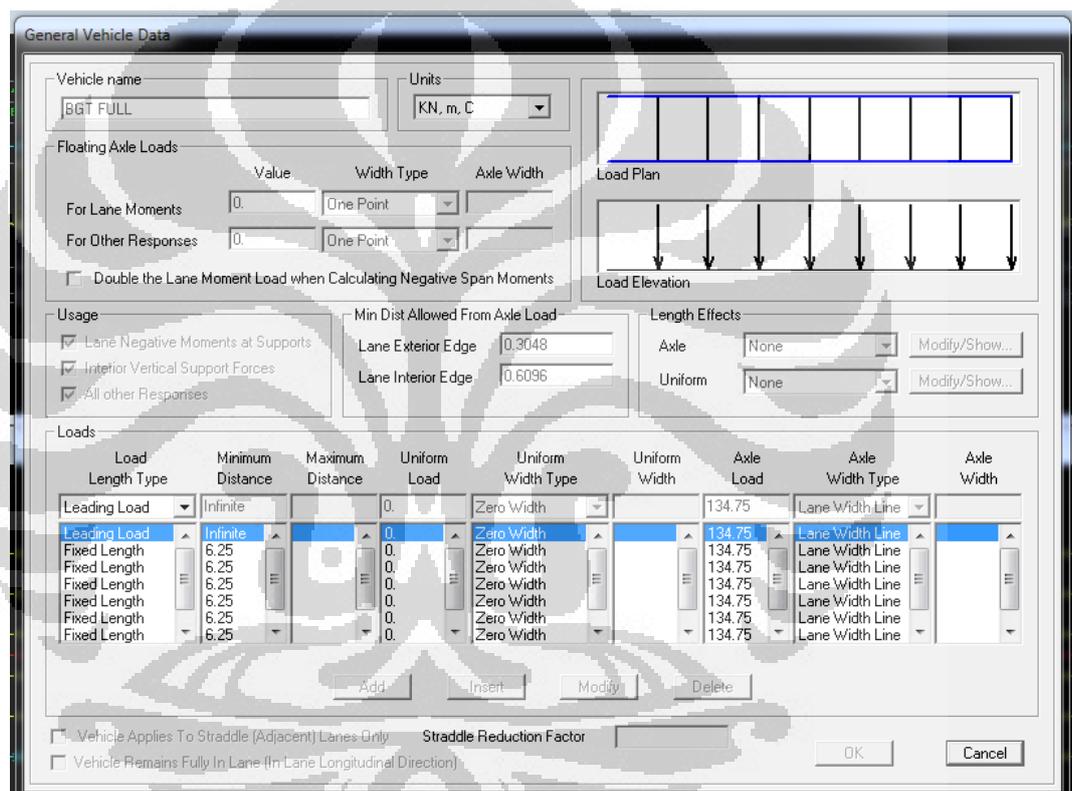
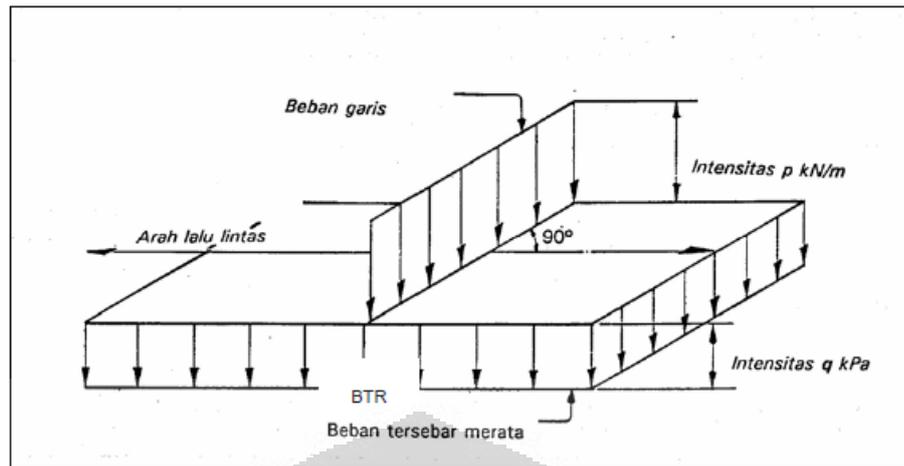
$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots$$

Dengan memasukkan persamaan tersebut didapat beban untuk masing-masing bentang:

Bentang	q
30m	9kPa
50m	7.2kPa
80m	6.2kPa

Beban garis (BGT)

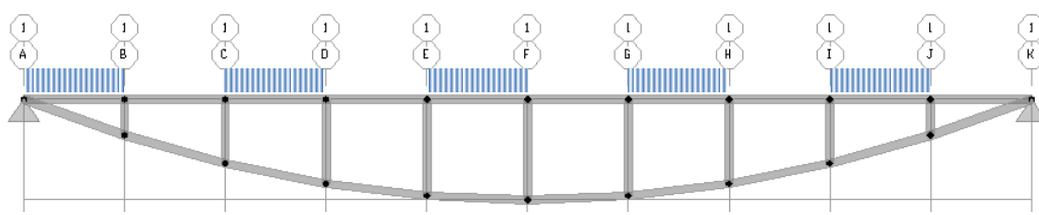
dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya. Ini bisa dilihat dalam Gambar berikut.



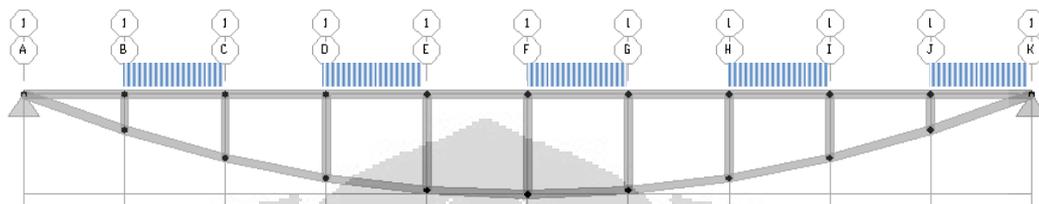
Gambar III.7 Beban garis yang di modelkan sebagai sebuah vehicle

Respons terhadap pembebanan D

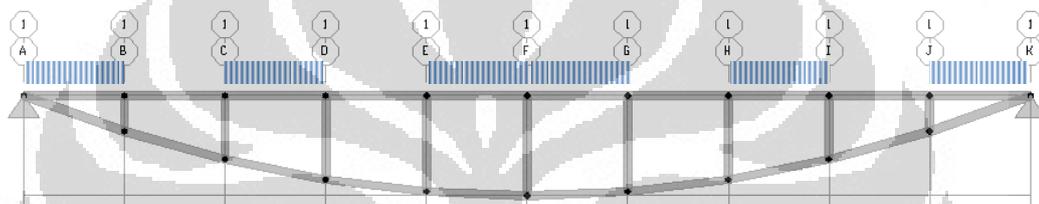
Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.



Momen lentur positif bentang 1,3,5,7,9



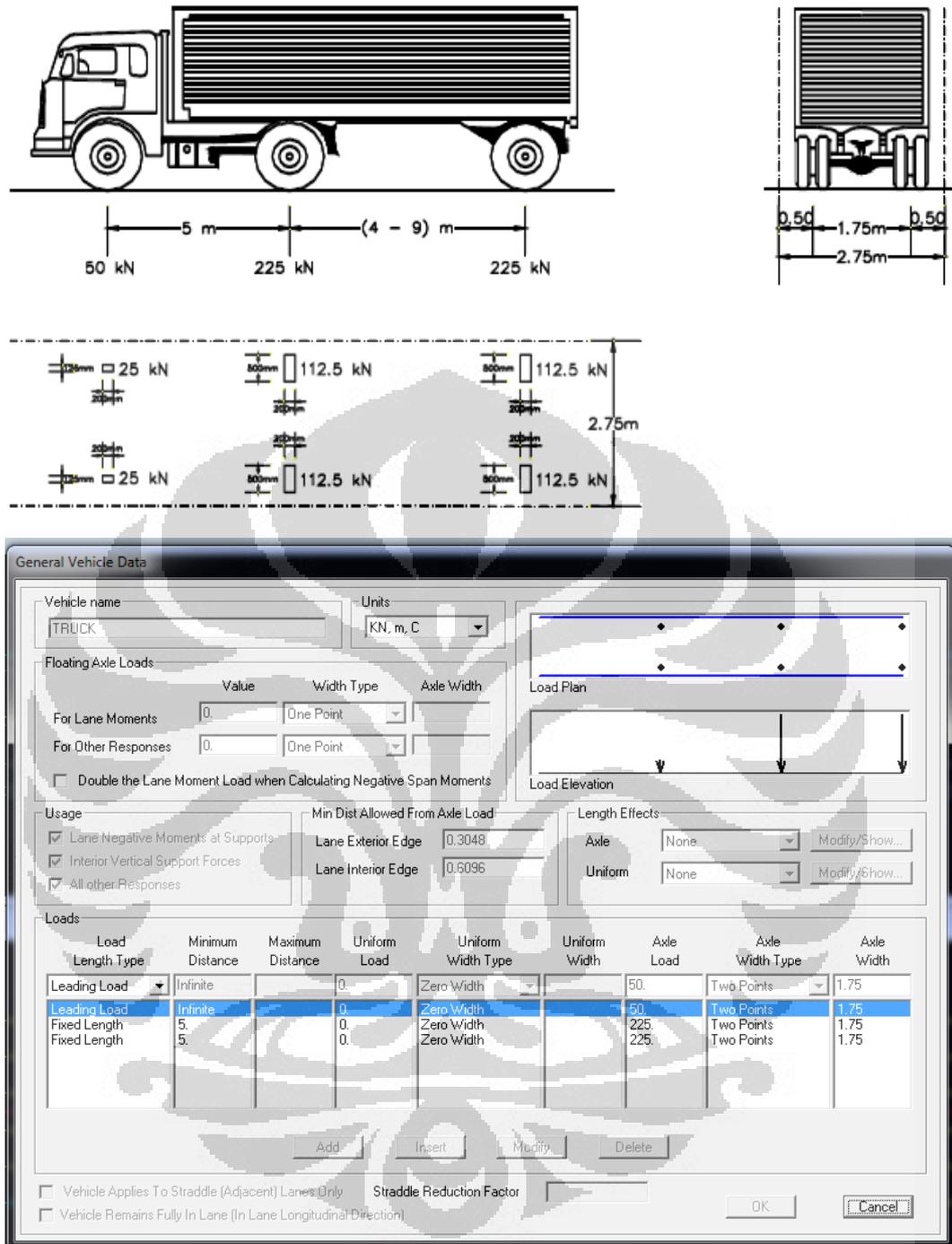
Momen lentur positif bentang 2,4,6,8,10



Momen lentur maksimum pada pilar F

Beban truk

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar berikut. 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.



Gambar III.8 input beban truk pada SAP2000 sebagai suatu vehicle

Beban angin

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin :

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

nilai $C_w = 1,2$ Karena bagian atas tidak masif.

$V_W = 30 \text{ m/s}$ (Asumsi jembatan terletak $> 5 \text{ km}$ dari pantai)

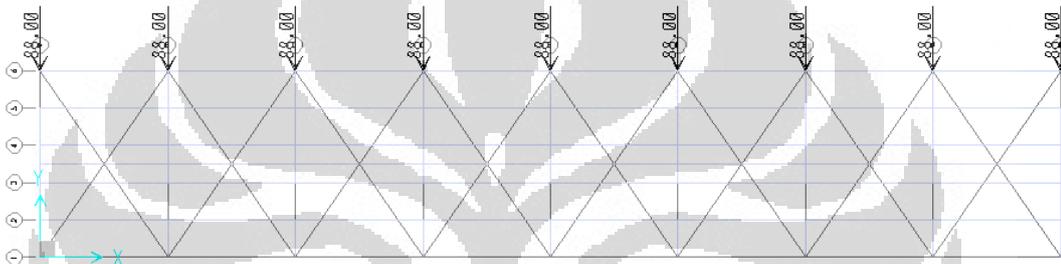
$$T_{EW} = 0,0006 (1,2)(30)^2 (3000,09) = 1944,06 \text{ [kN]}$$

A_b = Dihitung langsung dari gambar.

Sehingga beban untuk masing-masing bentang:

Bentang	C_w	V_w	A_b	T_{EW}
30 m	1.2	30	40.41 m ²	40.91 kN
50 m	1.2	30	86.59 m ²	87.67 kN
80 m	1.2	30	193.18 m ²	195.59 kN

Gambar III.9. table beban angin untuk masing-masing model



Gambar III.10. input pembebanan angin untuk bentang 50m pada SAP2000

Beban gempa

Dalam suatu perencanaan jembatan, harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa. Besarnya beban gempa diperhitungkan dengan metode *response spectrum* karena tipe jembatan merupakan jembatan khusus.

wilayah : wilayah 1, dengan kondisi tanah sedang.

Analisis method : Response spectrum

Faktor keutamaan : 1, Jembatan permanen dimana rute alternatif lainnya tersedia.

Modifikasi kekuatan, R : 1, Karena tidak memodelkan struktur bangunan bawah secara spesifik.

Kombinasi pembebanan

Kombinasi beban dibuat berdasarkan pada kombinasi dari aksi yang kemungkinan bekerja bersamaan. Kombinasi beban terdiri dari kombinasi gaya untuk keadaan batas daya layan dan keadaan batas ultimit. Masing-masing

keadaan mempunyai enam kombinasi pembebanan. Kombinasi tersebut harus memenuhi aturan sebagai berikut :

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.

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

Tabel 3.2 Faktor beban untuk kombinasi beban untuk keadaan batas 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						

Kombinasi beban untuk keadaan batas ultimit

Kombinasi pada keadaan ini terdiri dari sejumlah aksi tetap dengan satu aksi transien. Beberapa aksi bisa terjadi pada tingkat daya layan dengan aksi lainnya yang terjadi pada tingkat ultimit, tetapi hanya satu aksi pada tingkat daya layan yang dimasukkan pada kombinasi pembebanan. Pada keadaan ultimit, tidak diadakan aksi transien lain apabila dilakukan kombinasi dengan beban gempa.

Berikut enam jenis kombinasi beban yang akan digunakan untuk keadaan batas ultimit.

Tabel 3.3 Faktor beban untuk kombinasi beban untuk 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	

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

3.6 Output pemodelan

Output yang akan dianalisa:

1. Lendutan yang terjadi.
Lendutan maksimum yang terjadi dihitung di permukaan dek di bagian tengah bentang jembatan pada saat terjadi beban maksimum. Lendutan δ yang terjadi harus memenuhi $0.8 \delta_a < \delta < \delta_a$
2. Gaya dalam pada elemen struktur
Yaitu gaya dalam momen, geser dan normal pada elemen busur, kolom, dan *deck*.
3. Efisiensi struktur
Efisiensi struktur diukur dari massa struktur untuk setiap bentang yang diberikan.

BAB IV. HASIL DAN ANALISIS

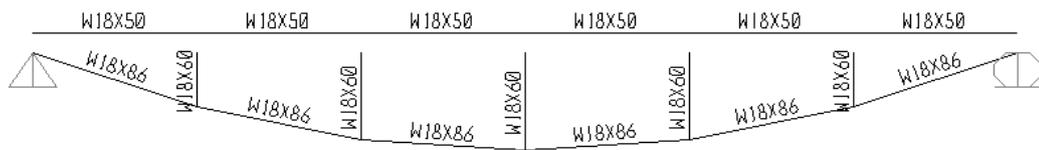
Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan bantuan software sap2000. Pemodelan dilakukan untuk bentang 80m, 50m, dan 30m. Masing-masing bentang diujikan dengan menggunakan 4 persamaan, yaitu persamaan catenary, persamaan pangkat 2, pangkat 3 dan pangkat 4. Sehingga total ada 12 model yang di ujikan. Pemodelan dilakukan hingga syarat kekuatan ultimit dan daya layan/lendutan terpenuhi.

Pengecekan nilai lendutan jembatan merupakan hasil lendutan di tengah bentang jembatan yang diakibatkan oleh kombinasi beban untuk batas daya layan. Sementara untuk stress check, kombinasi beban yang digunakan adalah kombinasi beban untuk batas daya ultimit. Kedua keadaan kombinasi beban ini telah dijelaskan pada subbab III.5. Semua variasi permodelan yang ada dalam studi ini telah memenuhi syarat batas lendutan jembatan ($L/800$) dan stress check pada program SAP2000 v.11.0.0. Perlu diketahui, pada struktur jembatan ini, semua kombinasi beban ultimit telah terpenuhi sebelum syarat lendutan terpenuhi. Oleh karena itu, daya layan menjadi faktor penentu kekuatan struktur.

Gaya dalam pada hasil berikut ini diambil dari pembebanan akibat kombinasi layan 1. Hal ini dilakukan karena kombinasi layan 1 memberikan gaya dalam dan lendutan terbesar dibanding kombinasi layan lain. Kombinasi layan 1 ini sendiri terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, dan beban D.

4.1 Hasil stress check dan gaya dalam

4.1.1. Bentang 30m, persamaan catenary



Gambar IV.1 Section profile Bentang 30m, persamaan catenary



Hasil stress check

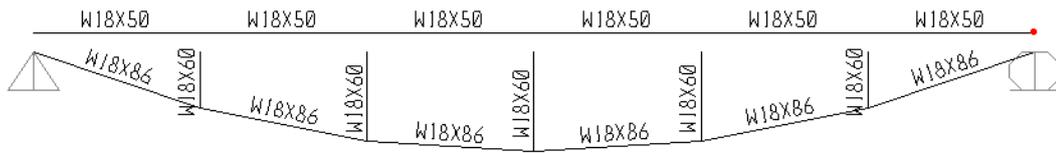


Gaya dalam normal

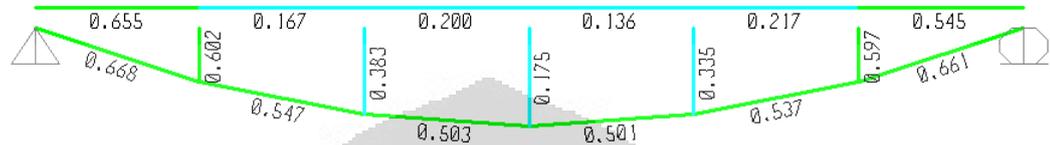


Gaya dalam momen

4.1.2. Bentang 30m, persamaan pangkat 2



Gambar IV.2 Section profile Bentang 30m, persamaan pangkat dua

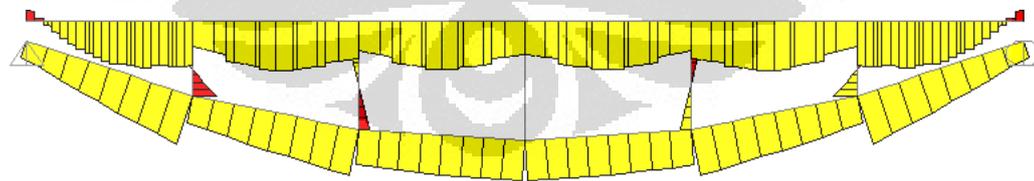


0.448	0.209	0.134	0.125	0.239	0.585
0.511	0.162	0.145	0.133	0.158	0.485
0.663	0.201	0.212	0.202	0.193	0.580
0.655	0.167	0.200	0.136	0.217	0.545
0.509	0.163	0.146	0.132	0.156	0.484
0.449	0.212	0.133	0.128	0.239	0.591

Hasil stress check



Gaya dalam normal

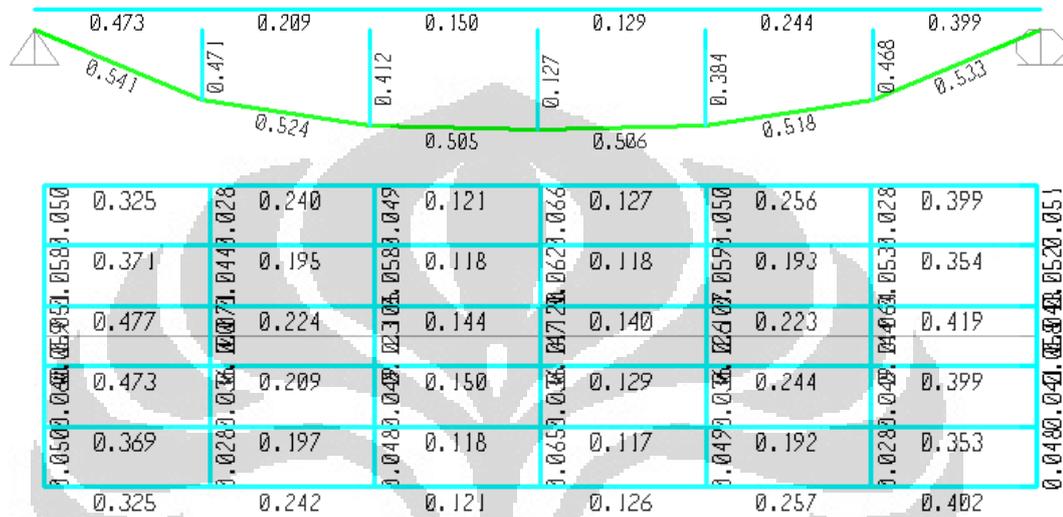


Gaya dalam momen

4.1.3. Bentang 30m, persamaan pangkat 3



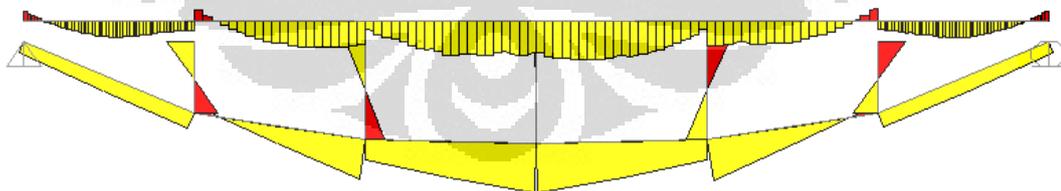
Gambar IV.3 Section profile Bentang 30m, persamaan pangkat tiga



Hasil stress check



gaya dalam lintang

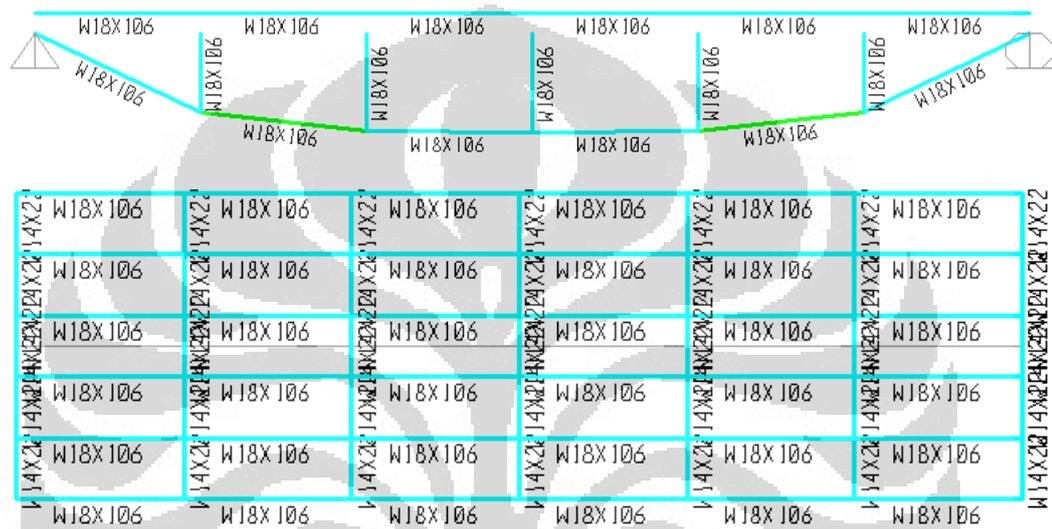


gaya dalam momen

4.1.4. Bentang 30m, persamaan pangkat 4



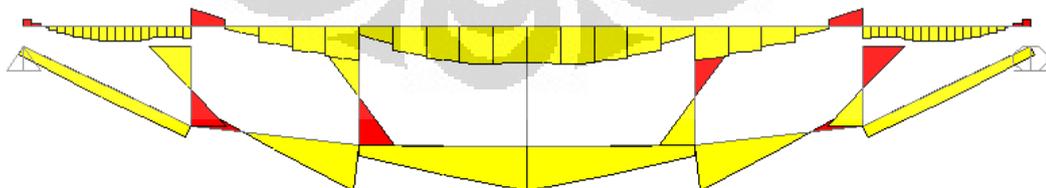
Gambar IV.4 Section profile Bentang 30m, persamaan pangkat empat



Hasil stress check

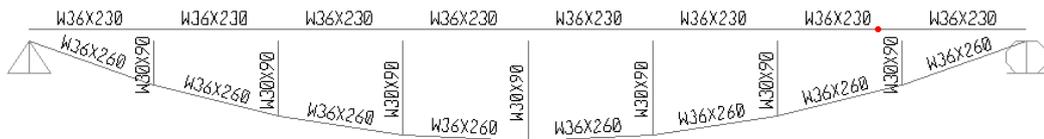


Gaya dalam normal

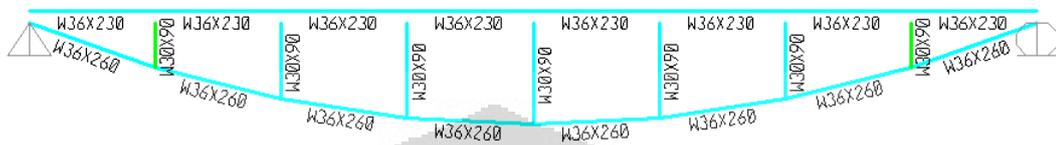


gaya dalam momen

4.1.5. Bentang 50m, persamaan catenary

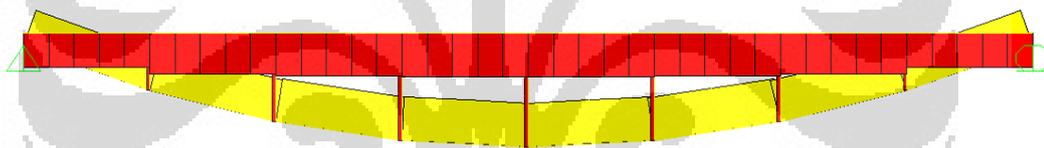


Gambar IV.5 Section profile Bentang 50m, persamaan catenary

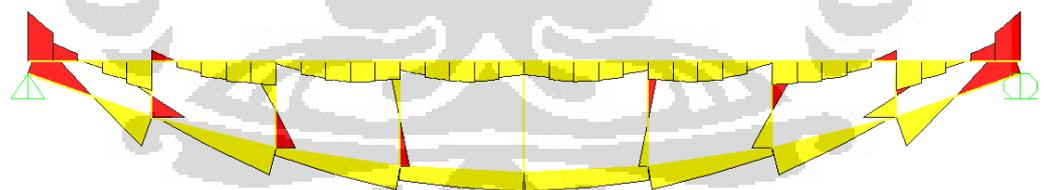


0.907	0.556	0.633	0.850	0.850	0.888	0.760	0.603	0.571
0.490	0.442	0.454	0.468	0.470	0.477	0.477	0.455	0.488
0.509	0.451	0.459	0.469	0.469	0.462	0.462	0.446	0.499
0.509	0.451	0.468	0.474	0.472	0.464	0.464	0.444	0.492
0.498	0.452	0.464	0.470	0.470	0.477	0.477	0.455	0.488
0.907	0.556	0.633	0.850	0.888	0.760	0.603	0.571	

Hasil stress check



gaya dalam normal

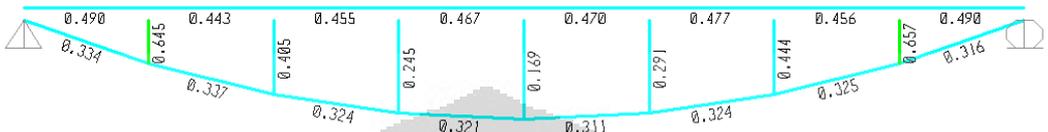


Gaya dalam momen

4.1.6. Bentang 50m, persamaan pangkat 2

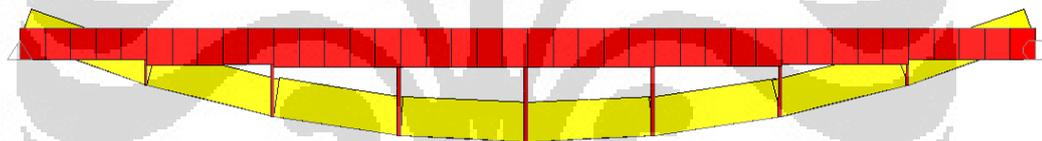


Gambar IV.6 Section profile Bentang 50m, persamaan pangkat dua

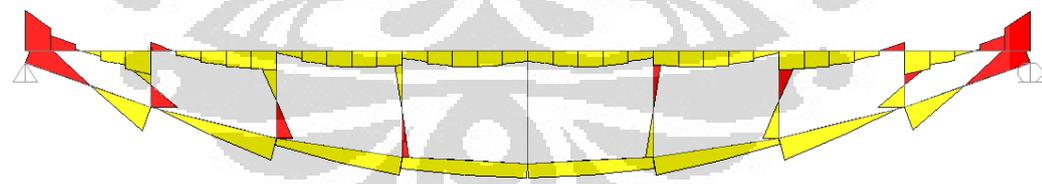


0.907	0.556	0.634	0.849	0.886	0.758	0.603	0.573
0.490	0.443	0.455	0.467	0.470	0.477	0.456	0.490
0.509	0.452	0.460	0.468	0.468	0.463	0.447	0.500
0.509	0.452	0.469	0.474	0.472	0.464	0.445	0.493
0.499	0.453	0.465	0.470	0.470	0.477	0.456	0.490
0.907	0.556	0.634	0.849	0.886	0.758	0.603	0.573

Hasil stress check

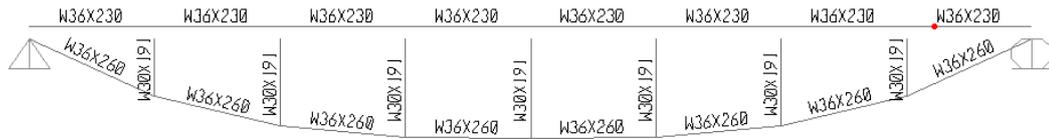


Gaya dalam normal

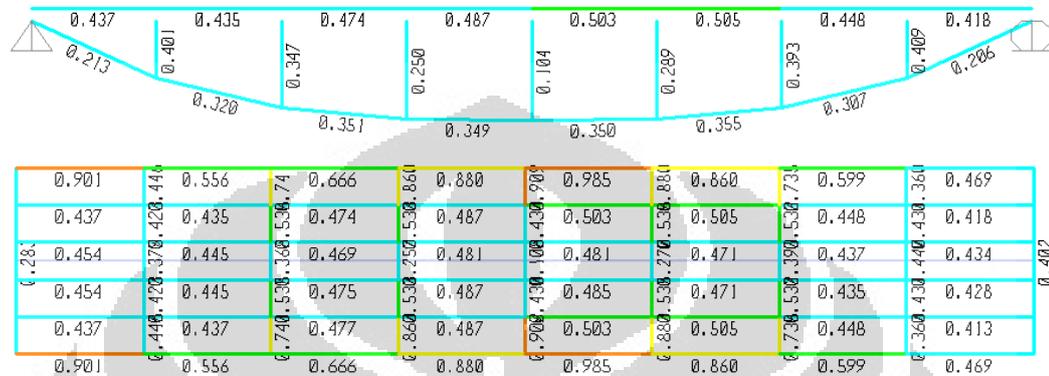


Gaya dalam momen

4.1.7. Bentang 50m, persamaan pangkat 3



Gambar IV.7 Section profile Bentang 50m, persamaan pangkat 4



Hasil stress check



Diagram normal

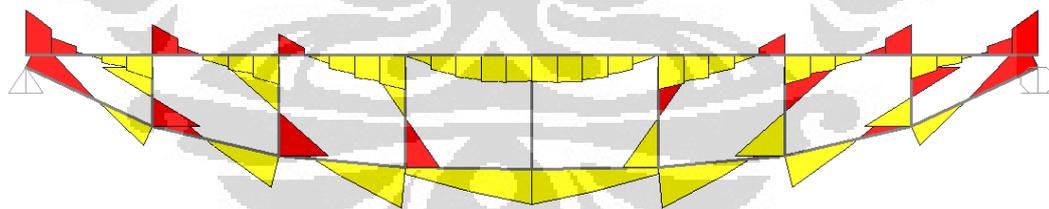
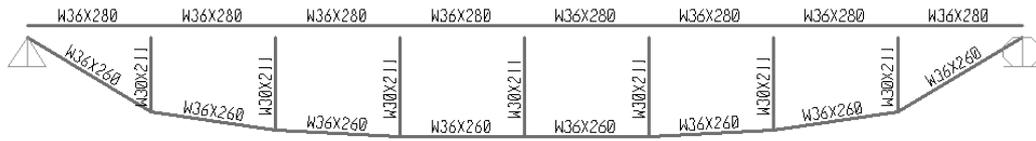
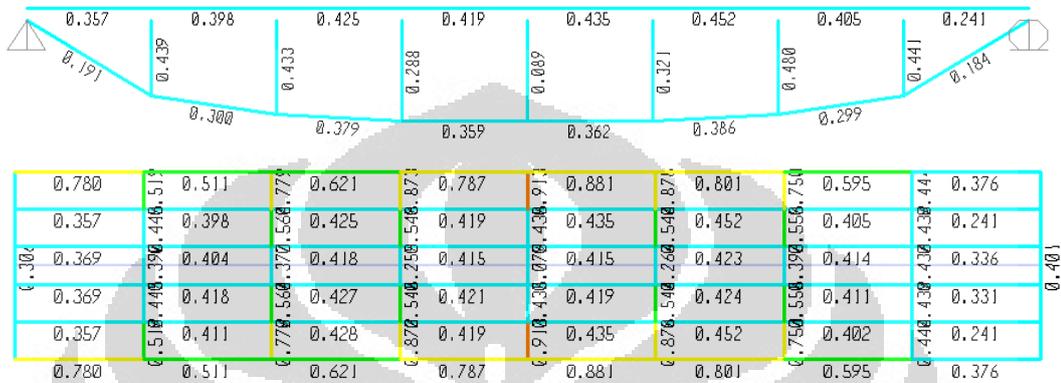


Diagram momen

4.1.8. Bentang 50m, persamaan pangkat 4



Gambar IV.8 Section profile Bentang 50m, persamaan pangkat 4



Hasil stress check

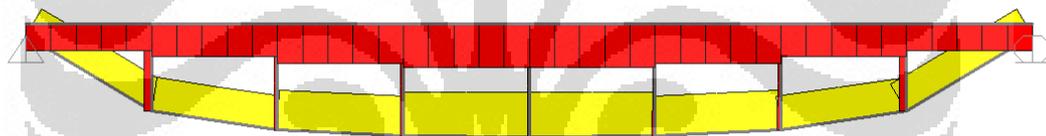


Diagram normal

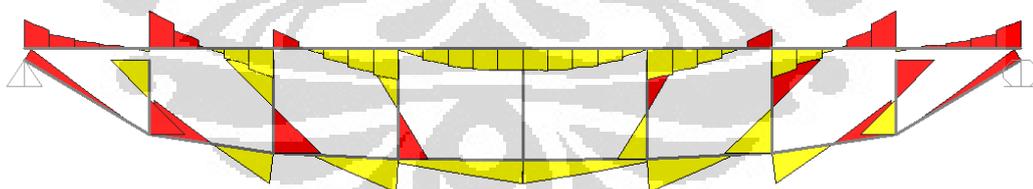
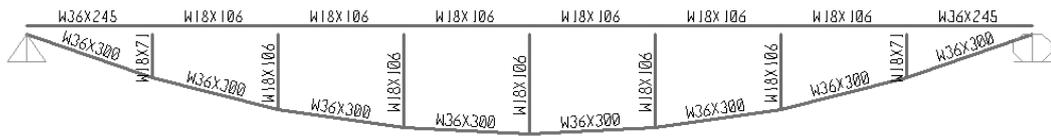


Diagram momen

4.1.9. Bentang 80m, persamaan catenary



Gambar IV.9 Section profile Bentang 80m, persamaan catenary



Hasil stress check

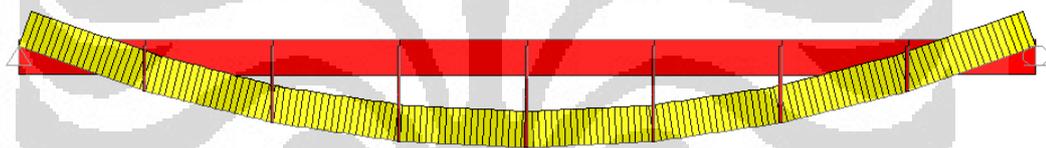
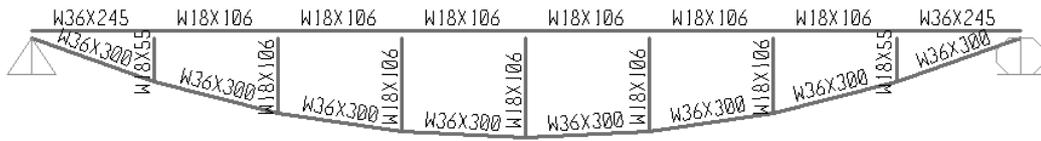


Diagram normal

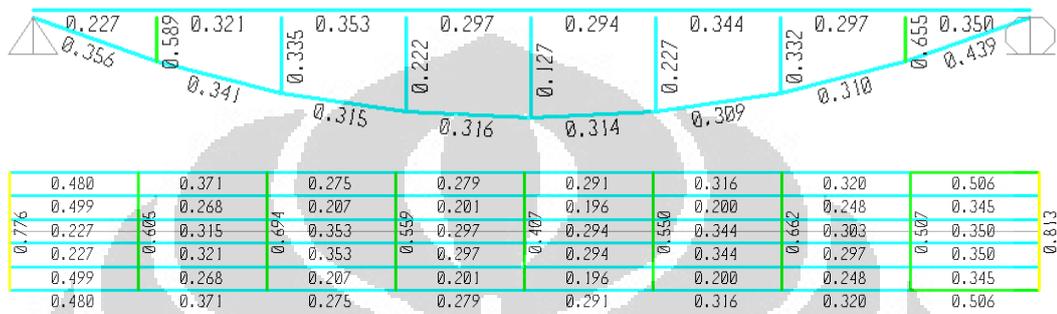


Diagram momen

4.1.10. Bentang 80m, persamaan pangkat 2



Gambar IV.10 Section profile Bentang 80m, persamaan pangkat 2



Hasil stress check

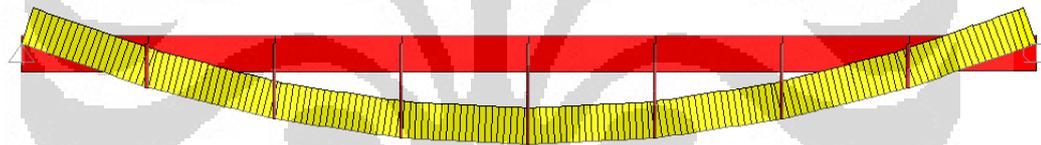


Diagram normal

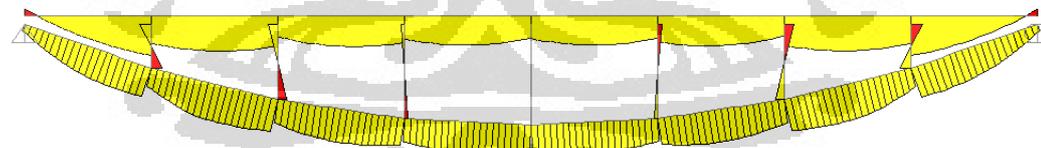
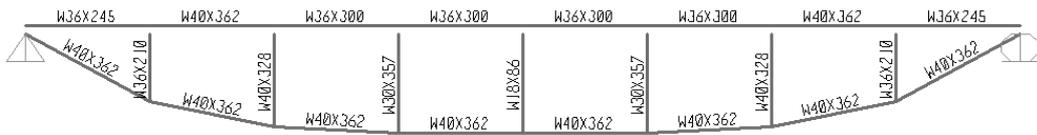
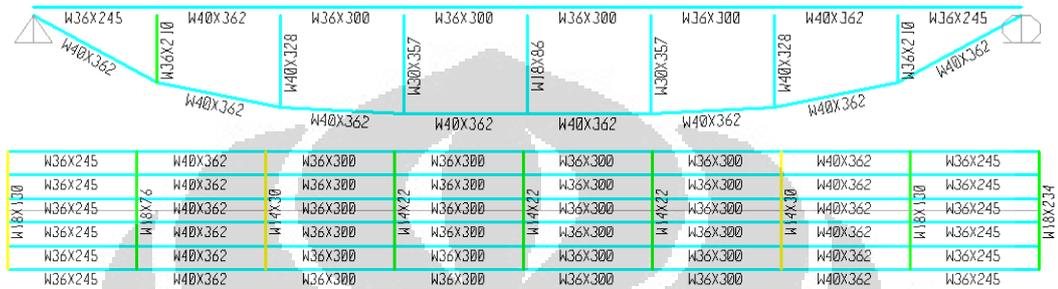


Diagram momen

4.1.12. Bentang 80m, persamaan pangkat 4



Gambar IV.12 Section profile Bentang 80m, persamaan pangkat 4



Hasil stress check



Diagram normal



Diagram momen

Tabel gaya dalam pada batang vertikal

	Momen (kN.m)					Aksial (kN)				
	c1	c2	c3	c4	c5	c1	c2	c3	c4	c5
caten	116	53	0	51	114	193	246	250	246	192
2 deg	118	54	0	54	118	206	254	256	253	205
3 deg	170	144	0	143	168	320	240	151	239	310
4 deg	258	266	0	264	257	397	214	124	213	396

Tabel IV-1. Gaya dalam momen dan aksial pada batang vertikal. Bentang 30m

	momen							aksial						
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
caten	382	198	76	0	89	209	391	240	304	314	316	313	302	236
2 deg	322	171	69	0	69	169	317	239	298	309	311	307	296	239
3 deg	489	571	425	0	423	565	483	375	362	266	185	266	361	374
4 deg	703	1016	667	0	663	1011	698	625	281	215	160	214	280	622

Tabel IV-2 Gaya dalam momen dan aksial pada batang vertikal. Bentang 50m

	momen							aksial						
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
caten	130	111	47	0	45	110	129	376	335	328	336	337	341	385
2 deg	128	100	37	0	40	101	127	370	325	331	340	331	326	379
3 deg	977	1355	1096	0	1093	1347	968	573	387	239	121	239	378	581
4 deg	1432	2309	1770	0	1765	2299	1422	775	391	154	61	154	392	785

Tabel IV-3 Gaya dalam momen dan aksial pada batang vertikal. Bentang 80m

Tabel gaya dalam pada Arch

30m	momen						aksial					
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c1	c2	c3	c4	c5	c6
caten	251	227	195	195	220	240	1844	1946	1953	1950	1936	1826
2 deg	253	234	203	203	230	244	1854	1942	1946	1945	1940	1850
3 deg	109	283	358	358	285	110	1734	1801	1865	1857	1785	1695
4 deg	90	341	334	334	340	92	1584	1683	1848	1847	1680	1580

Tabel IV-4 Gaya dalam momen dan aksial pada arch. Bentang 30m

50m	momen							
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
caten	595	435	310	278	281	306	360	600
2 deg	537	421	330	290	290	317	420	533
3 deg	221	384	433	440	437	425	380	218
4 deg	102	600	691	620	626	688	503	102

Tabel IV-5 Gaya dalam momen pada arch. Bentang 50m

50m	aksial							
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
caten	3064	3336	3377	3376	3373	3369	3324	3346
2 deg	3077	3293	3320	3315	3312	3313	3286	3071
3 deg	2656	2871	3060	3215	3213	3056	2865	2653
4 deg	2518	2624	3005	3261	3259	3001	2616	2508

Tabel IV-6 Gaya dalam aksial pada arch. Bentang 50m

80m	momen							
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
caten	298	353	370	367	367	370	353	298
2 deg	353	411	373	352	352	367	405	359
3 deg	260	446	813	778	791	812	445	265
4 deg	120	683	1301	1089	1089	1252	675	116

Tabel IV-7 Gaya dalam momen pada arch. Bentang 80m

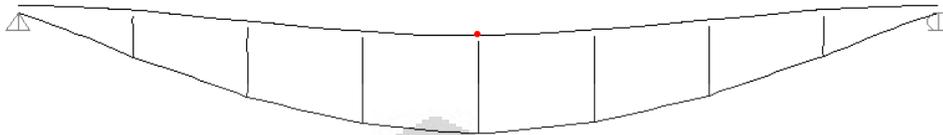
80m	aksial							
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
caten	4976	4905	4811	4787	4789	4816	4919	5003
2 deg	4991	4922	4825	4798	4799	4828	4934	5016
3 deg	4294	4169	4783	5023	5023	4783	4162	4290
4 deg	4146	4323	4823	5252	5253	4826	4330	4161

Tabel IV-8 Gaya dalam aksial pada arch. Bentang 80m

4.2 lendutan struktur

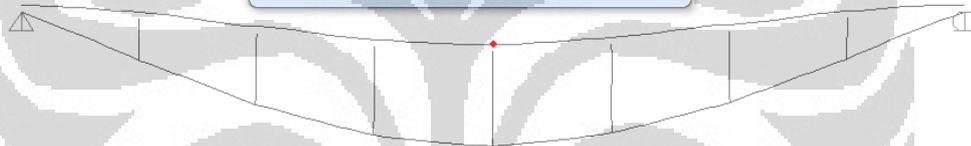
1. Model 80m persamaan catenary

Joint Displacements			
Joint Object	5		
	1	2	3
Trans	-0.00255	6.143E-05	-0.08421
Rotn	3.253E-04	-3.311E-04	1.012E-06



2. Model 80m persamaan pangkat 2

Joint Displacements			
Joint Object	32		
	1	2	3
Trans	-0.00251	-1.293E-05	-0.08311
Rotn	3.293E-05	-8.270E-05	5.056E-06



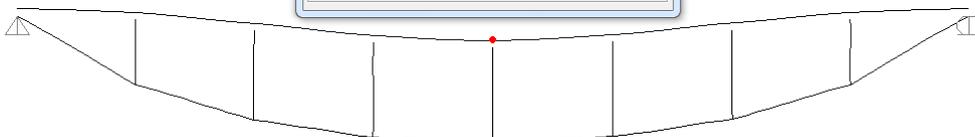
3. Model 80m persamaan pangkat 3.

Joint Displacements			
Joint Object	50		
	1	2	3
Trans	-0.00196	-6.108E-05	-0.08839
Rotn	-7.830E-05	-1.668E-04	0.00000



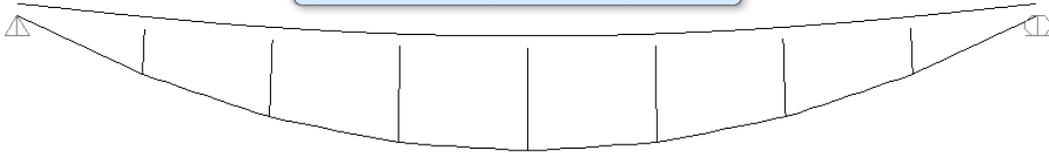
4. Model 80m persamaan pangkat 3.

Joint Displacements			
Joint Object	50		
	1	2	3
Trans	-0.00196	-6.108E-05	-0.08839
Rotn	-7.830E-05	-1.668E-04	0.00000



5. Model 50m persamaan catenary

Joint Displacements					
Joint Object	163			Joint Element	163
	1	2	3		
Trans	-0.00588	7.091E-05	-0.05227		
Rotn	4.825E-04	-7.435E-06	1.168E-06		



6. Model 50m persamaan pangkat 2.

Joint Displacements					
Joint Object	163			Joint Element	163
	1	2	3		
Trans	-0.00588	7.147E-05	-0.05226		
Rotn	4.843E-04	-7.458E-06	1.167E-06		



7. Model 50m persamaan pangkat 3.

Joint Displacements					
Joint Object	163			Joint Element	163
	1	2	3		
Trans	-0.00570	8.488E-05	-0.05089		
Rotn	3.580E-04	-2.185E-06	0.00000		

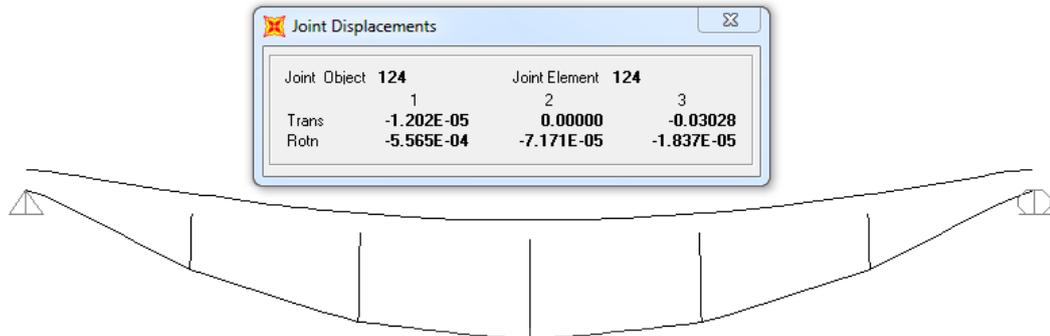


8. Model 50m persamaan pangkat 4.

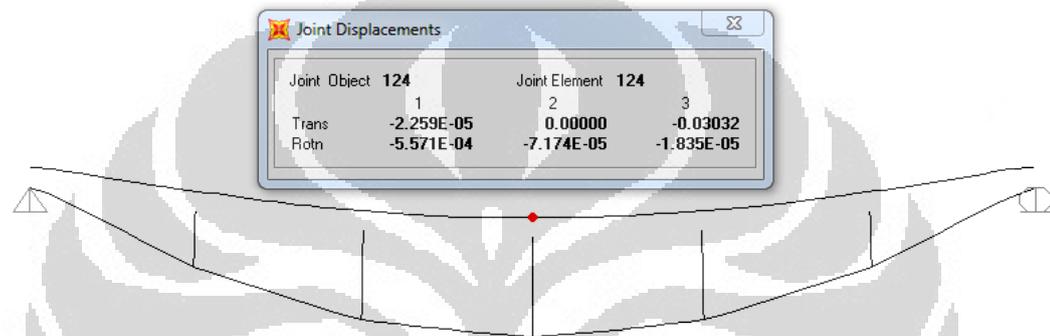
Joint Displacements					
Joint Object	163			Joint Element	163
	1	2	3		
Trans	-0.00454	4.485E-05	-0.05202		
Rotn	3.300E-04	-1.508E-06	0.00000		



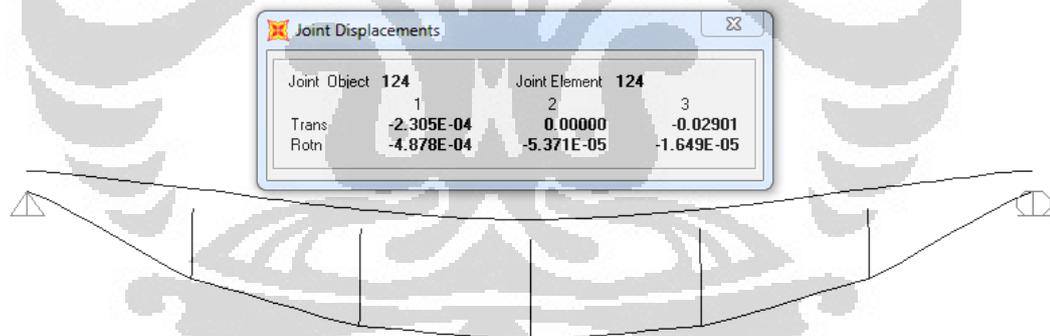
9. Model 30m persamaan catenary



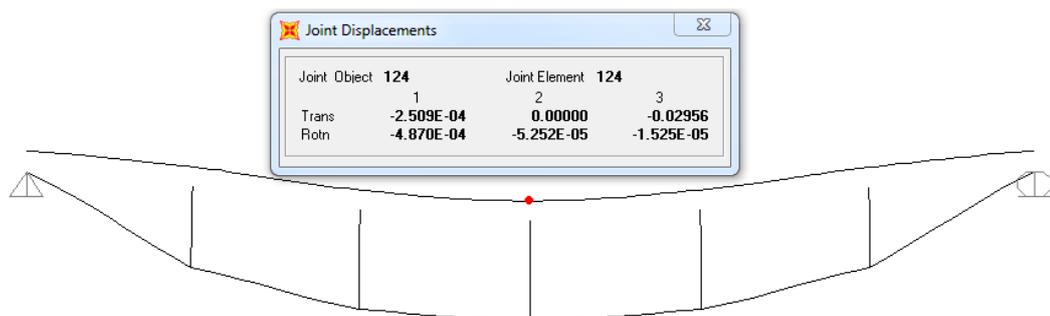
10. Model 30m persamaan pangkat 2.



11. Model 30m persamaan pangkat 3.



12. Model 30m persamaan pangkat 4.



4.3 Massa total struktur

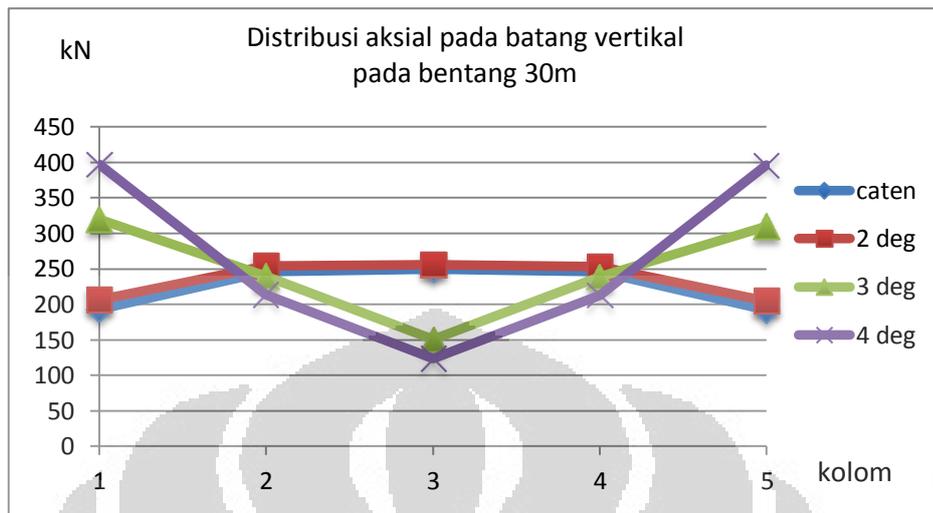
Massa total struktur yang dibutuhkan untuk struktur sehingga memenuhi syarat-syarat lendutan ($0.8 \delta_a < \delta < 0.9\delta_a$) dan kekuatan ultimit adalah sebagai berikut:

bentang	persamaan	d max (m)	d (m)	total weight (kN)	total weight (Ton)
30 meter	catenary	-0.0375	-0.03028	6037.29	61.54
	pangkat 2		-0.03032	6037.47	61.54
	pangkat 3		-0.02901	6186.38	63.06
	pangkat 4		-0.02960	6308.07	64.30
50 meter	catenary	-0.0625	-0.05297	11861.38	120.91
	pangkat 2		-0.05226	11860.70	120.90
	pangkat 3		-0.05140	12161.97	123.98
	pangkat 4		-0.05200	12500.51	127.43
80 meter	catenary	-0.1000	-0.08310	18667.05	190.29
	pangkat 2		-0.08450	18668.10	190.30
	pangkat 3		-0.08870	20008.20	203.96
	pangkat 4		-0.08340	21267.83	216.80

4.4 Analisis

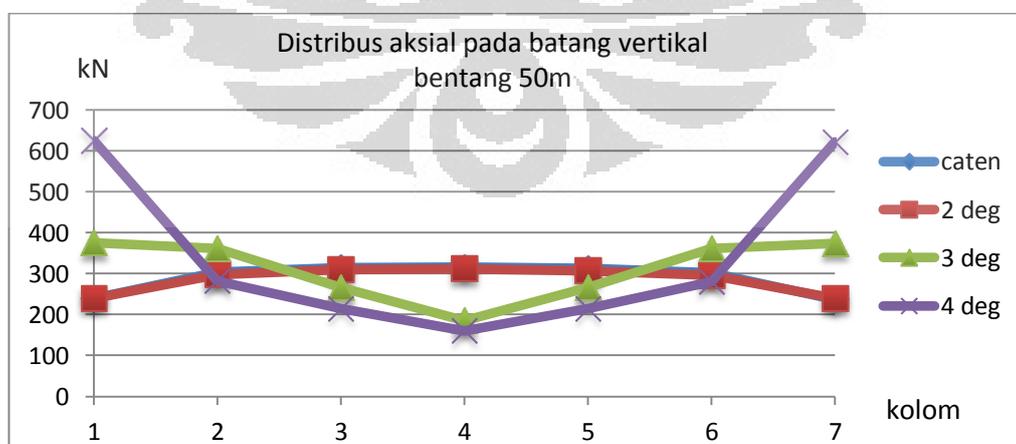
Hasil dari output sap2000 akan di analisis mengenai perilaku strukturnya akibat beban yang bekerja. Analisis akan dilakukan mengenai lendutan, gaya dalam serta massa total struktur dalam hubungannya dengan persamaan kelengkungan jembatan.

Perbandingan gaya dalam yang terjadi pada batang vertikal adalah sebagai berikut:



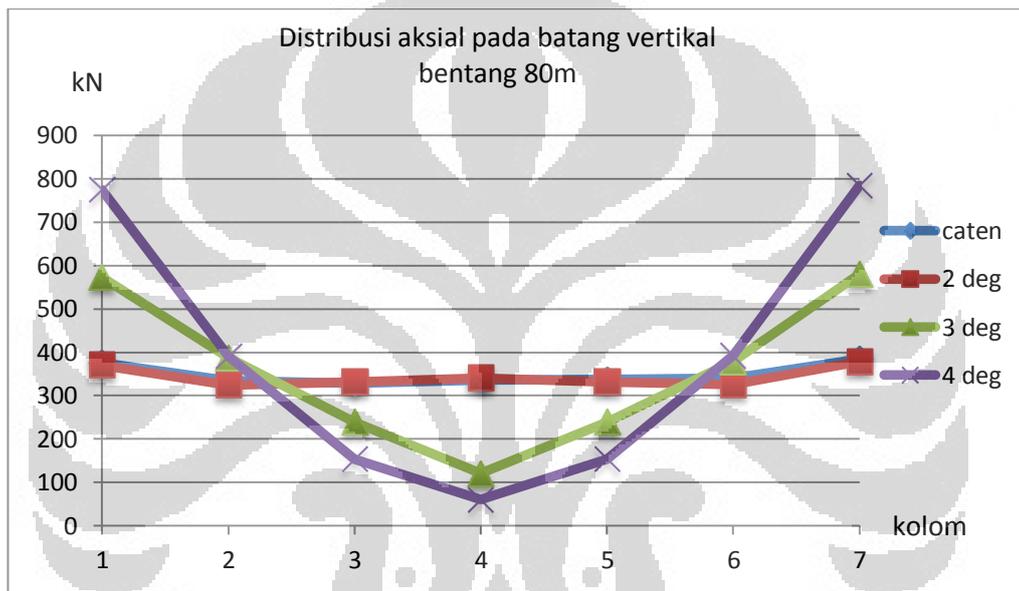
Gambar IV.13 Distribusi aksial pada batang vertikal pada bentang 30m

Pada persamaan catenary dan persamaan pangkat dua, distribusi gaya aksial pada batang vertikal terjadi dengan cukup merata. Perbedaan yang terjadi hanya pada batang vertikal yang pertama dan terakhir yang gaya aksialnya lebih kecil 20% dari aksial batang tengah. Pada persamaan pangkat tiga dan empat, gaya aksial meningkat drastis dari tengah bentang ke tepi jembatan. Untuk persamaan pangkat tiga, batang 4 memikul 60% lebih besar gaya aksial batang tengah sedangkan batang vertikal tepi memikul gaya 100% lebih besar dari batang vertikal tengah.



Gambar IV.14 Distribusi aksial pada batang vertikal bentang 50m

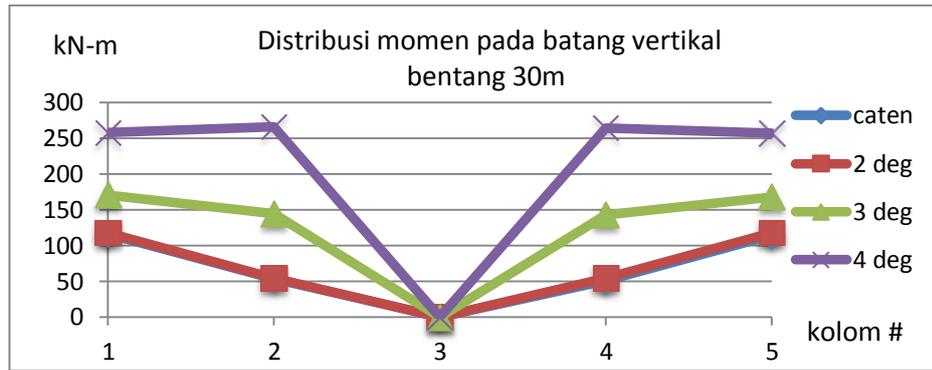
Pada bentang 50 meter, persamaan pangkat 2 dan catenary juga mendistribusikan gaya aksial dengan hampir merata. Perbedaannya hanya pada batang vertikal pertama dan terakhir yang menerima gaya aksial lebih kecil 25% dari batang-batang lain. Pada persamaan pangkat tiga dan empat, distribusi gaya aksialnya meningkat pada batang vertikal tepinya. Pada persamaan pangkat tiga, distribusinya adalah semakin ke tepi, 100%, 144%, 195%, 202%. Sedangkan pada persamaan pangkat empat, distribusinya adalah semakin ke tepi, 100%, 134%, 175%, 389%.



Gambar IV.15 Distribusi aksial pada batang vertikal bentang 80m

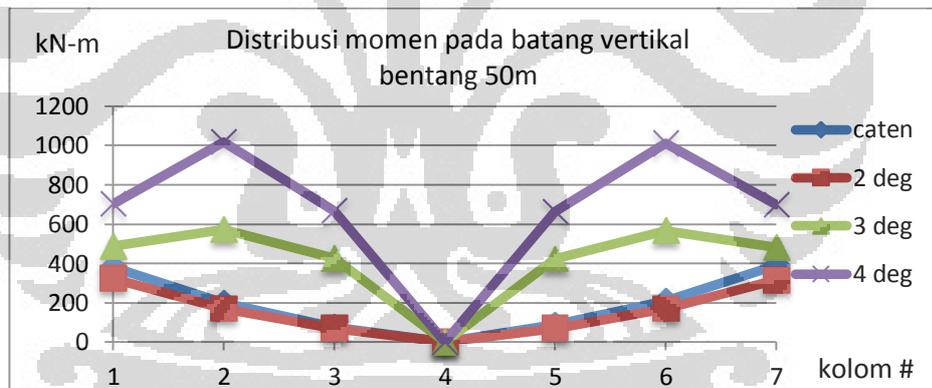
Pada bentang 80 meter, persamaan pangkat 2 dan catenary juga mendistribusikan gaya aksial dengan hampir merata. Perbedaannya hanya pada batang vertikal pertama dan terakhir yang menerima gaya aksial lebih besar 15% dari batang-batang lain. Pada persamaan pangkat tiga dan empat, distribusi gaya aksialnya tidak merata tetapi meningkat pada batang vertikal tepinya. Pada persamaan pangkat tiga, distribusinya adalah semakin ke tepi, 100%, 200%, 310%, 480%. Sedangkan pada persamaan pangkat empat, distribusinya adalah semakin ke tepi, 100%, 250%, 640%, 1290%.

Perbandingan momen



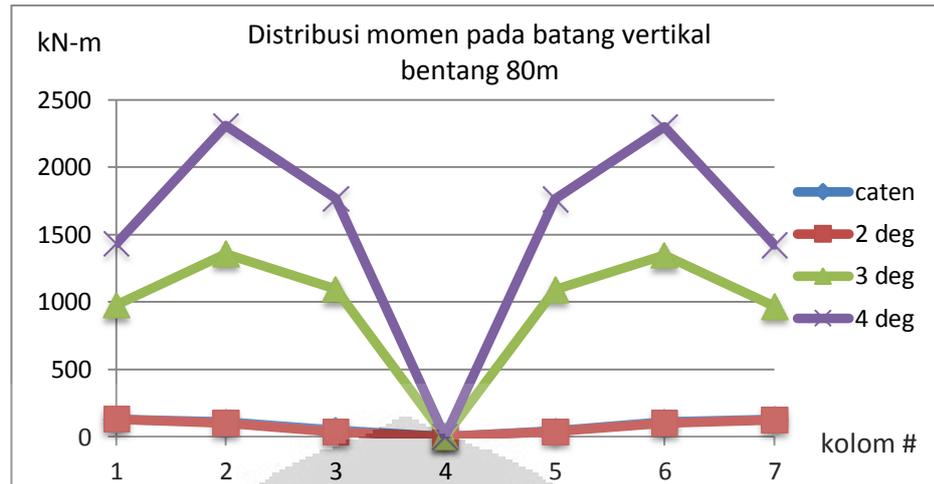
Gambar IV.16 Distribusi momen pada batang vertikal bentang 30m

Pada persamaan catenary dan persamaan pangkat dua, momen pada batang vertikal 4 dan 5 adalah 52kN-m dan 105kN-m. pada persamaan pangkat tiga dan empat, nilai ini naik signifikan. pada persamaan pangkat tiga, nilai ini meningkat 160% dan 40%. Sedang pada persamaan pangkat empat, meningkat 390% dan 120%. Meskipun persamaan catenary dan pangkat dua menghasilkan hasil yang mirip, tetapi persamaan catenary menunjukkan performa yang sedikit lebih baik.



Gambar IV.17 Distribusi momen pada batang vertikal bentang 50m

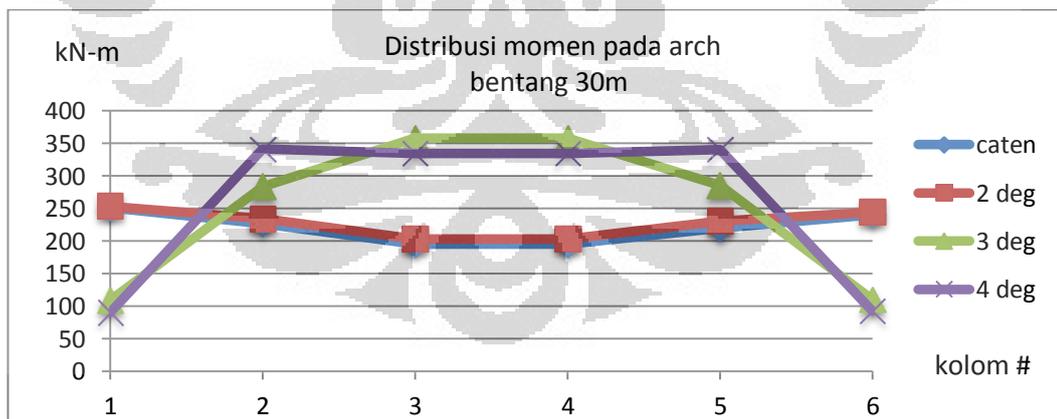
Untuk bentang 50m pada persamaan catenary dan persamaan pangkat dua, rata-rata momen pada batang vertikal 5, 6 dan 7 adalah 80, 189, dan 354kN-m. pada persamaan pangkat tiga dan empat, nilai ini naik signifikan. pada persamaan pangkat tiga, nilai ini meningkat 435%, 198% dan 36%. Sedang pada persamaan pangkat empat, meningkat 739% 434% dan 97%. Persamaan pangkat dua menunjukkan performa yang sedikit lebih baik disbanding catenary.



Gambar IV.18 Distribusi momen pada batang vertikal bentang 80m

Untuk bentang 80m, pada persamaan catenary dan persamaan pangkat dua, rata-rata momen pada batang vertikal 5, 6 dan 7 adalah 43%, 106%, dan 128%. Sedangkan pada persamaan pangkat tiga, nilai ini meningkat 2500%, 1200% dan 660%. Sedang pada persamaan pangkat empat, meningkat 4000% 2100% dan 1010%. Nilai yang naik hingga lebih dari 10 kali lipat ini menjadikan struktur menjadi tidak ekonomis.

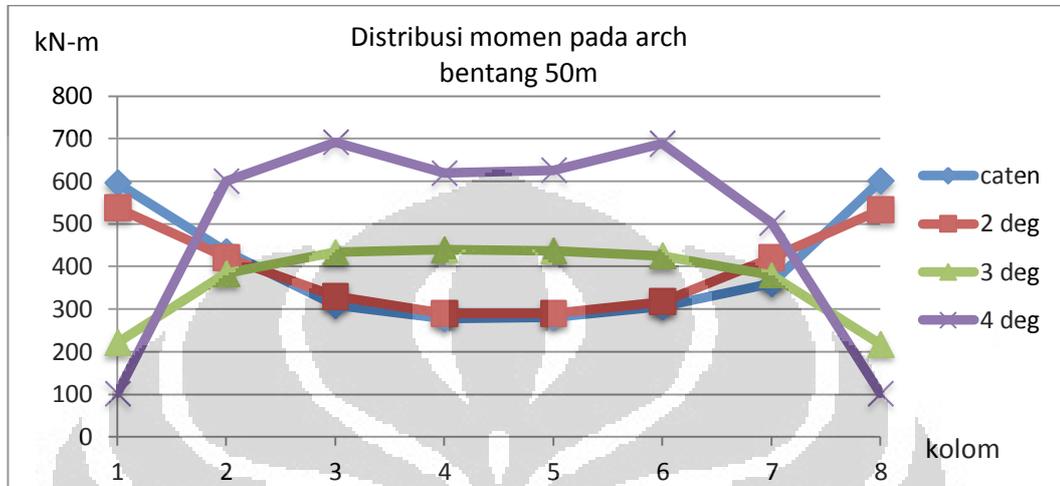
Momen pada arch



Gambar IV.19 Distribusi momen pada arch bentang 30m

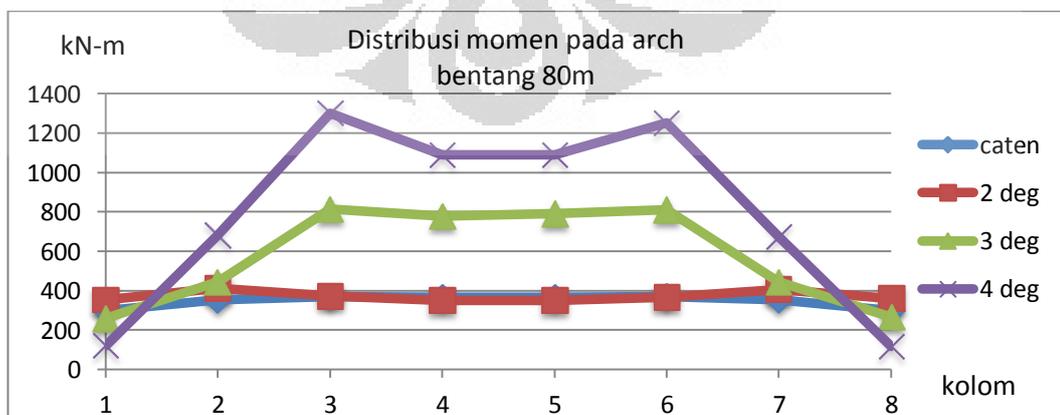
Untuk momen pada arch dapat dilihat bahwa persamaan katenari dan persamaan pangkat dua mendistribusikan momen dengan cukup merata sepanjang bentang. Persamaan catenary dan persamaan pangkat dua juga menunjukkan hasil yang sangat mendekati. Untuk persamaan pangkat tiga dan empat, semakin ke bentang

tengah jembatan, momen semakin membesar. Dengan momen paling besar di persamaan pangkat tiga, mencapai 227% lebih besar dari momen terkecil di tepi bentang. Dan pada persamaan pangkat empat, momen terbesar mencapai 271% momen terkecil.



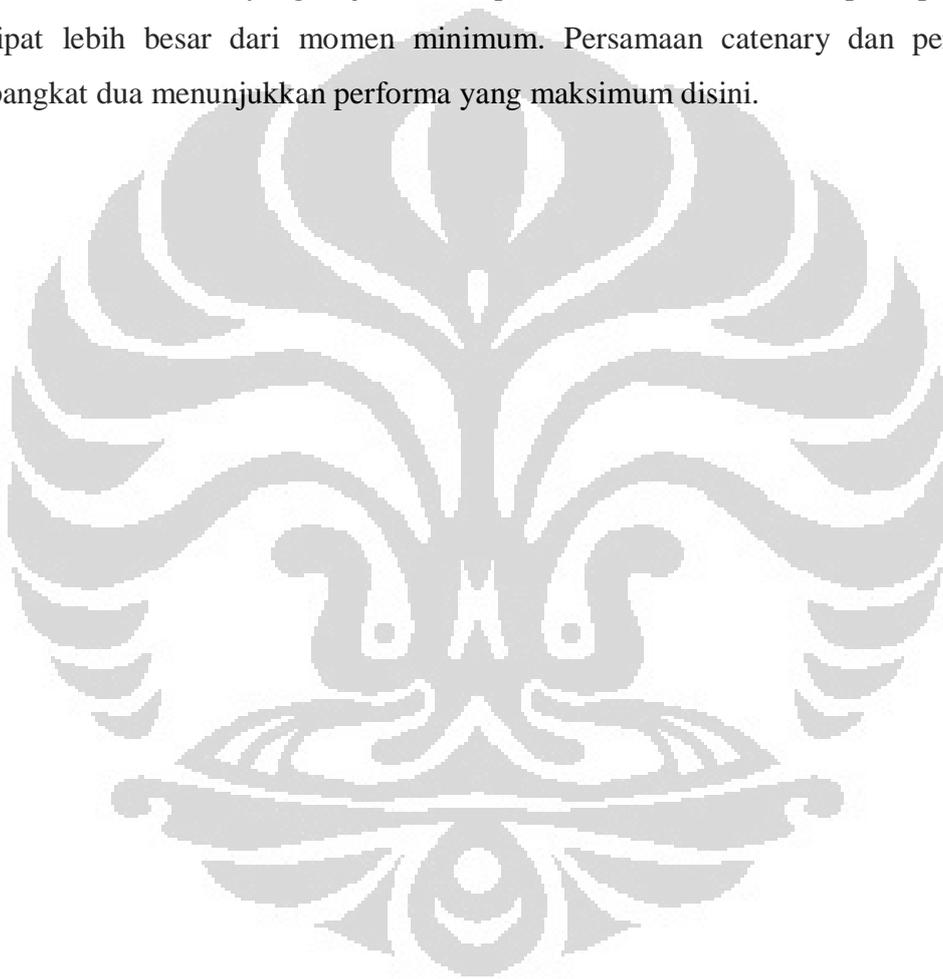
Gambar IV.20 Distribusi momen pada arch bentang 50m

Seperti sebelumnya, pada bentang 50m, distribusi momen pada persamaan pangkat dua tidak berbeda jauh dengan persamaan catenary. Momen pada tepi bentang 76% lebih besar dari momen tengah bentang. Pada persamaan pangkat tiga, momen tengah bentang mencapai 100% momen tepi bentang. Sedang pada persamaan pangkat empat, momen maksimum di tengah bentang mencapai 590% lebih besar dari momen tepi bentang. Di sini, persamaan catenary dan persamaan pangkat dua menghasilkan performa yang paling baik.

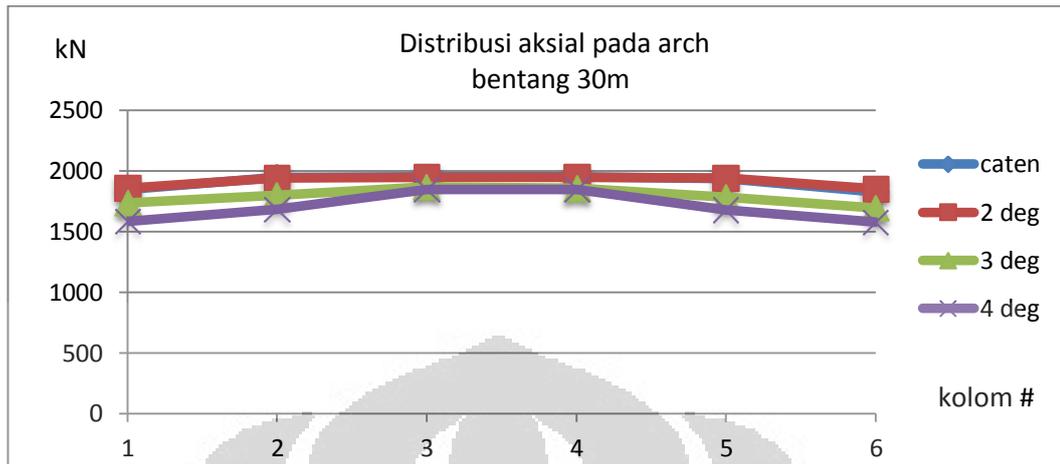


Gambar IV.21 Distribusi momen pada arch bentang 80m

Pada bentang 80 meter, momen pada arch pada jembatan dengan persamaan pangkat dua dan catenary juga menunjukkan hasil yang mirip. Distribusi momen terjadi dengan sangat merata. Momen maksimum yang terjadi hanya 23% lebih besar dari momen minimum. Pada arch dengan persamaan pangkat tiga, momen maksimum yang terjadi mencapai 250% lebih besar dari momen minimum. Sedang pada bentang dengan persamaan pangkat empat, momen maksimum yang terjadi mencapai 983% lebih besar, hampir sepuluh kali lipat lebih besar dari momen minimum. Persamaan catenary dan persamaan pangkat dua menunjukkan performa yang maksimum disini.

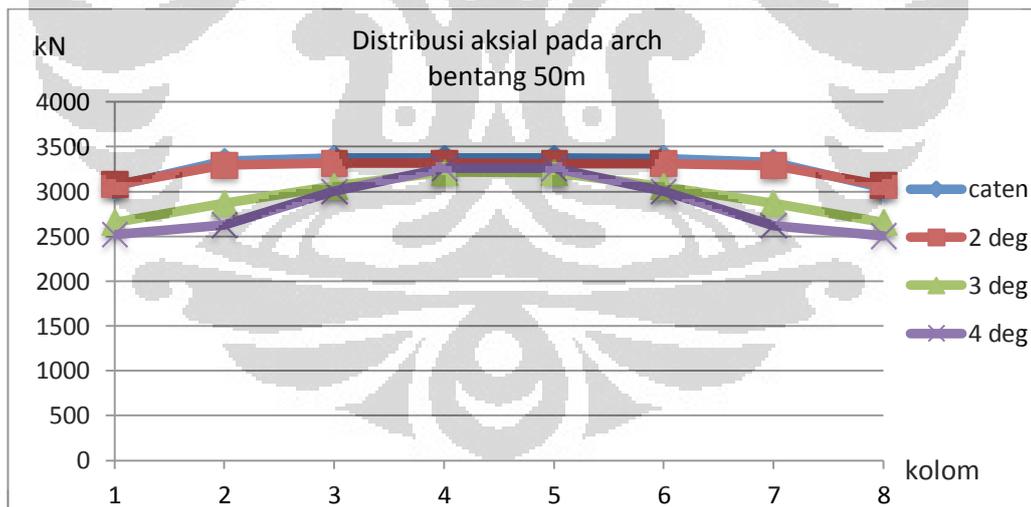


Aksial pada arch



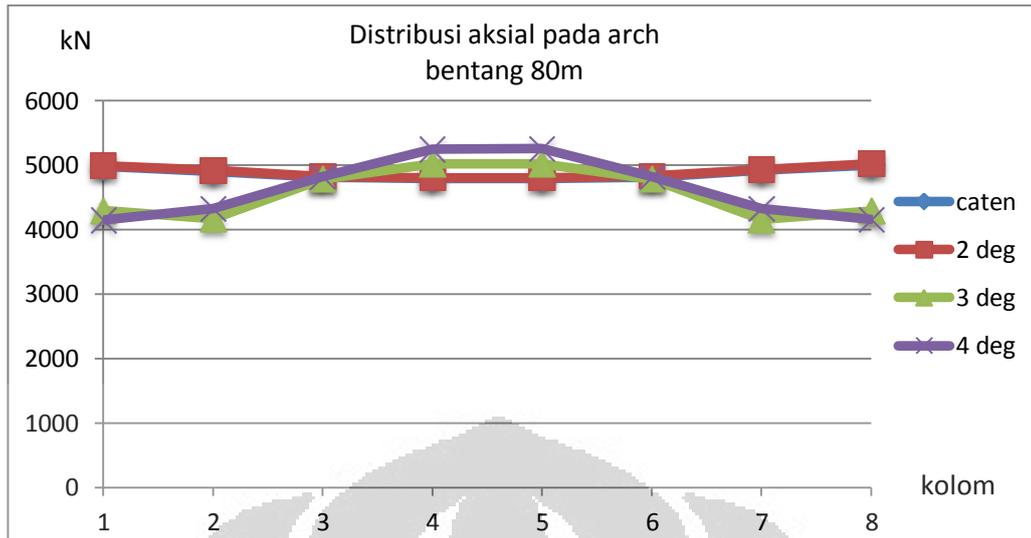
Gambar IV.22 Distribusi aksial pada arch bentang 30m

Untuk aksial pada arch, persamaan catenary dan persamaan pangkat dua menunjukkan hasil yang mendekati, keduanya mempunyai perbedaan rata-rata kurang dari 2%. Persamaan pangkat tiga menghasilkan aksial rata-rata sebesar 1.790kN, dan persamaan pangkat empat 1.703kN.



Gambar IV.23 Distribusi aksial pada arch bentang 50m

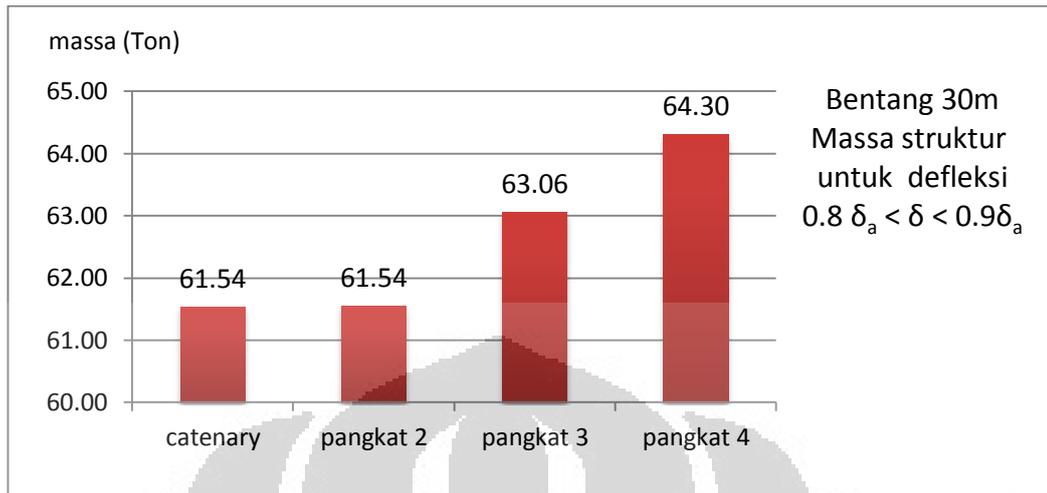
Persamaan catenary dan pangkat dua menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda, dengan rata-rata aksial 3.265kN. bentang dengan persamaan pangkat tiga rata-rata 2.948kN, dan persamaan pangkat empat paling kecil di 2.849kN.



Gambar IV.24 Distribusi aksial pada arch bentang 80m

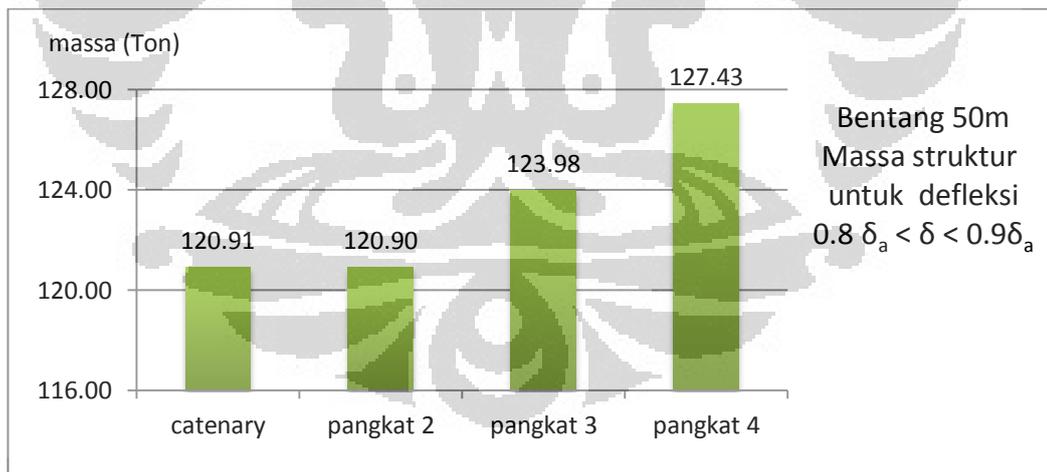
Di bentang 80m, persamaan catenary dan pangkat dua menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda, dengan rata-rata aksial 4.875kN. Bentang dengan persamaan pangkat tiga rata-rata 4.565kN, dan persamaan pangkat empat di 4.639kN. persamaan catenary dan persamaan pangkat dua menunjukkan hasil yang paling baik dengan mentransfer aksial secara merata.

Perbandingan Massa Struktur



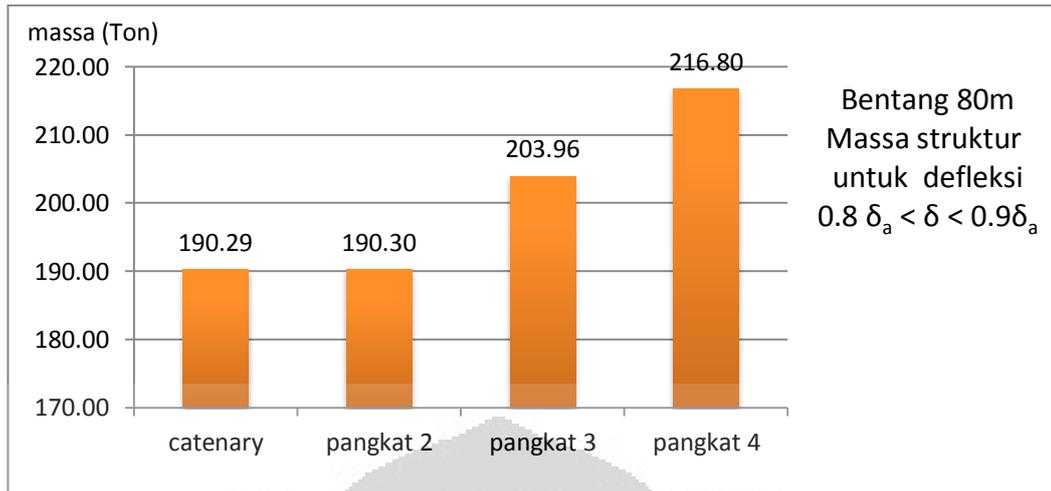
Gambar IV.25 Perbandingan massa struktur bentang 30m

Pada bentang 30m, persamaan catenary memberikan massa paling ringan walaupun tidak signifikan. Sedangkan persamaan pangkat 2 lebih berat 0,003% dari catenary. Sedangkan massa struktur naik pada persamaan pangkat 3 (naik 3.44%) dan persamaan pangkat 4 (naik 5.41%).



Gambar IV.26 Perbandingan massa struktur bentang 50m

Pada bentang 50m, persamaan pangkat 2 memberikan massa paling ringan. Persamaan catenary lebih berat 0,006%. Sedangkan massa struktur naik pada persamaan pangkat 3 (naik 2,55%) dan persamaan pangkat 4 (naik 5,40%).



Gambar IV.27 Perbandingan massa struktur bentang 80m

Pada bentang 80m, persamaan catenary memberikan massa paling ringan. Dengan persamaan pangkat 2 lebih berat 0,006%. Sedangkan massa struktur pada persamaan pangkat 3 naik 7,20% dan persamaan pangkat 4 naik 14,02%.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pada saat pemodelan, geometri dari persamaan pangkat dua dan persamaan *catenary* menunjukkan bentuk yang sangat mirip. Sehingga penulis mengambil hipotesa sebelumnya bahwa persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua akan menunjukkan perilaku yang mirip. Dan melalui analisa struktur terbukti benar bahwa jembatan busur dengan persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua menunjukkan perilaku yang sangat mirip.
2. Pada persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua, elemen *arch* menerima momen relatif merata dan seragam seluruh di semua segmen. Sedangkan pada persamaan pangkat tiga dan empat, bagian arch menerima gaya lentur bervariasi pada ujung-ujung segmen. Pada persamaan *catenary* dan pers. Pangkat dua, momen yang diterima relatif lebih kecil yaitu 48% dibandingkan dengan pada persamaan pangkat tiga dan 29% dibandingkan persamaan pangkat empat. Sedangkan gaya aksial yang diterima elemen arch pada persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua, lebih besar 76% dibandingkan dengan pada persamaan pangkat tiga, dan 54% dibanding persamaan pangkat empat.
3. Pada persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua, batang vertikal menerima momen yang lebih kecil, hanya 83% dari persamaan pangkat tiga dan 62% dari persamaan pangkat empat. Serta aksial yang lebih besar 5% dibanding persamaan pangkat tiga, serta lebih besar 11% dibanding persamaan pangkat empat. Pada saat analisa, gaya-gaya dalam pada persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua mendistribusikan gaya-gaya dengan seragam pada elemen-elemen strukturnya. Sehingga menghemat profil yang dibutuhkan dan mengurangi berat struktur. Sehingga jembatan busur dengan persamaan *catenary* dan persamaan pangkat dua merupakan jembatan yang paling efisien dan mendistribusikan gaya-gaya dalam dengan baik.

4. Jembatan busur dengan persamaan pangkat tiga dan pangkat empat berturut-turut merupakan jembatan dengan efisiensi ke – dua dan ke – tiga.
5. Dalam hal ini, kekakuan struktur jembatan *inverted arch bridge* sangat tergantung dari geometri struktur *arch* tersebut.

5.2. Saran

1. Dengan melihat bahwa jembatan busur dengan persamaan catenary dan persamaan pangkat dua memberikan suatu perilaku dan performa yang mirip, perlu dilakukan studi secara khusus terhadap perilaku arch dengan kedua persamaan tersebut, untuk mengetahui manakah yang lebih efisien dari kedua bentuk tersebut.
2. Dengan melihat bahwa persamaan catenary dan persamaan pangkat dua memberikan performa yang paling baik, jembatan dengan bentuk ini dapat dipilih untuk digunakan pada struktur jembatan *inverted arch bridge* yang akan dibangun.

DAFTAR PUSTAKA

- Segui, William T. (2007). *Steel Design (Fourth Edition)*. United States : Chris Carson.4
- Shouji T, Lian Duan, & Wai-Fah Chen (2005). *Arch bridges in Handbook of Structural Engineering*. Washington, DC : CRC Press.5
- Standar Nasional Indonesia. (2002).*Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, SNI – 03-1729-2002*, Litbang Teknologi Permukiman, Bandung.6
- Standar Nasional Indonesia. (2005). *Pembebanan untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.7
- Wai-Fah Chen, Lian Duan (1999). *Bridge Engineering Handbook*. Washington, DC : CRC Press.9
- Xanthakos, Petros P. *Theory and Design of Bridge*, Wiley Publication, 1994
- Troitsky, M.S., *Bridge Engineering Handbook*. CRC Press, 2000
- ICE Manual of Bridge Engineering, Second Edition.
- o'Connor, Colin. *Design of Bridge Superstructure..* Wiley Publication. 1971
- Irvine, H.Max. *Cable Structure*. Penerbit ITB Bandung. 1988
- Web site : www.arch-bridges.com

LAMPIRAN

Defleksi yang terjadi vs total weigh

bentang	persamaan	comb	deflection	dmaks	total weight (kN)	total weight (Ton)			
30m	catenary	SERV-1	-0.024884	-0.0164	6037.29	61.54			
		SERV-2	-0.01792						
		SERV-3	-0.016428						
		SERV-4	-0.016428						
		SERV-5	-0.016422						
		SERV-6	-0.016428						
		SERV-0	-0.021547						
		pangkat 2	SERV-1	-0.024018			-0.0159	6037.47	61.54
		SERV-2	-0.017315						
		SERV-3	-0.015871						
SERV-4	-0.015871								
SERV-5	-0.015865								
SERV-6	-0.015871								
SERV-0	-0.020791								
pangkat 3		SERV-1	-0.02212	-0.0147	6186.38	63.06			
		SERV-2	-0.016045						
		SERV-3	-0.01474						
		SERV-4	-0.01474						
		SERV-5	-0.014735						
		SERV-6	-0.01474						
		SERV-0	-0.019322						
		pangkat 4	SERV-1	-0.022056			-0.0148	6308.07	64.30
		SERV-2	-0.01608						
		SERV-3	-0.014795						
SERV-4	-0.014795								
SERV-5	-0.014791								
SERV-6	-0.014795								
SERV-0	-0.01934								
50m	catenary	SERV-1	-0.053001	-0.0388	11861.38	120.91			
		SERV-2	-0.041858						
		SERV-3	-0.038946						
		SERV-4	-0.038946						
		SERV-5	-0.038824						
		SERV-6	-0.038946						
		SERV-0	-0.045088						
		pangkat 2	SERV-1	-0.052954			-0.0388	11860.70	120.90

		SERV-2	-0.041815			
		SERV-3	-0.038903			
		SERV-4	-0.038903			
		SERV-5	-0.038783			
		SERV-6	-0.038903			
		SERV-0	-0.045032			
	pangkat 3	SERV-1	-0.05144	-0.0380	12161.97	123.98
		SERV-2	-0.040883			
		SERV-3	-0.038107			
		SERV-4	-0.038107			
		SERV-5	-0.037978			
		SERV-6	-0.038107			
		SERV-0	-0.043935			
	pangkat 4	SERV-1	-0.052521	-0.0390	12500.51	127.43
		SERV-2	-0.041952			
		SERV-3	-0.039168			
		SERV-4	-0.039168			
		SERV-5	-0.039022			
		SERV-6	-0.039168			
		SERV-0	-0.045097			
80m	catenary	SERV-1	-0.076844	-0.0687	18667.05	190.29
		SERV-2	-0.074192			
		SERV-3	-0.068762			
		SERV-4	-0.068762			
		SERV-5	-0.068748			
		SERV-6	-0.068762			
		SERV-0	-0.084521			
	pangkat 2	SERV-1	-0.075484	-0.0675	18668.10	190.30
		SERV-2	-0.072877			
		SERV-3	-0.067544			
		SERV-4	-0.067544			
		SERV-5	-0.067529			
		SERV-6	-0.067544			
		SERV-0	-0.083114			
	pangkat 3	SERV-1	-0.085855	-0.0774	20008.20	203.96
		SERV-2	-0.083067			
		SERV-3	-0.077395			
		SERV-4	-0.077395			
		SERV-5	-0.077387			
		SERV-6	-0.077395			
		SERV-0	-0.088692			
	pangkat 4	SERV-1	-0.086841	-0.0788	21267.83	216.80
		SERV-2	-0.084182			

	SERV-3	-0.078805		
	SERV-4	-0.078805		
	SERV-5	-0.078799		
	SERV-6	-0.078805		
	SERV-0	-0.088227		

Momen pada batang vertikal

30meter	momen					aksial				
	c1	c2	c3	c4	c5	c1	c2	c3	c4	c5
caten	116	53	0	51	114	193	246	250	246	192
2 deg	118	54	0	54	118	206	254	256	253	205
3 deg	170	144	0	143	168	320	240	151	239	310
4 deg	258	266	0	264	257	397	214	124	213	396

50meter	momen							aksial						
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
caten	382	198	76	0	89	209	391	240	304	314	316	313	302	236
2 deg	322	171	69	0	69	169	317	239	298	309	311	307	296	239
3 deg	489	571	425	0	423	565	483	375	362	266	185	266	361	374
4 deg	703	1016	667	0	663	1011	698	625	281	215	160	214	280	622

80meter	momen							aksial						
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
caten	130	111	47	0	45	110	129	376	335	328	336	337	341	385
2 deg	128	100	37	0	40	101	127	370	325	331	340	331	326	379
3 deg	977	1355	1096	0	1093	1347	968	573	387	239	121	239	378	581
4 deg	1432	2309	1770	0	1765	2299	1422	775	391	154	61	154	392	785

Gaya dalam arch

30meter	momen						aksial					
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a1	a2	a3	a4	a5	a6
caten	251	227	195	195	220	240	1844	1946	1953	1950	1936	1826
2 deg	253	234	203	203	230	244	1854	1942	1946	1945	1940	1850
3 deg	109	283	358	358	285	110	1734	1801	1865	1857	1785	1695
4 deg	90	341	334	334	340	92	1584	1683	1848	1847	1680	1580

50meter	momen							
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
caten	595	435	310	278	281	306	360	600
2 deg	537	421	330	290	290	317	420	533
3 deg	221	384	433	440	437	425	380	218
4 deg	102	600	691	620	626	688	503	102

50meter	aksial							
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
caten	3064	3336	3377	3376	3373	3369	3324	3346
2 deg	3077	3293	3320	3315	3312	3313	3286	3071
3 deg	2656	2871	3060	3215	3213	3056	2865	2653
4 deg	2518	2624	3005	3261	3259	3001	2616	2508

80meter	momen							
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
caten	298	353	370	367	367	370	353	298
2 deg	353	411	373	352	352	367	405	359
3 deg	260	446	813	778	791	812	445	265
4 deg	120	683	1301	1089	1089	1252	675	116

80meter	aksial							
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
caten	4976	4905	4811	4787	4789	4816	4919	5003
2 deg	4991	4922	4825	4798	4799	4828	4934	5016
3 deg	4294	4169	4783	5023	5023	4783	4162	4290
4 deg	4146	4323	4823	5252	5253	4826	4330	4161