



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KONSTRUKSI JEMBATAN *CABLE STAYED*  
MENGUNAKAN METODE KANTILEVER  
(STUDI KASUS JEMBATAN SURAMADU)**

**TESIS**

**Irpan Hidayat  
0806423646**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JANUARI 2011**

277/FT.01/TESIS/08/2011



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KONSTRUKSI JEMBATAN *CABLE STAYED*  
MENGUNAKAN METODE KANTILEVER  
(STUDI KASUS JEMBATAN SURAMADU)**

**TESIS**

**Irpan Hidayat  
0806423646**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JANUARI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KONSTRUKSI JEMBATAN *CABLE STAYED*  
MENGUNAKAN METODE KANTILEVER  
(STUDI KASUS JEMBATAN SURAMADU)**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Teknik Sipil**

**Irpan Hidayat  
0806423646**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JANUARI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Irpan Hidayat**

**NPM : 0806423646**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 14 Januari 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

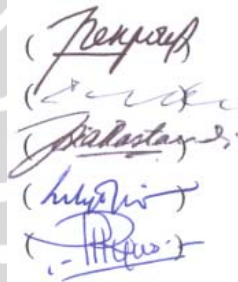
Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Irpan Hidayat  
NPM : 0806423646  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Tesis : Analisa Konstruksi Jembatan *Cable Stayed* Menggunakan Metode Kantilever (Studi Kasus Jembatan Suramadu)

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Heru Purnomo  
Pembimbing : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng  
Penguji : Dr.-Ing. Josia Irwan Rastandi S.T., M.T  
Penguji : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA  
Penguji : Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D



(Penyusun)  
(Pembimbing)  
(Penguji)  
(Penguji)  
(Penguji)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 14 Januari 2011

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Heru Purnomo, selaku dosen pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng, selaku dosen pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
3. Dr. Made Suangga, yang telah membantu saya dalam pengambilan data-data Jembatan Suramadu
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan;
5. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 14 Januari 2011



Irpan Hidayat

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

---

---

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

Nama : Irpan Hidayat  
NPM : 0806423646  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

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 :  
Analisa Konstruksi Jembatan *Cable Stayed* Menggunakan Metode Kantilever (Studi Kasus Jembatan Suramadu)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 : 14 Januari 2011  
Yang menyatakan



( Irpan Hidayat )

## ABSTRAK

Nama : Irpan Hidayat  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Analisa Konstruksi Jembatan *Cable Stayed* Menggunakan Metode Kantilever (Studi Kasus Jembatan Suramadu)

Tesis ini membahas mengenai perhitungan pembangunan secara bertahap berdasarkan ketergantungan waktu (*time dependent*) jembatan *cable stayed* dengan studi kasus Jembatan Suramadu. Adapun hasil yang akan diperoleh pada penelitian ini yaitu mengevaluasi perilaku struktur pada saat pelaksanaan bertahap menggunakan metode kantilever seperti besarnya gaya-gaya kabel, tegangan elemen struktur, dan lendutan gelagar yang terjadi pada setiap tahapan konstruksi. Teknik analisa yang digunakan yaitu *forward assemblage analysis* dan *backward disassemblage analysis*. Dimana untuk teknik menggunakan *forward assemblage analysis* pelat dimodelkan sebagai non komposit dan komposit serta menggunakan standar CEB-FIP dan ACI untuk mengetahui seberapa pengaruh nilai lendutan kedua standar tersebut.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa terjadi penurunan besaran lendutan gelagar sebesar 19 % dan gaya kabel sebesar 22 % setelah 10 hari pengecoran pelat dilakukan (sudah terjadi efek struktur komposit), dari asumsi pelat dimodelkan sebagai beban luar menjadi pemodelan struktur komposit. Dengan menggunakan standar CEB-FIP dan ACI diperoleh hasil bahwa nilai lendutan pada awal penempatan pelat (sudah terjadi struktur yang komposit) lebih kecil jika menggunakan code ACI. Hal ini disebabkan karena efek ACI pada awal terjadi struktur yang komposit memberikan nilai efek kekuatan material yang lebih besar dibandingkan dengan CEB-FIP. Sedangkan pada akhir-akhir pelaksanaan konstruksi nilai lendutan gelagar menggunakan CEB-FIP memperoleh hasil yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan ACI. Hasil perbandingan analisa antara *forward assemblage analysis* dan *backward disassemblage analysis* menggambarkan bahwa untuk nilai lendutan gelagar, terjadi perbedaan hasil rata-rata sebesar 3 % sedangkan untuk nilai gaya kabel terjadi variasi perbedaan antara 1 – 4 %

Kata kunci:

*Jembatan Cable Stayed, Kantilever, Gaya Kabel, Elevasi Gelagar*



## ABSTRACT

Name : Irpan Hidayat  
Departemen : Civil Engineering  
Title : Analysis of Cable Stayed Bridge Construction Using  
the Cantilever Method (Suramadu Bridge Case Study)

This thesis discuss the construction calculation in stages based on the dependence of time (time dependent) cable stayed bridge, using Suramadu Bridge as a case study. Results that will be obtained in this study are to evaluate the behavior of structures during the implementation stages by using cantilever method such as the cable forces, tension structural element, and girder deflection that occurs in each stage of construction. The analysis technique that used in this thesis are the forward assemblage analysis and backward disassemblage analysis. Where the forward assemblage analysis technique modeled the plate as a non-composite and composite form by using CEB-FIP and ACI standards to determine the influence of the deflection.

The result showed that there are decreasing deflection around 19% and cable force by 22% after 10 days of casting plate done (already in composite structure), from the assumption, the plate is modeled as external loads into composite structures model. By using standard CEB-FIP and ACI showed the value of deflection in initial placement of the plate (in composite structure) is smaller when using the ACI code. This is because the effect of ACI in the early composite structure gives the material strength in a greater value than the CEB-FIP. In contrary, at the end of the construction stages, the girder deflection that using CEB-FIP gives smaller deflection compared to ACI. The comparison analysis between the forward assemblage analysis and disassemblage analysis illustrates that there was an average difference of 3 % while for the cable force variations the differences are between 1 – 4 %.

Keywords :

Cable Stayed Bridge, Cantilever Method, Cable Force, Girder Elevation

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	iv
ABSTRAK .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b>	
2.1 Jembatan Bentang Panjang .....	5
2.2 Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....	6
2.2.1 Pengertian Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....	6
2.2.2 Konfigurasi Jembatan <i>Cable Stayed</i> Suramadu .....	8
2.3 Komponen Jembatan <i>Cable-Stayed</i> .....	11
2.3.1 Menara atau Pilon .....	11
2.3.2 Gelagar .....	12
2.3.3 Kabel .....	13
2.4 Perencanaan Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....	15
2.4.1 Menghitung Gaya-Gaya Pada Kabel .....	15
2.4.2 Pemodelan Konstruksi Bertahap Jembatan Berdasarkan Waktu .....	19
2.4.3 Analisa Perhitungan Konstruksi Bertahap Jembatan <i>Cable Stayed</i> Berdasarkan Hasil Penelitian Sebelumnya (Referensi) .....	26
2.5 Pemasangan Jembatan Menggunakan Metode Kantilever .....	39
2.5.1 Karakteristik Konstruksi Kantilever Segmental Pengecoran di Tempat .....	39
2.5.2 Teknik Pemasangan Konstruksi Jembatan Kantilever .....	54
2.5.3 Pengaruh Metode Pemasangan dan Urutan Konstruksi .....	64
2.5.4 Metode Pelaksanaan Konstruksi Jembatan <i>Cable Stayed</i> Sistem Kantilever Beberapa Jembatan Yang Telah Di Bangun .....	66
2.6 Simulasi dari Proses Konstruksi .....	74
2.6.1 <i>Forward Assemblage Analysis</i> .....	74
2.6.2 <i>Backward Disassemblage Analysis</i> .....	77
2.7 Pemasangan Jembatan <i>Cable Stayed</i> Menggunakan Struktur Dek Komposit .....	80
2.7.1 Penarikan Kabel Gelagar Beton .....	80
2.7.2 Penarikan Kabel Gelagar Komposit .....	81

<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1	Tahapan Kegiatan Penelitian .....	83
3.2	Bagan Alir Penelitian .....	84
3.3	Tahapan dan Beban Pelaksanaan Berdasarkan Waktu .....	86
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISA KONSTRUKSI JEMBATAN BERTAHAP</b>	
4.1	Data – Data Jembatan Suramadu .....	96
4.1.1	Geometri Jembatan Suramadu .....	96
4.1.2	Material Properti dan Dimensi Penampang .....	97
4.1.3	Kondisi Batas .....	100
4.2	Beban Konstruksi Bertahap .....	101
4.3	Batas Tegangan dan Lendutan .....	102
4.4	Gaya Kabel Jembatan .....	103
4.5	Analisa Konstruksi Jembatan Bertahap .....	105
4.5.1	<i>Forward Assemblage Analysis</i> .....	105
4.5.2	<i>Backward Disassemblage Analysis</i> .....	138
4.5.3	Perbandingan <i>Forward Assemblage Analysis</i> dan <i>Backward Disassemblage Analysis</i> .....	149
4.5.4	Perbandingan Nilai Lendutan Gelagar Dengan Menggunakan ACI dan CEB-FIP .....	152
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN</b> .....	161
<b>DAFTAR REFERENSI</b>	.....	164

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jembatan <i>Suspension</i> Menai .....	5
Gambar 2.2	Jembatan <i>Cable-Stayed</i> Sun Sky .....	5
Gambar 2.3	Bentang ekonomis jembatan .....	9
Gambar 2.4	Bentang Jembatan <i>Cable Stayed</i> di Dunia .....	10
Gambar 2.5	<i>Counterweight</i> Penahan Gaya <i>Uplift</i> .....	10
Gambar 2.6	Bentuk Dasar Pilon Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....	11
Gambar 2.7	Pilon Jembatan Suramadu .....	12
Gambar 2.8	Penampang Jembatan <i>Cable Stayed</i> Suramadu .....	13
Gambar 2.9	Konfigurasi Kabel Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....	14
Gambar 2.10	Deformasi Beton Berdasarkan Waktu .....	21
Gambar 2.11	Definisi Fungsi Rangkak dan Spesifik Rangkak .....	22
Gambar 2.12	Menu Input Koefisien Rangkak .....	23
Gambar 2.13	Hubungan Antara Waktu dan Umur dari Pembebanan Dari Fungsi Rangkak .....	24
Gambar 2.14	Definisi dari Kekuatan Tekan Beton Menghasilkan Kurva Sesuai Dengan Standar Yang Di input .....	26
Gambar 2.15	Diagram Momen Menggunakan CEB FIP 78 .....	26
Gambar 2.16	Perbandingan Diagram Momen (CEB-FIP 78 dan ACI 78) .....	27
Gambar 2.17	Nilai Rangkak Berdasarkan Waktu (CEB-FIP 78 dan ACI 78) .....	27
Gambar 2.18	Perbandingan Nilai Defleksi Gelagar Antara Desain Perencanaan Dengan Hasil Pengukuran Di Lapangan. ....	28
Gambar 2.19	Bentang Jembatan Rion-Antrion .....	28
Gambar 2.20	Layout The Hongkong Shenzhen Cable Stayed Bridge .....	30
Gambar 2.21	Diagram Momen .....	33
Gambar 2.22	Diagram Momen Pada Gelagar .....	34
Gambar 2.23	Diagram Momen Pada Pilon .....	34
Gambar 2.24	Gaya-Gaya Pada Kabel .....	35
Gambar 2.25	Layout Jembatan .....	35
Gambar 2.26	Perbandingan Lendutan Vertikal Gelagar .....	36
Gambar 2.27	Perbandingan Tegangan Normal Gelagar .....	36
Gambar 2.28	Perbandingan Gaya-Gaya Kabel Antar 2 cara Pembangunan .....	37
Gambar 2.29	Idealisasi Tendon .....	38
Gambar 2.30	Balok Kantilever Beban Terbagi Merata .....	42
Gambar 2.31	<i>Post Tensioned</i> dari Kantilever Segmental .....	43
Gambar 2.32	<i>Upper and Lower Boundaries for Long-Term Bending Moments</i> .....	44
Gambar 2.33	Pengaruh Konstruksi Segmental Kantilever Pengecoran di Tempat .....	46
Gambar 2.34	Konstruksi <i>Balanced Cantilever</i> .....	59
Gambar 2.35	Metode Penempatan Progresif .....	60
Gambar 2.36	Traveler .....	62
Gambar 2.37	Skema Kerja <i>Short Launching Girder</i> .....	63

Gambar 2.38	Skema Kerja Peluncuran Panjang balok .....	64
Gambar 2.39	Penyebab Kantilever <i>Imbalance</i> .....	66
Gambar 2.40	Urutan Konstruksi: .....	68
Gambar 2.41	Urutan Konstruksi (lanjutan). .....	68
Gambar 2.42	Proses Pelaksanaan Jembatan Kao Ping Hsi .....	69
Gambar 2.43	Pelaksanaan Konstruksi Pilon .....	70
Gambar 2.44	Tahapan Konstruksi Gelagar .....	71
Gambar 2.45	Proses Penarikan Kabel .....	72
Gambar 2.46	Skema Urutan Pemasangan Jembatan Sungai Odra .....	72
Gambar 2.47	(a) Kantilever <i>carriage</i> (b) Kabel pendukung kantilever <i>carriage</i> .....	75
Gambar 2.48	Diagram Alir <i>Forward Assemblage Analysis</i> .....	76
Gambar 2.49	Diagram Alir <i>Backward Disassemblage Analysis</i> .....	78
Gambar 2.50	Konfigurasi Beban mati, Beban mati ( $w$ ), momen pada gelagar .....	80
Gambar 2.51	Simulasi Panjang Kabel .....	81
Gambar 2.52	Tiga Kasus Penarikan Kabel .....	82
Gambar 3.1a	Diagram Alir Penelitian .....	85
Gambar 3.1b	Diagram Alir Penelitian .....	86
Gambar 4.1	Layout Jembatan Suramadu .....	96
Gambar 4.2	Dimensi Pilon (satuan dalam mm) .....	97
Gambar 4.3	Skema Pelat Beton Pracetak dan Cor di tempat .....	100
Gambar 4.4	Kondisi Batas Jembatan Suramadu .....	100
Gambar 4.5	Ilustrasi Penarikan Kabel .....	105
Gambar 4.6	Foto-Foto Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Suramadu ...	106
Gambar 4.7	Analisa Tahapan Konstruksi .....	107
Gambar 4.8	Gaya Kabel SC ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	116
Gambar 4.9	Gaya Kabel MC ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	116
Gambar 4.10	Lendutan Gelagar SLB ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	119
Gambar 4.11	Lendutan Gelagar MLB ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	119
Gambar 4.12	Gaya Kabel SC ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	126
Gambar 4.13	Gaya Kabel MC ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	126
Gambar 4.14	Lendutan Gelagar SLB ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	129
Gambar 4.15	Lendutan Gelagar MLB ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	129
Gambar 4.16	Perbandingan Gaya Kabel (Non Komposit VS Komposit) .....	131
Gambar 4.17	Perbandingan Lendutan Gelagar (Non Komposit VS Komposit) .....	132
Gambar 4.18	Perbandingan Lendutan Gelagar (Non VS Komposit VS Control Level) .....	134
Gambar 4.19	Gaya Kabel Akhir Konstruksi .....	136
Gambar 4.20	Lendutan Gelagar Akhir Konstruksi .....	136
Gambar 4.21	Tegangan Gelagar Akhir Konstruksi .....	137
Gambar 4.22	Tegangan Pilon Akhir Konstruksi .....	137
Gambar 4.23	Tegangan Kabel Akhir Konstruksi .....	138
Gambar 4.24	Gaya Kabel SC ( <i>Backward</i> ) .....	145
Gambar 4.25	Gaya Kabel MC ( <i>Backward</i> ) .....	145
Gambar 4.26	Lendutan Gelagar ( <i>Backward</i> ) .....	148

Gambar 4.27	Gaya Kabel ( <i>Forward Assemblage Analysis</i> dan <i>Backward Disassemblage Analysis</i> ) .....	149
Gambar 4.28	Lendutan Gelagar ( <i>Forward Assemblage Analysis</i> dan <i>Backward Disassemblage Analysis</i> ) .....	151
Gambar 4.29	Koefisien Rangkak .....	153
Gambar 4.30	<i>Compressive Strength</i> .....	154
Gambar 4.31	Lendutan Gelagar (Code : ACI) .....	157
Gambar 4.32	Perbandingan Lendutan Gelagar SLB (CEB-FIP VS ACI) .....	158
Gambar 4.33	Perbandingan Lendutan Gelagar MLB (CEB-FIP VS ACI) .....	159

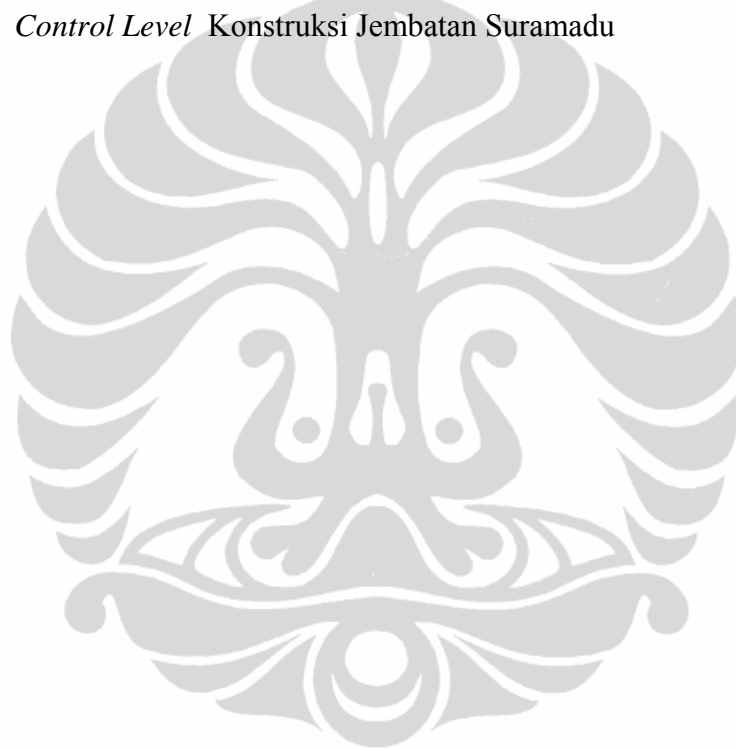


## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Rangkak Untuk Beton Normal .....	24
Tabel 2.2	Penyebab untuk <i>imbalance</i> kantilever .....	66
Tabel 3.1	Tahapan Pelaksanaan dan Analisis Jembatan <i>Cable Stayed</i> Suramadu .....	88
Tabel 4.1	Dimensi Gelagar .....	98
Tabel 4.2	Dimensi Kabel .....	99
Tabel 4.3	Beban Mati Tambahan .....	101
Tabel 4.4	Kombinasi Pembebanan .....	102
Tabel 4.5	Batas Tegangan Elemen Baja .....	103
Tabel 4.6	Data Gaya Kabel Jembatan (Desain) .....	103
Tabel 4.7	Gaya Kabel SC ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	111
Tabel 4.8	Gaya Kabel MC ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	113
Tabel 4.9	Lendutan Gelagar SLB ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	117
Tabel 4.10	Lendutan Gelagar MLB ( <i>Forward</i> – Non Komposit) .....	118
Tabel 4.11	Gaya Kabel SC ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	121
Tabel 4.12	Gaya Kabel MC ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	123
Tabel 4.13	Lendutan Gelagar SLB ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	127
Tabel 4.14	Lendutan Gelagar MLB ( <i>Forward</i> – Komposit) .....	128
Tabel 4.15	Gaya Kabel Akhir Konstruksi .....	135
Tabel 4.16	Gaya Kabel SC ( <i>Backward</i> ) .....	139
Tabel 4.17	Gaya Kabel MC ( <i>Backward</i> ) .....	141
Tabel 4.18	Lendutan Gelagar SLB .....	146
Tabel 4.19	Lendutan Gelagar MLB .....	147
Tabel 4.20	Lendutan Gelagar SLB ( <i>Forward</i> – Komposit – ACI) .....	155
Tabel 4.21	Lendutan Gelagar MLB ( <i>Forward</i> – Komposit – ACI) .....	156

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Gaya Kabel (Manual)
Lampiran 2	Geometri Jembatan Suramadu
Lampiran 3	Struktur Pilon Jembatan Suramadu
Lampiran 4	Struktur Gelagar Jembatan Suramadu
Lampiran 5	Struktur Kabel Jembatan Suramadu
Lampiran 6	Potongan Gelagar Tampak Atas
Lampiran 7	Tahapan Konstruksi Jembatan Suramadu
Lampiran 8	Kontrol Penarikan Kabel Jembatan Suramadu
Lampiran 9	<i>Control Level</i> Konstruksi Jembatan Suramadu





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pembangunan jembatan bentang panjang diperlukan mengingat pembangunan jembatan bentang besar yang akan menyeberangi sungai-sungai lebar dan yang akan menghubungkan pulau-pulau di nusantara sudah sangat dibutuhkan. Oleh karena itu, diperlukan penguasaan teknologi jembatan baik dari aspek peralatan, material maupun perencanaannya mutlak dibutuhkan. Dalam melakukan suatu perencanan jembatan bentang panjang seorang perencana disarankan untuk menggunakan dan menguasai teknologi material yang kuat dan ringan sehingga mampu menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan. Material kuat dan ringan tersebut yang sering dipakai pada konstruksi jembatan umumnya berupa komponen kabel baja atau *strand*. Teknologi material kabel ini mempunyai kinerja yang baik dan saat ini sudah banyak digunakan pada jembatan *cable stayed*.

Jembatan *cable stayed* merupakan jembatan yang terdiri dari elemen pylon, gelagar dan di dukung oleh kabel-kabel yang terhubung antara pylon dan gelagar. Kabel inilah yang akan menyalurkan gaya yang diperoleh dari gelagar atau lantai jembatan akibat beban mati dan beban lalu lintas yang bekerja untuk disalurkan ke pylon jembatan. Dalam mendesain jembatan tipe ini perlu dilakukan analisa jembatan secara menyeluruh dan konstruksi bertahap khususnya dalam pelaksanaan konstruksi jembatan. Dimana dalam pelaksanaan konstruksi jembatan setiap tahapan konstruksi, besarnya gaya-gaya dalam, tidak boleh melampaui kapasitas penampang dan pada tahap akhir pembebanan struktur jembatan, perpindahan titik puncak tower dan lendutan lantai jembatan harus memenuhi yang diisyaratkan dalam perencanaan.

Pada kasus jembatan sistem *cable-stayed*, pada tahap akhir dari pembebanan (beban konstruksi), *displacement* dari puncak tower harus sekecil mungkin dan masih dalam toleransi. Demikian pula dengan lendutan pada lantai jembatan.

Sebagai syarat, bahwa *displacement* dari lantai pada posisi “kabel” (*stay support*) akibat beban konstruksi bekerja harus sekecil mungkin. Dengan dicapainya lendutan pada posisi “kabel” yang kecil, bidang momen dari lantai jembatan menjadi optimun dan bahkan dapat dicapai kondisi momen positif hampir sama dengan momen negatif pada setiap peralihan antar *stay support*. Untuk mendapatkan kondisi tersebut di atas dapat dilakukan dengan mengaplikasikan gaya pratekan (gaya axial) pada kabel. Dengan cara demikian, setiap tahapan pelaksanaan konstruksi jembatan besarnya gaya pratekan dapat ditentukan.

Keberadaan struktur jembatan *cable stayed* untuk memenuhi kebutuhan akan struktur jembatan bentang panjang semakin diminati karena tingkat efisiensi jembatan baik dalam tahap pelaksanaan maupun pada masa layan. Pemilihan dimensi struktur baik kabel, gelagar dan pilon pada jembatan *cable stayed* sehingga memenuhi aspek masa pelaksanaan dan masa layan merupakan topik dasar penelitian tesis ini.

## 1.2 Perumusan Masalah

Jembatan tipe *cable stayed* mencakup aspek perencanaan dan pelaksanaan dalam satu kesatuan struktur. Berbagai aplikasi komputer membantu perencanaan jembatan *cable stayed* akan tetapi tidak semua memperhitungkan pengaruh tahapan pelaksanaan dengan ketergantungan waktu dalam pembangunan jembatan. Ciri khas jembatan *cable stayed* adalah urutan dan besaran awal dalam penarikan kabel yang memungkinkan pemasangan jembatan secara bertahap tanpa bantuan perancah. Tesis ini akan perhitungan pembangunan secara bertahap berdasarkan ketergantungan waktu (*time dependent*) jembatan *cable stayed* dengan studi kasus Jembatan Suramadu. Adapun perumusan masalah yang akan dikembangkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa Nilai lendutan gelagar dan gaya kabel di tiap tahapan konstruksi ?
2. Apakah ada perbedaan nilai lendutan gelagar, jika menggunakan Code CEB-FIP dan ACI ?
3. Apakah ada perbedaan nilai gaya kabel dan lendutan gelagar antara *Forward Assemblage Analysis* dengan *Backward Disassemblage Analysis* ?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengevaluasi perilaku struktur pada saat pelaksanaan bertahap menggunakan metode kantilever seperti besarnya gaya-gaya internal, tegangan, dan lendutan yang terjadi pada setiap tahapan konstruksi
2. Menganalisa pemodelan struktur pelat sebagai beban luar dan pelat sebagai struktur komposit dengan *Forward Assemblage Analysis*
3. Menghitung nilai lendutan gelagar menggunakan Code : CEB-FIP dan ACI dan diperbandingkan dengan data control level (data CCC)
4. Membandingkan nilai lendutan gelagar dan gaya kabel antara *Forward Assemblage Analysis* dengan *Backward Disassemblage Analysis*

### 1.4 Ruang Lingkup

Dalam melakukan penelitian ini terdapat ruang lingkup yang diambil oleh penulis. Berikut adalah ruang lingkup yang dilakukan dalam penelitian ini.

1. Studi perilaku jembatan semasa pelaksanaan dengan pembebanan disimulasikan sesuai dengan pembebanan yang terjadi.
2. Pembagian segmentasi jembatan berdasarkan pelaksanaan konstruksi yang dilaksanakan.
3. Studi perilaku jembatan terhadap daya layan (*Service Limite State – SLS*) dan pemenuhan kriteria kondisi ASD (*Allowable Stress Design*).

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dalam melakukan analisa adalah sebagai berikut :

1. Studi kasus jembatan *cable stayed* adalah Proyek Jembatan Suramadu.
2. Jembatan yang dianalisa hanya pada struktur atasnya.
3. Aplikasi komputer yang digunakan dalam desain adalah Program Midas/Civil.
4. Beban yang digunakan berdasarkan beban pelaksanaan konstruksi yang ada di setiap tahapan konstruksinya seperti berat sendiri elemen struktur, beban mati, dan berat dari alat pengangkat struktur (*crane*) sesuai dengan standar pembebanan JTG D60-2004.

5. Pengaruh beban angin tidak diperhitungkan dalam penganalisaan jembatan.
6. Kelembaban dan suhu adalah dianggap tetap
7. Bentuk penampang tetap atau sesuai dengan data perencanaan.



## BAB 2

### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

#### 2.1 Jembatan Bentang Panjang

Jembatan bentang panjang modern merupakan jembatan yang mempunyai bentang utamanya lebih besar dari 200 m yang merupakan batas atas dari standar jembatan yang diatur dalam peraturan Bina Marga [BMS'92]. Umumnya jembatan bentang panjang digantung dengan menggunakan kabel, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk memenuhi kebutuhan akan jembatan dengan bentang yang panjang, jembatan mengalami perkembangan dari bentuk dan material pendukungnya. Tipe jembatan itu disebut *suspended-span bridges*, yaitu *cable-stayed* dan *suspension*. Gambar 2.1 dan 2.2 di bawah ini memvisualisasikan bentuk dari jembatan *suspension* dan jembatan *cable stayed*



Gambar 2.1 Jembatan *Suspension* Menai



Gambar 2.2 Jembatan *Cable-Stayed* Sun Sky

Titik balik penting dalam evolusi jembatan *suspension* terjadi pada awal abad ke-19 di Amerika, yaitu pada saat James Findley membangun jembatan

untuk pertama kali pada tahun 1810 di Jacobs Creek, Uniontown, Pennsylvania dengan menggunakan rantai besi fleksibel. Inovasi Findley bukanlah kabelnya melainkan penggunaan gelagar jembatan yang diperkaku, yang pengakunya diperoleh dengan menggunakan rangka batang kayu. Dengan inovasi ini dimulailah penggunaan jembatan *suspension* modern. Inovasi Findley dilanjutkan dengan Thomas Telford di Inggris dengan mendesain Jembatan Menai Straits pada tahun 1818-1826. Jembatan Menai Straits merupakan jembatan *suspension* modern pertama yang dibangun.

Jembatan *cable-stayed* digunakan secara luas terutama di Eropa bagian barat dan beberapa negara lain. Keberhasilan penggunaan sistem *cable-stayed* dicapai dengan ditemukannya baja berkekuatan tinggi dan tipe gelagar orthotropik, juga kemajuan teknik las. Kemajuan pengetahuan yang secara luas dan tidak terbatas memungkinkan penyelesaian analisa statis tak tentu menggunakan media tiga dimensi. Perkembangan awal jembatan *cable-stayed* dengan berdirinya Jembatan Saint Nazaire pada tahun 1974 yang melintas di atas sungai Loire, Perancis. Jembatan ini menggunakan gelagar baja dengan bentuk *stream line* dan tower berbentuk A.

Kelebihan jembatan *cable-stayed* antara lain rasio panjang bentang utama dan tinggi pilon yang lebih ekonomis. Keuntungan yang menonjol dari *cable-stayed* adalah tidak diperlukan pengangkuran kabel yang berat dan besar seperti jembatan gantung. Gaya-gaya angkur pada ujung kabel bekerja secara vertikal dan biasanya diseimbangkan dengan berat dari pilar dan pondasi tanpa menambah biaya konstruksi lagi. Komponen horisontal gaya pada kabel dilimpahkan pada struktur atas gelagar berupa gaya tekanan dan tarikan yang tergantung pada jenis perletakan yang ada di kepala jembatan.

## **2.2 Jembatan Cable Stayed**

### **2.2.1 Pengertian Jembatan Cable Stayed**

Jembatan *cable stayed* adalah struktur yang mempunyai sederetan kabel lurus dan memikul elemen horisontal kaku (misalnya balok atau rangka batang). Jembatan *cable stayed* terdiri atas sistem struktur yang meliputi suatu gelagar orthotropik dan balok gelagar menerus yang didukung oleh penunjang, berupa

kabel yang dibentang miring dan dihubungkan ke menara sebagai tunjangan utamanya. Kabel-kabel tersebut umumnya menyebar dari satu atau lebih tiang tekan penyangga (pilon). Keseluruhan sistem dapat mempunyai bentang besar tanpa harus menggunakan kabel lengkung yang rumit. Dewasa ini, banyak struktur jembatan yang dibangun dengan cara demikian, begitu pula dengan gedung-gedung. Untuk jembatan dengan bentang yang cukup panjang diperlukan struktur kabel (*cable-stayed*) yang berfungsi sebagai penghubung antara gelagar ke pilon dalam memikul sebagian besar dari beban jembatan yang kemudian dilimpahkan ke pondasi.

Maksud pengembangan teknologi kabel ialah merangkai bentang-bentang pendek menjadi satu bentang panjang yang mempunyai kekuatan memadai untuk memikul berat sendiri dan lalu lintas yang melewati jembatan. Dwi fungsi sistem *cable-stayed* adalah sebagai perletakan antara dari bentangan gelagar pengaku dan sekaligus sebagai unsur penahan untuk stabilitas menara.

Dalam pelaksanaan konstruksi jembatan, setiap tahapan konstruksi, besarnya gaya-gaya dalam, tidak boleh melampaui kapasitas penampang dan pada tahap akhir pembebanan, perpindahan titik puncak tower dan lendutan lantai jembatan harus memenuhi yang disyaratkan dalam perencanaan.

Pada kasus jembatan sistem *cable-stayed*, pada tahap akhir dari pembebanan (beban konstruksi), *displacement* dari puncak tower harus sekecil mungkin dan masih dalam toleransi. Demikian pula dengan lendutan pada lantai jembatan. Sebagai syarat, bahwa *displacement* dari lantai pada posisi kabel (*stay support*) akibat beban konstruksi bekerja harus sekecil mungkin. Dengan dicapainya lendutan yang kecil maka bidang momen dari lantai jembatan menjadi optimum dan bahkan dapat dicapai kondisi momen positif hampir sama dengan momen negatif pada setiap peralihan antar tumpuan kabel.

Untuk mendapatkan kondisi tersebut di atas dapat dilakukan dengan mengaplikasikan gaya pratekan (gaya aksial) pada kabel. Dengan cara demikian, setiap tahapan pelaksanaan konstruksi jembatan besarnya gaya pratekan dapat ditentukan. Pada analisa struktur jembatan sistem *cable-stayed*, metode konstruksi akan menentukan tahapan analisa.

Jembatan *cable-stayed* modern menyajikan suatu sistem tiga dimensi, secara umum, gelagar dapat berupa box beton atau suatu sistem gabungan struktur baja yang membingkai gelagar, struktur komposit balok lantai melintang, dan sebuah gelagar beton. Bagian-bagian pendukung seperti pilon dan kabel yang melintang dengan gaya tariknya. Pada umumnya pilon terbuat dari beton pada beberapa tipenya. Karakteristik yang penting dari struktur tiga dimensi adalah keikutsertaan penuh kerja pada konstruksi melintang dalam struktur utama arah longitudinal. Ini berarti sangat perlu ditingkatkan momen inersia konstruksinya, yang mengijinkan suatu pengurangan tinggi balok gelagar. Gelagar orthotropik untuk jembatan *cable-stayed* jarang digunakan sekarang ini, sebab secara umum mahal dan pengerjaan pengelasannya harus dilakukan dengan intensif.

### 2.2.2 Konfigurasi Jembatan *Cable Stayed* Suramadu

Dari kutipan karya ilmiah yang ditulis oleh Made Suangga dengan judul Konsep Desain Jembatan *Cable Stayed* Suramadu untuk pemilihan sistem struktur jembatan, di samping mempertimbangkan aspek teknis, juga dipertimbangkan aspek biaya pembangunan, kemampuan bentang sistem struktur jembatan tertentu dan metode pelaksanaan yang dapat dilakukan. Panjang bentang jembatan ditentukan oleh

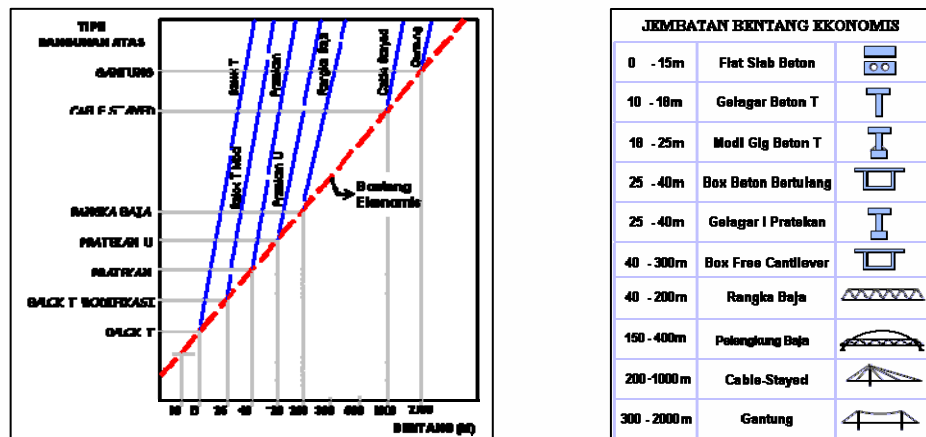
- a. Biaya konstruksi jembatan, kesulitan pelaksanaan
- b. Persyaratan navigasi di bawah jembatan

Prinsip umum yang digunakan dalam penentuan bentang jembatan dari aspek ekonomi adalah bahwa bentang optimum tercapai pada kondisi dimana biaya struktur atas sama dengan struktur bawah (pilar dan pondasi).

Untuk bentang yang panjang, misalnya pada jembatan yang menyeberangi sungai yang memerlukan pondasi yang dalam, prinsip di atas tidak selalu dapat diterapkan. Karena biaya pondasi yang tinggi akan menyebabkan panjang *span* optimal menjadi panjang yang mengakibatkan kesulitan pelaksanaan. Pilar yang dibangun di atas sungai akan mempengaruhi aliran sungai, sehingga pada kasus tersebut jumlah bentang sebaiknya dibuat seminimal mungkin.

Berdasarkan literatur mengenai konstruksi jembatan, bentang optimum yang ekonomis dapat dikembangkan seperti gambar 2.3 di bawah ini.





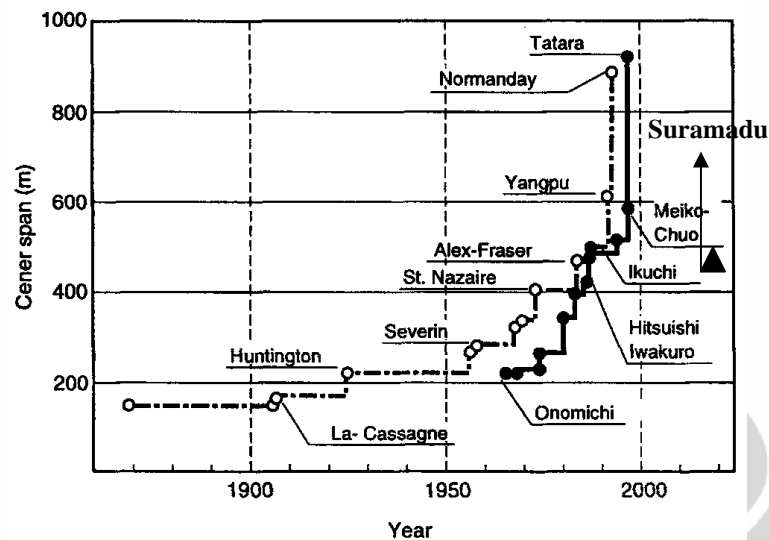
Gambar 2.3 Bentang ekonomis jembatan

Selain bentang ekonomis di atas, penentuan konfigurasi jembatan juga dipengaruhi oleh aspek-aspek berikut.

- Lokasi jembatan dipilih pada jarak terpendek antara dua lokasi
- Bahan konstruksi jembatan dipilih yang biaya perawatannya selama umur rencana jembatan termurah
- Pemilihan sistem konstruksi jembatan harus mempertimbangkan agar lokasi pilar di laut tidak mengganggu alur pelayaran
- Kondisi tanah sebagai pendukung pondasi jembatan dan kedalaman dasar laut dapat menentukan lokasi penempatan pilar yang akan mempengaruhi juga pemilihan sistem konstruksi jembatan. Maka pelaksanaan pemancangan sebaiknya dilakukan dengan jumlah yang sedikit mungkin. Dalam hal ini pemilihan bentang jembatan menjadi faktor yang penting.
- Topografi dan Hidrografi dari dasar laut juga menjadi faktor utama dalam menentukan sistem struktur jembatan
- Estetika bentuk jembatan harus serasi dengan alam dan lingkungannya

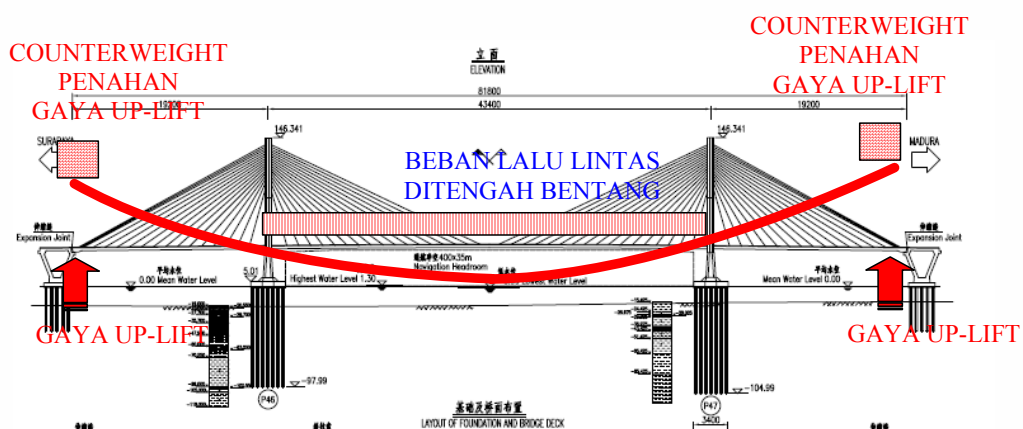
Dengan mempertimbangkan kebutuhan ruang bebas horisontal 400 m, maka pemilihan tipe Jembatan *Cable Stayed* sudah mengacu kepada bentang ekonomis sebagaimana disajikan pada gambar 2.3 di atas. Pemilihan tipe jembatan *cable stayed* juga kan memberikan suatu struktur yang dapat menjadi *Land Mark* di kawasan sekitarnya sebagaimana dipersyaratkan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Timur.

Dengan pertimbangan untuk meminimalkan perubahan terhadap desain awal, maka konfigurasi bentang jembatan *cable stayed* Suramadu dibuat menjadi 192 m + 434 m + 192 m. Perbandingan panjang bentang jembatan *Cable Stayed* Suramadu dengan jembatan lainnya dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini



Gambar 2.4 Bentang Jembatan Cable Stayed di Dunia

Konfigurasi bentang Jembatan Suramadu di atas, akan menyebabkan kondisi asimetris terhadap pylon dimana setengah panjang bentang tengah lebih besar dari panjang bentang tepi. Hal ini akan berpotensi menyebabkan gaya angkat pada ujung jembatan. Gaya angkat ini merupakan sesuatu hal yang tidak diharapkan. Untuk kasus Jembatan Suramadu hal ini diatasi dengan memberikan pemberat/*counterweight* pada ujung jembatan. Skema pemberian *counterweight* pada Jembatan Suramadu seperti di tunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Counterweight* Penahan Gaya Uplift

### 2.3 Komponen Jembatan *Cable-Stayed*

Pada umumnya komponen utama jembatan *cable-stayed* terdiri atas gelagar, kabel, dan menara atau pylon. Masing-masing bagian mempunyai berbagai tipe dan bentuk yang bermacam-macam yang digunakan sesuai fungsinya. Setiap komponen jembatan *cable-stayed* saling berhubungan dimana kabel memikul beban dari gelagar jalan raya beserta lalu lintasnya kemudian beban tersebut ditransfer ke menara dan dilimpahkan ke pondasi jembatan. Di bawah ini akan diuraikan beberapa tipe dan bentuk dari komponen utama jembatan *cable-stayed*.

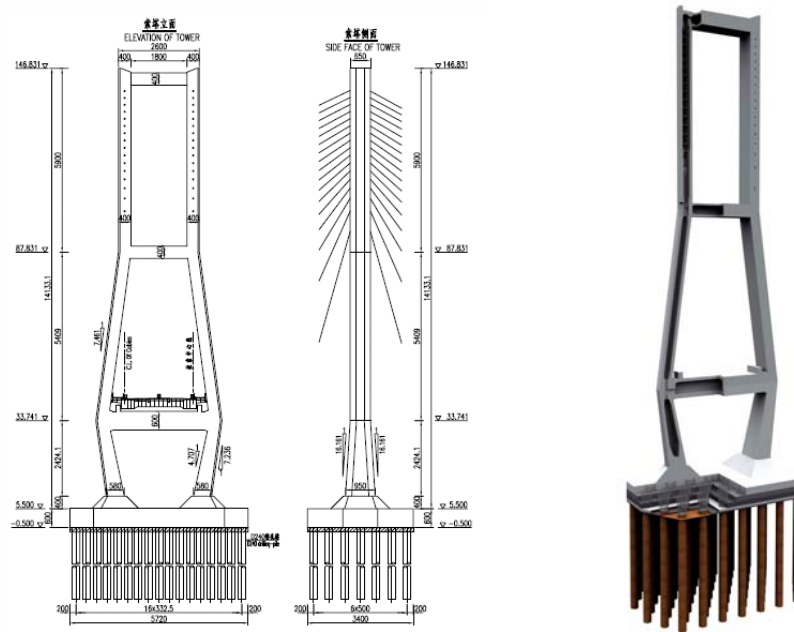
#### 2.3.1 Menara atau Pylon

Perencanaan pylon merupakan hal yang sangat penting dan mendasar yang akan mempengaruhi estetika, keekonomisan serta perilaku struktur dari jembatan. Pylon akan menerima gaya dari gelagar yang disalurkan melalui kabel. Secara prinsip pemakaian beton pada pylon mempunyai dasar yang kuat mengingat pylon akan mengalami gaya tekan yang besar.

Bentuk dasar Tower Jembatan *Cable Stayed* ada beberapa macam, seperti ditampilkan pada gambar 2.6 di bawah. Tipe diamond dipilih untuk digunakan dalam proyek Jembatan Suramadu seperti di tunjukkan pada gambar 2.7.(Suangga, M. Konsep Desain Jembatan *Cable Stayed* Suramadu [25]).



Gambar 2.6 Bentuk Dasar Pylon Jembatan *Cable Stayed*



Gambar 2.7 Pilon Jembatan Suramadu

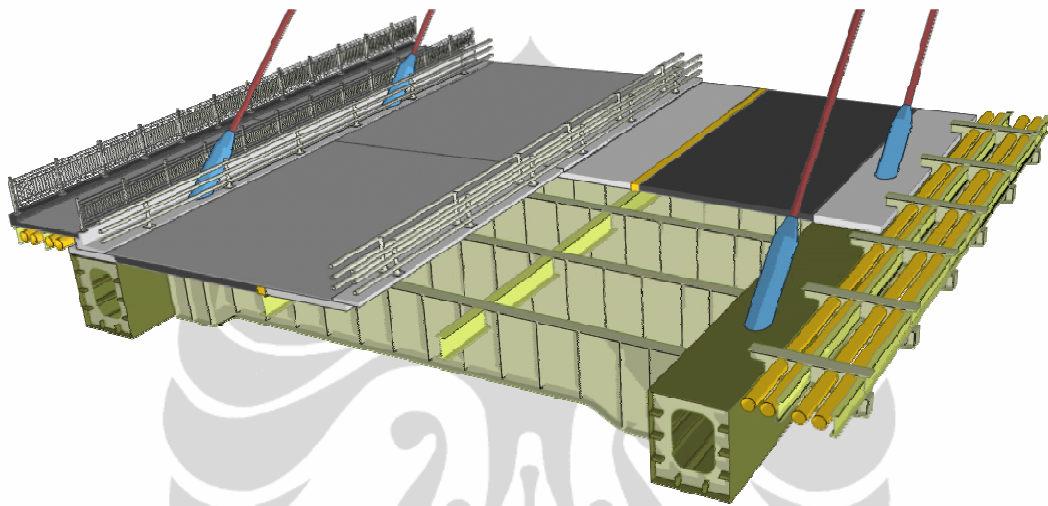
### 2.3.2 Gelagar

Untuk jembatan kabel seperti Jembatan *Cable Stayed* dan Jembatan Suspensi, material struktur atas dapat terbuat dari beton, baja, dan komposit. Struktur atas terbuat dari beton biasanya digunakan untuk bentang sampai dengan 350 meter dengan pertimbangan biaya pelaksanaan yang lebih murah. Untuk bentang yang lebih panjang, pemakaian beton pada gelagar jembatan akan menyebabkan penambahan berat sendiri yang pada akhirnya akan mempengaruhi dimensi elemen jembatan yang lain seperti kabel, pilon, dan pondasi. Dengan pertimbangan tersebut, pada bentang yang lebih dari 500 meter umumnya digunakan gelagar jembatan baja. Diantaranya dapat digunakan material komposit baja dan beton.

Kelebihan lain dari struktur komposit tersebut adalah kemudahan dalam hal pelaksanaan pekerjaan. Pada kasus Jembatan Tatara di Jepang, bentang tengah terbuat dari box baja sedangkan bentang tepi terbuat dari box beton. Hal ini akan membantu mengatasi gaya-gaya *unbalance* dan gaya angkat pada bentang tepi.

Aspek penting lainnya dari gelagar jembatan adalah kekakuan torsional. Kekakuan torsional yang baik akan menyebabkan kestabilan yang lebih baik dari jembatan terhadap beban dinamik angin.

Untuk kasus Jembatan Suramadu digunakan *Double Box Girder* baja komposit yang akan memberikan kekakuan torsi yang lebih baik selain kemudahan pelaksanaan pekerjaan seperti gambar 2.8 (Suangga, M. Konsep Desain Jembatan *Cable Stayed* Suramadu [25]).



Gambar 2.8 Penampang Jembatan *Cable Stayed* Suramadu

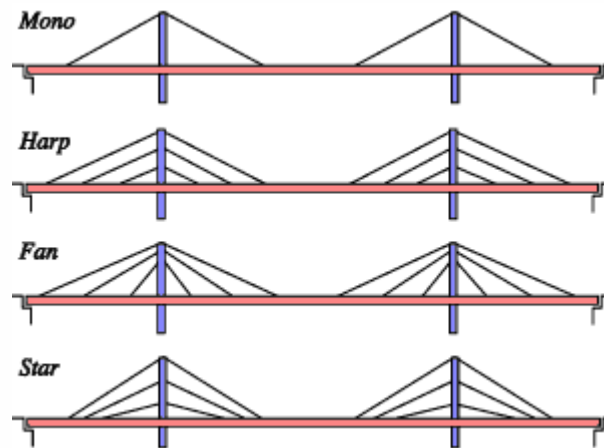
### 2.3.3 Kabel

Berkaitan dengan penempatan kabel, umumnya digunakan 2 alternatif jumlah bidang kabel yaitu

- *Single plane*
- *Double plane*

*Single plan* digunakan untuk jembatan dengan lebar yang relatif kecil serta jumlah lajur lalu lintas yang genap. Dengan mempertimbangkan lebar jembatan *cable stayed* Suramadu adalah 30 m, maka digunakan sistem *double plane*.

Kabel diletakan pada dua buah bidang sisi luar lebar jembatan, memencar dari tower pilon ke sisi luar jembatan. Pemencaran kabel dari puncak pilon dipilih beberapa cara pengaturan letak kabel arah longitudinal jembatan, antara lain seperti ditampilkan pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Konfigurasi Kabel Jembatan Cable Stayed

Menurut kutipan karya ilmiah yang ditulis oleh Made Suangga dengan judul Konsep Desain Jembatan *Cable Stayed*, konfigurasi kabel di tower dipilih bentuk kipas, dengan pertimbangan :

- Bentuk radial tidak dipilih, karena anker dan kabel di puncak tower pada satu elevasi akan bertumpuk dan memerlukan pelebaran kepala tower. Selain itu pemeliharaan anker kabel sulit dilakukan karena kabel pertemuan pada 1 (satu) titik puncak tower.
- Bentuk sejajar tidak dipilih, karena sistem ini akan memerlukan tower yang sangat tinggi dan struktur yang berat.
- Bentuk bidang tidak dipilih, karena sistem ini hanya untuk bentang jembatan yang tidak panjang.
- Letak kabel yang membentuk sudut terhadap garis horisontal dengan arah longitudinal dan melintang (*transversal*) jembatan akan memberikan komponen gaya kabel pada 3 arah, yaitu arah vertikal, longitudinal, dan *transversal* terhadap jembatan.

#### 2.4 Perencanaan Jembatan *Cable Stayed*

Ada dua cara yang harus diperhatikan dalam perencanaan jembatan *cable stayed* yaitu pengaturan gaya-gaya kabel dan elevasi dari gelagar jembatan (Danjian Han, Quansheng Yan, South China University of Technology, [6] ). Pengaturan gaya kabel dapat mengubah kekuatan internal dan konfigurasi struktur

sementara sedangkan pengaturan elevasi gelagar hanya akan mengubah panjang kabel dan tidak mendorong perubahan dalam kekuatan internal struktur. Selain itu, perencanaan jembatan *cable stayed* harus dilakukan analisa tahapan konstruksi berdasarkan waktu.

#### **2.4.1 Menghitung Gaya-Gaya Pada Kabel**

Untuk jembatan *cable stayed*, tegangan yang terjadi pada struktur akibat beban mati ditahan oleh gaya tarik kabel. Gaya tarik kabel inilah yang dapat mengurangi momen lentur pada gelagar dan pilon jembatan. Sehingga struktur gelagar dan pilon hanya akan menerima gaya tekan akibat beban mati yang bekerja pada struktur.

Dalam masa konstruksi, tiap segmen pemasangan gelagar ditahan oleh sistem kabel dan penempatan kabel pendukung yang direncanakan harus sesuai dengan berat tiap segmen dalam arah longitudinal jembatan. Pada tahap akhir pelaksanaan jembatan pengaruh akibat beban mati tambahan seperti perkerasan jalan, pembatas jalan, trotoar dan beban lalu lintas dimasukkan dalam analisa perhitungan. Untuk jembatan *cable stayed* sistem pratekan, pengaruh jangka panjang akibat susut dan rangkai pada beton juga harus dipertimbangkan. Di bawah ini adalah beberapa metode yang digunakan dalam memperhitungkan gaya kabel.

##### **A. Metode Perletakan Balok Sederhana**

Asumsikan bahwa tiap kabel pendukung mampu menahan berat sendiri dari satu segmen gelagar dalam arah longitudinal sehingga dapat diperhitungkan gaya kabel yang harus direncanakan. Selain itu, perlu juga dihitung beban mati tambahan seperti perkerasan jalan, trotoar, pembatas jalan, dan lain-lain. Biasanya metode ini digunakan oleh perencana dalam proses pengajuan tender dan tahap awal perencanaan dengan pertimbangan metode ini lebih sederhana dan mudah dalam perhitungan secara manual (menggunakan perhitungan analisa struktur biasa) sehingga dapat diperkirakan besarnya gaya kabel dan luas kabel yang dibutuhkan. Untuk tipe jembatan *cable stayed* dengan susunan asimetrik pada bentang utama dan samping nya maka metode ini sudah tidak

dapat dipergunakan lagi karena perlu adanya perhitungan akibat kemungkinan momen lentur yang cukup besar pada struktur gelagar dan pylon.

## B. Metode Balok Menerus dan Perletakan Kaku

Dengan mengasumsikan beban mati yang bekerja pada gelagar berperilaku seperti balok menerus dan perletakan pada gelagar adalah kaku akibat pemasangan kabel. Tarikan pada kabel yang diangkur memungkinkan tidak akan terjadi momen lentur yang besar pada struktur pylon. Metode ini secara umum digunakan dalam mendesain jembatan *cable stayed*. Dalam menghitung besar gaya kabel, momen yang berkerja pada gelagar adalah kecil dan biasanya terbagi merata pada keseluruhan segmen. Kasus ini sangat menguntungkan untuk tipe jembatan *cable stayed* sistem pratekan karena distribusi gaya internal akibat pengaruh rangkai pada beton dapat berkurang.

## C. Metode Optimasi

Dalam metode optimasi untuk menghitung tegangan pada kabel akibat beban-beban permanen (beban tetap) dipilih karena dapat meminimalisasi material yang digunakan pada gelagar dan pylon. Ketika terjadi gaya-gaya internal seperti momen lentur yang bekerja adalah kecil dan terbagi merata ke seluruh segmen maka kuantitas material yang dibutuhkan mendekati nilai minimum. Begitu juga dengan tegangan dan defleksi yang terjadi pada struktur tersebut. Dalam jembatan *cable stayed*, deformasi geser pada gelagar dan pylon diabaikan sehingga diperoleh nilai energi regangan seperti rumus di bawah ini.

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{M^2}{EI} dx + \frac{1}{2} \int_0^L \frac{N^2}{EA} dx \quad \dots\dots\dots [2.1]$$

dimana EI adalah kekakuan gelagar dan pylon dan EA adalah kekakuan aksial. Bentuk lain dari persamaan di atas untuk pemodelan elemen hingga pada struktur adalah sebagai berikut

$$U = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{4Ei} \left( \frac{M_{il}^2 + M_{ir}^2}{l_i} + \frac{N_{il}^2 + M_{ir}^2}{A_i} \right) \quad \dots\dots\dots [2.2]$$



dimana N adalah banyaknya elemen dari gelagar dan pylon,  $L_i$  adalah panjang dari  $i_{th}$  elemen, E adalah modulus elastisitas,  $I_i$  dan  $A_i$  adalah momen inersia dan luas penampang.  $M_{ir}$ ,  $M_{il}$ ,  $N_{ir}$ ,  $M_{il}$  adalah gaya momen dan normal dari segmen awal sampai dengan akhir.

Dalam mengaplikasikan beban mati dan gaya kabel akibat gaya momen lentur dan normal dari gelagar dan pylon diberikan seperti rumus di bawah ini.

$$\{M\} = \{M_D\} + \{M_P\} = \{M_D\} + \{S_M\} * \{P_O\} \quad \dots\dots\dots[2.3]$$

$$\{N\} = \{N_D\} + \{N_P\} = \{N_D\} + \{S_N\} * \{P_O\} \quad \dots\dots\dots[2.4]$$

dimana  $\{M_D\}$  dan  $\{M_P\}$  adalah vektor momen lentur akibat beban mati dan gaya-gaya kabel;  $[S_M]$  adalah matriks momen pengaruh;  $[S_N]$  adalah matriks gaya normal pengaruh, komponen  $S_{ij}$  merupakan matriks yang mewakili perubahan dari momen dan gaya normal dalam elemen awal  $i_{th}$  dan akhir  $j_{th}$  dari unit gaya kabel.  $\{N_D\}$ ,  $\{N_P\}$  adalah vektor gaya normal akibat beban mati dan gaya kabel.  $\{P_O\}$  adalah vektor dari gaya-gaya kabel.

Hubungan perpindahan dari gelagar dan pylon adalah sebagai berikut

$$\{F\} = \{F_D\} + \{F_P\} = \{F_D\} + \{S_F\} * \{P_O\} \quad \dots\dots\dots[2.5]$$

Dimana  $\{F\}$  adalah vektor perpindahan,  $\{S_F\}$  adalah matriks pengaruh perpindahan,  $\{F_D\}$  dan  $\{F_P\}$  adalah vektor perpindahan akibat beban mati dan gaya-gaya kabel.

Substitusi dari persamaan [2.4] dan [2.5] ke dalam persamaan [2.3] dirumuskan kembali seperti di bawah ini.

$$\{\overline{M}\} = [A]\{M\}, \{\overline{N}\} = [B]\{N\} \quad \dots\dots\dots[2.6]$$

dimana [A] dan [B] adalah matriks-matriks diagonal

$$[A] = \text{Diag} \left[ \sqrt{\frac{L_1}{4E_1I_1}}, \sqrt{\frac{L_2}{4E_2I_2}}, \dots, \sqrt{\frac{L_n}{4E_nI_n}} \right] \quad \dots\dots\dots[2.7]$$

$$[B] = \text{Diag} \left[ \sqrt{\frac{L_1}{4E_1A_1}}, \sqrt{\frac{L_2}{4E_2A_2}}, \dots, \sqrt{\frac{L_n}{4E_nA_n}} \right] \quad \dots\dots\dots[2.8]$$

Energi regangan dari jembatan *cable stayed* dapat dihitung berdasarkan matriks berikut

$$U = \{P_o\}^T [\bar{S}]^T [\bar{S}] \{P_o\} + 2\{\bar{P}_D\}^T [\bar{S}] \{P_o\} + \{\bar{P}_D\}^T \{\bar{P}_D\} \quad \dots\dots\dots[2.9]$$

dimana :  $[\bar{S}] = (\bar{S}_M, \bar{S}_N)^T = [A, B](S_M, S_N)^T$ ,  $\{\bar{P}_D\} = \{M_D, N_D\}^T$

Untuk mengetahui nilai minimal dari energi regangan pada struktur :

$$\frac{\partial U}{\partial P_o} = 0 \quad \dots\dots\dots[2.10]$$

Dengan mengikuti kondisi-kondisi batas :

1. Batas tegangan pada girder dan pylon harus mencukupi persyaratan

$$\{\sigma\}_L \leq \{\sigma\} \leq \{\sigma\}_U \quad \dots\dots\dots[2.11]$$

dimana  $\{\sigma\}$  adalah vektor tegangan maksimum dan  $\{\sigma\}_L$ ,  $\{\sigma\}_U$  adalah vektor dari *lower* dan *upper bounds*.

2. Tegangan pada kabel dibatasi sehingga kabel dapat bekerja secara normal

$$\{\sigma\}_{LC} \leq \left\{ \frac{P_{OC}}{A_C} \right\} \leq \{\sigma\}_{UC} \quad \dots\dots\dots[2.12]$$

dimana  $A_C$  adalah luas area kabel,  $P_{OC}$  adalah gaya kabel dan  $\{\sigma\}_{LC}$ ,  $\{\sigma\}_{UC}$  mewakili *lower* dan *upper bounds*.

3. Batas perpindahan dari gelagar dan pylon

$$\{D_i\} \leq \{\Delta\} \quad \dots\dots\dots[2.13]$$

dimana bagian kiri dari persamaan [2.13] mempunyai nilai vektor perpindahan maksimum yang absolut dan bagian kanan adalah nilai batas vektor perpindahan yang diijinkan.

Persamaan [2.9] dan [2.10] dalam hubungannya dengan persamaan [2.11] sampai dengan [2.13] adalah standar kuadratik masalah pemrograman dengan kondisi batasnya. Hal ini dapat diselesaikan dengan metode matematika sederhana.

Ketika gaya-gaya kabel yang dihitung akibat beban mati menggunakan metode optimasi yang setara dengan nilai gaya kabel dimana efek redistribusi

dalam struktur akibat rangkai beton diminimalkan maka metode optimasi digunakan untuk desain jembatan *cable stayed* pratekan.

#### 2.4.2 Pemodelan Konstruksi Bertahap Jembatan Berdasarkan Waktu

Struktur sipil seperti jembatan gantung, jembatan *cable stayed* atau jembatan pratekan memerlukan analisis untuk menyelesaikan struktur secara keseluruhan dan perhitungan struktur selama masa konstruksi. Setiap struktur sementara pada tahap konstruksi sangat mempengaruhi tahap berikutnya. Pemasangan kabel dan perancah pada struktur perlu mempertimbangkan kestabilan struktur. Perilaku struktur terus mengalami perubahan selama konstruksi yang dipengaruhi oleh sifat bahan seperti modulus elastisitas dan kekuatan tekan yang berbeda-beda di setiap tahapnya. Hal ini menyebabkan terjadinya distribusi tegangan dan defleksi yang berubah-ubah selama dan setelah konstruksi yang bergantung pada rangkai, susut, relaksasi tendon, dan perpanjangan elastisitas pada beton. Karena perubahan konfigurasi elemen struktur yang mengalami perubahan terus-menerus dengan beban yang berbeda dan kondisi batas dari masing-masing tahap konstruksi akan mempengaruhi tahap berikutnya. Dengan demikian diperlukan analisa tahap konstruksi berdasarkan waktu untuk memeriksa setiap tahap konstruksi. Program Midas/Civil mempertimbangkan aspek-aspek berikut untuk tahap analisis konstruksi :

Ketergantungan Waktu terhadap sifat bahan

- a. Rangkai di material beton memiliki nilai yang berbeda
- b. Penyusutan dalam elemen beton memiliki nilai yang berbeda
- c. Kekuatan tekan beton berdasarkan fungsi dari waktu
- d. Relaksasi akibat kabel pratekan

Kondisi pada tahap konstruksi

- a. Pengaktifan dan penonaktifan dari elemen-elemen tertentu
- b. Aktivasi dan penonaktifan beban pada waktu tertentu
- c. Perubahan kondisi batas

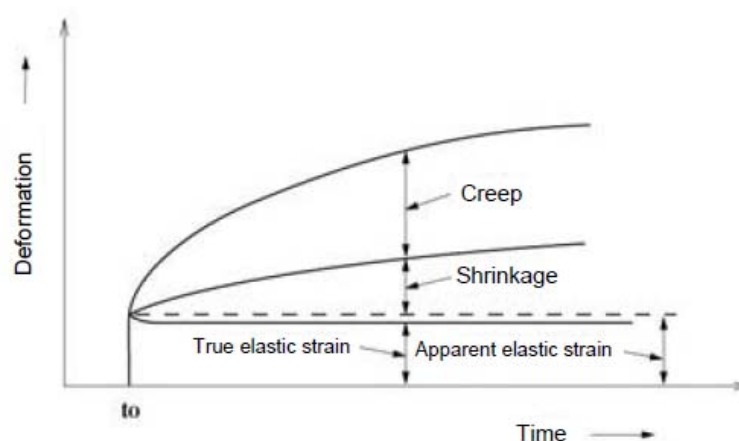
Prosedur yang digunakan dalam Midas/Civil dalam menganalisa konstruksi bertahap pada suatu struktur :

- a. Buat model geometri struktur. Tetapkan elemen, beban dan kondisi batas harus diaktifkan atau dinonaktifkan untuk setiap tahap konstruksi bersama-sama sebagai sebuah kelompok.
- b. Tentukan ketergantungan waktu sifat-sifat material seperti rangkai dan penyusutan. Penganalisan waktu tergantung sifat bahan dapat didefinisikan dengan menggunakan standar seperti sebagai ACI atau CEB-FIP, atau dapat digunakan standar lainnya.
- c. Menghubungkan waktu yang ditetapkan tergantung sifat-sifat material ke material bahan. Dengan melakukan ini, perubahan-perubahan dalam sifat-sifat material yang relevan anggota beton secara otomatis dihitung.
- d. Mengingat urutan konstruksi yang sebenarnya, menghasilkan konstruksi tahapan dan langkah-langkah waktu.
- e. Tentukan tahapan konstruksi dengan menggunakan kelompok-kelompok elemen, kondisi batas dan beban yang ditetapkan sebelumnya.
- f. Melaksanakan analisis struktural setelah menentukan kondisi analisis yang diinginkan.
- g. Menggabungkan hasil analisis tahap konstruksi dan analisa struktur setelah seluruh tahap konstruksi selesai.

#### **A. Ketergantungan Waktu terhadap sifat bahan**

MIDAS/Sipil dapat memodelkan sifat-sifat beton yang tergantung waktu seperti rangkai, susut dan kekuatan tekannya. Rangkai dan susut secara bersamaan terjadi dalam struktur seperti disajikan pada gambar 2.10. Untuk analisis dan tujuan desain, perpendekan elastis, rangkai dan susut dianggap secara terpisah. Regangan elastis yang ditunjukkan pada gambar mewakili pengurangan regangan elastis sebagai akibat dari kekuatan beton berdasarkan waktu. Dalam kebanyakan kasus, regangan elastis yang terjadi dipertimbangkan dalam analisis. Program MIDAS/Civil juga mampu menganalisa tegangan yang terjadi berdasarkan fungsi waktu.

Rangkak yang menyebabkan deformasi dalam elemen struktur merupakan fungsi dari tegangan yang berkelanjutan dan menghasilkan kekuatan beton yang berdeformasi relatif terhadap kekuatan yang lebih rendah beton di bawah tagangan yang diijinkan. Besarnya rangkak yang menyebabkan deformasi yaitu 1.5 ~ 3,0 kali lipat dibandingkan deformasi elastis. Sekitar 50 % dari total rangkak deformasi terjadi dalam beberapa bulan pertama, dan mayoritas rangkak deformasi terjadi pada sekitar 5 tahun.



Gambar 2.10 Deformasi Beton Berdasarkan Waktu

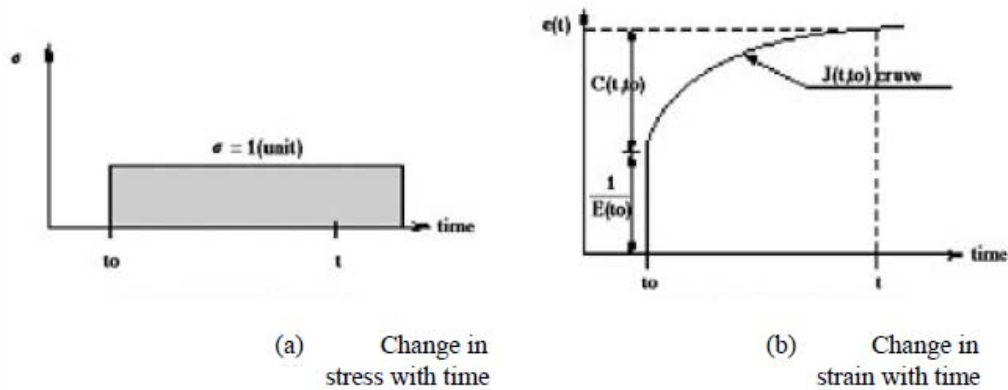
Rangkak dalam beton dapat bervariasi dengan faktor-faktor berikut:

- a. Kenaikan air/semen meningkat rasio rangkaknya.
  - b. Rangkak berkurang dengan peningkatan usia dan kekuatan beton bila beton yang mengalami tegangan.
  - c. Rangkak deformasi meningkat dengan kenaikan temperatur dan penurunan kelembaban.
  - d. Ini juga tergantung pada banyak faktor lain yang berkaitan dengan mutu beton dan kondisi luaran seperti jenis, jumlah, dan ukuran maksimum agregat jenis semen, jumlah pasta semen, ukuran dan bentuk
- Kebanyakan bahan mempertahankan nilai rangkak. Namun, ini lebih terlihat pada bahan beton dan memberikan kontribusi bagi pengurangan tegangan terhadap waktu. Dalam struktur beton normal, beban mati yang terus menerus menyebabkan rangkak, sedangkan penambahan rangkak terjadi pada beton pratekan yang mempengaruhi pengaruh dari beton pratekannya. Jika satuan tegangan aksial  $\sigma = 1$  pada suatu jenis beton

dengan umur  $t_0$  maka hasil regangan aksial pada umur  $t$  didefinisikan sebagai  $J(t, t_0)$ .

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_i(t_0) + \varepsilon_c(t, t_0) = \sigma \cdot J(t, t_0) \quad \dots\dots\dots[2.14]$$

Dimana  $J(t, t_0)$  mewakili total yang terjadi dalam satuan tegangan dan didefinisikan sebagai fungsi rangkak.



Gambar 2.11 Definisi Fungsi Rangkak dan Spesifik Rangkak

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 fungsi rangkak  $J(t, t_0)$  dapat diwakili oleh jumlah awal regangan elastis dan regangan rangkak sebagai berikut :

$$J(t, t_0) = \frac{1}{E(t_0)} + C(t, t_0) \quad \dots\dots\dots[2.15]$$

dimana,  $E(t_0)$  mewakili modulus elastisitas pada saat beban diaplikasikan, dan  $C(t, t_0)$  mewakili rangkak deformasi yang dihasilkan pada usia  $t$ , yang disebut sebagai spesifik rangkak. Fungsi rangkak  $J(t, t_0)$  dapat juga dinyatakan dalam perbandingan relatif terhadap deformasi elastis.

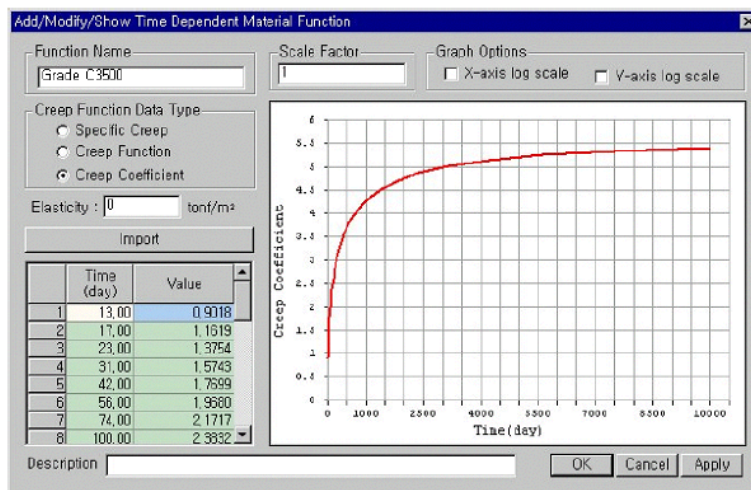
$$J(t, t_0) = \frac{1 + \phi(t, t_0)}{E(t_0)} \quad \dots\dots\dots[2.16]$$

dimana,  $\phi(t, t_0)$  didefinisikan sebagai koefisien rangkak yang mewakili rasio rangkak ke deformasi elastis. Spesifik rangkak dapat juga dinyatakan sebagai berikut :

$$\phi(t, t_0) = E(t_0) \cdot C(t, t_0) \quad \dots\dots\dots[2.17]$$

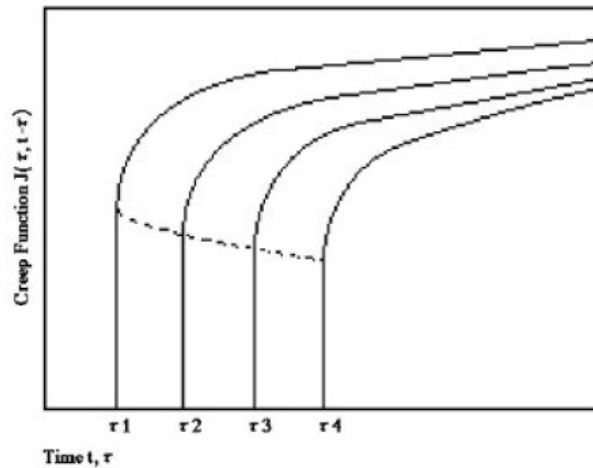
$$C(t, t_0) = \frac{\phi(t, t_0)}{E(t_0)}$$

MIDAS/Civil memungkinkan kita untuk menentukan koefisien rangkak dan susut yang dihitung dengan persamaan CEB-FIP, ACI, dan lain lain atau dapat juga secara langsung ditentukan dengan nilai-nilai yang diperoleh dari percobaan (gambar 2.12). Penggunaan data properti dalam bentuk koefisien rangkak, fungsi rangkak atau spesifik rangkak.



Gambar 2.12 Menu Input Koefisien Rangkak

Fungsi rangkak bervariasi terhadap waktu berdasarkan aplikasi beban. Karena kekuatan tekan beton dan progres dari hidrasi terhadap waktu mengakibatkan terjadi nya keelastisan beton dan regangan akibat rangkak. Gambar 2.13 mengilustrasikan beberapa fungsi rangkak yang berbeda-beda terhadap waktu. Dengan demikian, ketika pengguna mendefinisikan fungsi rangkak, rentang waktu pembebanannya harus mencakup unsur usia dari kekuatan beton. Misalnya, jika analisis rangkak diperlukan selama 1000 hari untuk suatu beban diterapkan pada elemen beton setelah 10 hari dari tanggal beton penempatan, fungsi rangkak harus mencakup kisaran 1010 hari. Akurasi meningkatkan hasil analisis dengan peningkatan jumlah fungsi rangkak berdasarkan pada pembebanan beberapa kali.



Gambar 2.13 Hubungan Antara Waktu dan Umur dari Pembebanan Dari Fungsi Rangkak

Tabel 2.1 Koefisien Rangkak Untuk Beton Normal

Umur beton pada saat pengaplikasian beban		4 ~ 7	14	28	90	365
Koefisien rangkak	Kekuatan awal semen	3,8	3,2	2,8	2,0	1,1
	Normal semen	4,0	3,4	3,0	2,2	1,3

Penyusutan adalah fungsi dari waktu yang bebas dari tekanan dalam elemen beton. Regangan akibat penyusutan biasanya dinyatakan berdasarkan waktu dari  $t_0$  ke  $t$ .

$$\epsilon_s(t, t_0) = \epsilon_{s0} \cdot f(t, t_0) \dots\dots\dots [2.18]$$

dimana,  $\epsilon_{s0}$  mewakili koefisien penyusutan pada waktu akhir  $f(t, t_0)$  adalah fungsi waktu,  $t$  merupakan waktu pengamatan dan  $t_0$  adalah waktu awal penyusutan.

Rangkak adalah fenomena di mana terjadi deformasi akibat beban berkelanjutan terhadap waktu dan tanpa beban tambahan. Dengan demikian, tegangan yang terjadi dan waktu menjadi faktor penting untuk menentukan rangkak. Tidak hanya itu, rangkak dalam struktur jembatan pratekan dan paska tekan menimbulkan deformasi, tetapi juga mempengaruhi gaya pada tendon jembatan sehingga mempengaruhi perilaku struktural. Dalam rangka menjelaskan secara akurat variabel ketergantungan waktu perlu ditekankan fungsi tegangan terhadap waktu dan koefisien rangka



yang memuat berbagai umur dari beton yang diperlukan. Menghitung rangkak yang tepat menuntut cukup banyak perhitungan dan data-data yang sifat beton.

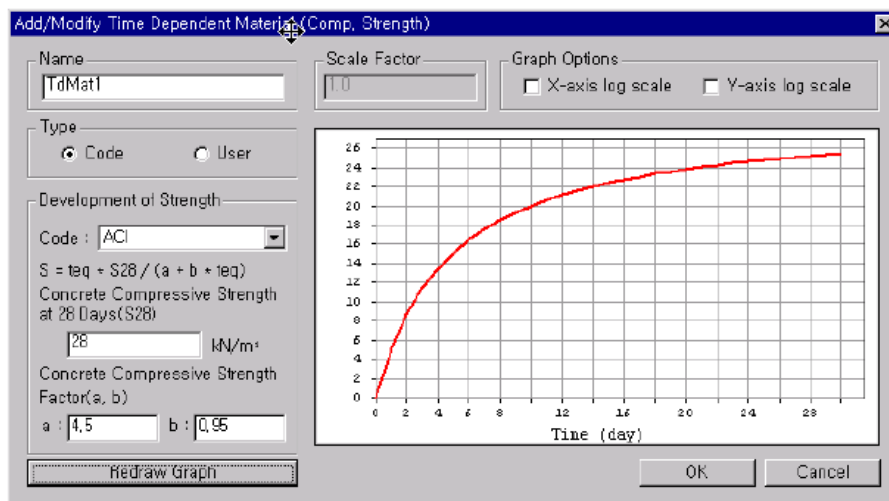
Salah satu metode yang umum digunakan untuk mempertimbangkan rangkak pada struktur beton adalah menentukan koefisien rangkak di setiap elemen pada setiap tahapan konstruksi untuk kemudian diakumulasikan tekanan pada saat ini. Metode lain yang umum digunakan yaitu memfungsikan rangkak secara numerik terhadap tegangan dan waktu. Metode pertama memerlukan koefisien rangkak untuk setiap elemen disetiap tahapan konstruksi. Metode kedua menghitung rangkak dengan mengintegrasikan waktu tegangan menggunakan koefisien rangkak yang ditetapkan dalam standar dalam program ini. Program MIDAS / Civil bisa digunakan untuk kedua metode di atas.

Jika koefisien rangkak untuk setiap elemen dihitung dan dimasukkan maka hasil dapat bervariasi tergantung pada nilai-nilai koefisien. Untuk mendapatkan hasil yang cukup akurat koefisien rangkak harus diperoleh dari data yang memadai pada waktu tegangan dan pembebanan beberapa kali. Jika koefisien rangkak pada berbagai tahap diketahui dari pengalaman dan eksperimen maka secara langsung menggunakan nilai-nilai. Pembebanan akibat rangkak dihitung dengan menerapkan koefisien rangkak dan unsur tegangan yang terakumulasi hingga saat ini. Pengguna dapat langsung menginput koefisien rangkak dan memahami secara eksplisit besarnya kekuatan dalam setiap metode. Namun, hal itu memerlukan perhitungan beban koefisien rangkak. Penjelasan berikut merupakan metode perhitungan pembebanan akibat rangkak yang menggunakan koefisien rangkak.

## **B. Kekuatan Tekan Beton Berdasarkan Waktu**

Program MIDAS/Civil mendefinisikan perubahan yang terjadi terhadap kekuatan tekan beton pada elemen dalam analisis struktur. Kekuatan dapat didefinisikan sebagai standar spesifikasi seperti ACI dan CEB-FIP seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.14 di bawah ini atau pengguna dapat memodifikasi standar tersebut sesuai dengan standar yang berlaku di negara

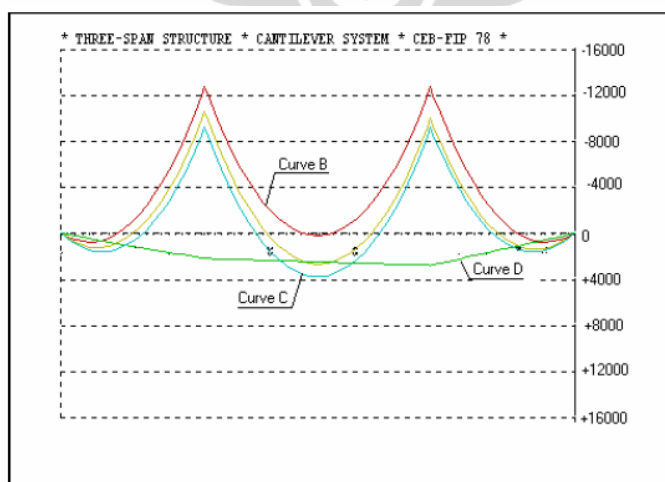
pengguna. Dari hasil ini akan diperoleh kurva kekuatan tekan beton berdasarkan waktu yang ditetapkan dalam tahapan konstruksi yang dianalisa.



Gambar 2.14 Definisi dari Kekuatan Tekan Beton Menghasilkan Kurva Sesuai Dengan Standar Yang Di input

### 2.4.3 Analisa Perhitungan Konstruksi Bertahap Jembatan *Cable Stayed* Berdasarkan Hasil Penelitian Sebelumnya (Referensi [3], [19], [14], [11])

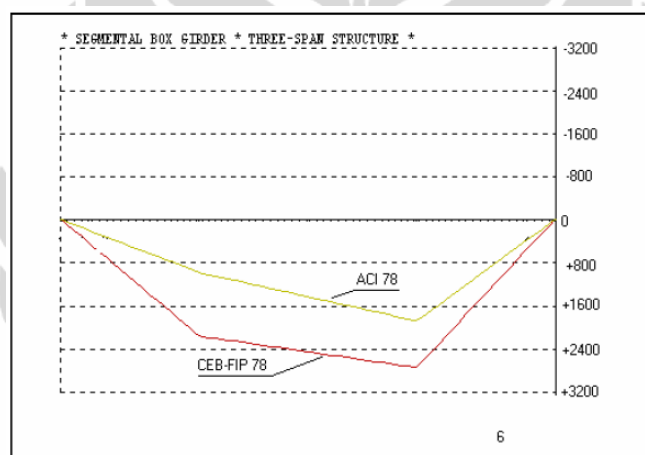
Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “*Creep and Shrinkage Effects in Segmental Bridge*” oleh Lionel Bellevue dan Paul J. Towell [3] untuk kasus struktur dengan tiga bentang (47,5 – 75 – 47,5 m) menggunakan metode kantilever diperoleh hasil seperti gambar 2.15 di bawah ini.



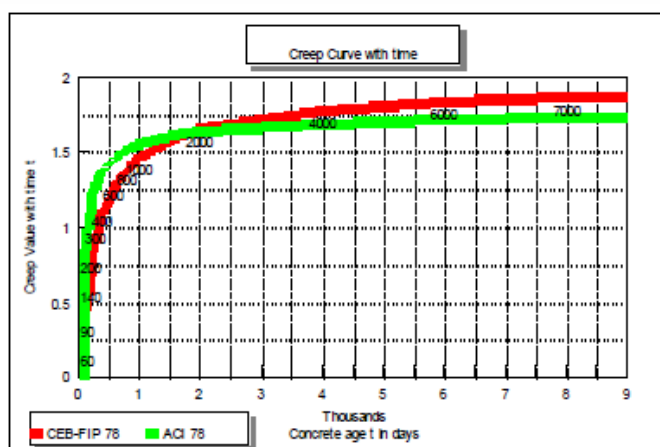
Gambar 2.15 Diagram Momen Menggunakan CEB FIP 78 Code

Gambar di atas merupakan grafik dari diagram momen yang terjadi menggunakan CEB FIP 78 Code. Kurva B mendefinisikan nilai diagram momen selama konstruksi tanpa memperhitungkan pengaruh rangkak. Kurva C menjelaskan diagram momen untuk struktur yang dibangun menggunakan perancah tanpa memperhitungkan pengaruh rangkak. Kurva D merupakan analisa perhitungan yang memperhitungkan pengaruh susut dan rangkak pada material beton.

Para peneliti juga membandingkan hasil dari perhitungan rangkak dan susut beton CEB FIP 78 Code dengan ACI 2009-78 Code untuk kasus bentang sama seperti di atas. Hasil diagram momen seperti ditampilkan pada gambar 2.16 di bawah ini.

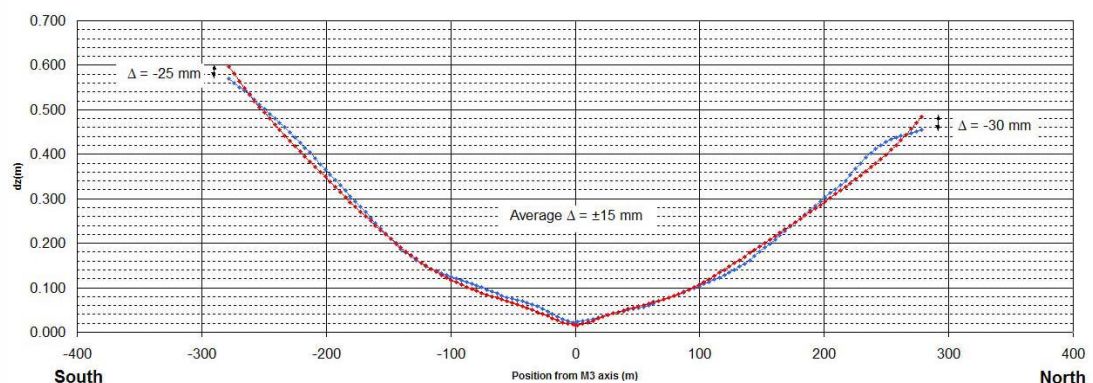


Gambar 2.16 Perbandingan Diagram Momen (CEB-FIP 78 dan ACI 78) Analisa perbandingan tersebut menggunakan profil box girder dengan nilai rangkakan berdasarkan waktu seperti gambar 2.17 di bawah ini.



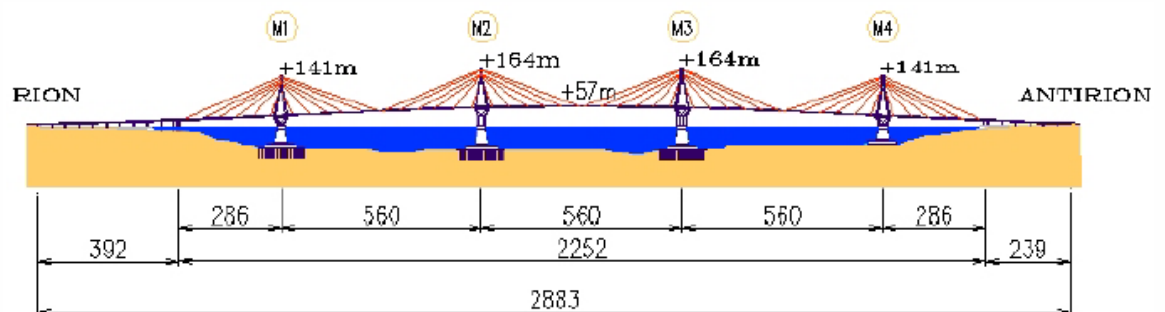
Gambar 2.17 Nilai Rangkakan Berdasarkan Waktu (CEB-FIP 78 dan ACI 78)

Berdasarkan hasil penelitian M. Marcheti, R. Boudon, J. Monneire, P. Bouve, D. Dupuis, F. Dadoun, G. Baechler dan J. Olsfors dengan judul “*Adjustment of Rion-Antrion Cable Stayed Bridge : A Innovative Multidisciplinary Response to a Construction Challenge*” [19] diperoleh hasil perencanaan konstruksi elevasi gelagar menggunakan prediksi program komputer adalah  $\pm 15$  mm. Sedangkan defleksi profil gelagar dari hasil pengukuran di lapangan (garis biru) sesuai dengan prediksi analisa perhitungan (garis merah) dengan pengecualian pada ujung kantilever dimana nilai ini dapat mencapai  $\pm 30$  mm, seperti ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Perbandingan Nilai Defleksi Gelagar Antara Desain Perencanaan Dengan Hasil Pengukuran Di Lapangan.

Adapun, data teknis Jembatan Rion-Antrion dengan bentang 288 – 560 – 560 – 560 – 286 m seperti terlihat pada gambar 2.19. Konstruksi jembatan terdiri dari 4 pilon dengan material beton sedangkan gelagar terbuat dari material komposit dengan panjang segmen 12 m arah longitudinal jembatan.



Gambar 2.19 Bentang Jembatan Rion-Antrion

Pendekatan penyesuaian yang diusulkan adalah mengadopsi parameter data input berdasarkan data lapangan untuk dimodelkan ke dalam program aplikasi

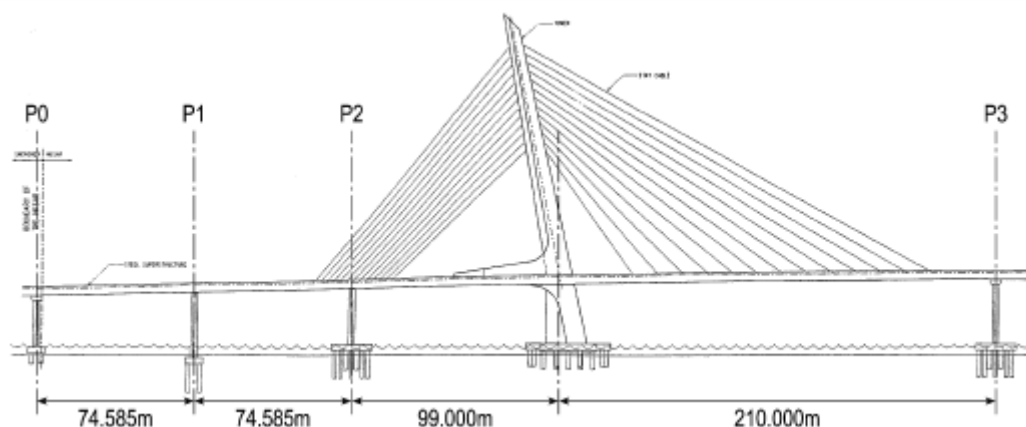
komputer. Dengan pendekatan seperti ini, akan diperoleh keuntungan-keuntungan sebagai berikut :

- Karakteristik data input tidak bergantung pada beban-beban yang diaplikasikan pada struktur selama masa konstruksi.
- Parameter penyesuaian tidak terpengaruh oleh ketidakpastian yang terkait dengan sifat fisik bahan yang diperhitungkan dalam simulasi perilaku struktural (modulus Elastisitas beton, susut dan rangkai)
- Menggunakan data input data yang sama untuk simulasi konstruksi (desain) dan lapangan , tanpa harus bergantung pada apapun hasil dari perhitungan dalam penyesuaian pelaksanaan yang memungkinkan untuk melakukan perbandingan detail antara perilaku yang diamati dan meramalkan jembatan yang sedang dibangun.

Berdasarkan hasil penelitian Denish Jang, Claudia Mibelli, Austin Pan, Mark Chen dengan judul “*Construction Engineering The Hongkong Shenzhen Cable Stayed Bridge*” [14] dijelaskan mengenai analisa urutan pemasangan jembatan dengan menggunakan software TANGGO. Jembatan Hongkong Shenzhen mempunyai layout seperti gambar 2.20. Hasil analisa menjelaskan mengenai *displacement* dan rotasi, tegangan-tegangan pada gelagar dan gaya-gaya internal yang terjadi pada kabel pada setiap tahapan konstruksi. Tahap awal yang dilakukan adalah menghitung gaya tarik pada kabel menggunakan prosedur iterasi untuk memperoleh distribusi momen akhir yang direncanakan.

Dalam membuat distribusi momen dilakukan secara bertahap berdasarkan urutan pelaksanaan konstruksi yang direncanakan. Urutan membuatnya adalah dengan melakukan plot tahapan pekerjaan dari A – H seperti ditunjukkan pada gambar 2.21 dan 2.22. Dalam rangka untuk mengontrol tegangan pada setiap tahapan konstruksi dan mencapai *Designer’s Reference Moment Distribution*, gelagar jembatan akan diangkat dan ditempatkan pada elevasi yang lebih tinggi dari pier sementara dengan asumsi sebagai berikut :

- Pier 1 = 520 mm
- Pier 2 = 78 mm
- Pier 3 = 140 mm



Gambar 2.20 Layout The Hongkong Shenzhen Cable Stayed Bridge

Keterangan di bawah ini menjelaskan metode plot dari A sampai dengan H :

- Plot A

Ketika bentang 2 dan 3 diangkat di posisi diagram momen untuk perletakan balok sederhana. Shims di lepas dan gelagar diturunkan, bending momen di induksi di bentangnya, maka akan menghasilkan superposisi diagram momen sesuai dengan *Designer's Reference Moment Distribution*.

- Plot B

Bentang 2 dan 3 telah di las ke pier sementara. Sehingga diperoleh bentang baru dengan keseluruhan struktur yang menerus. Shims sementara dengan elevasi 520 mm di pier 1 di lepas. Penurunan gelagar jembatan pada pier 1 menginduksi diagram momen pada sistem.

- Plot C

*Temporary shims* dengan elevasi 78 mm pada pier 2 di lepas. Penurunan gelagar jembatan pada pier 2 menginduksi diagram momen pada sistem.

- Plot D

Hasil plot ini akan menghasilkan resultan diagram momen dari superposisi plot A, B, dan C. Perbandingan hasil Plot D dengan Plot A menghasilkan pengurangan momen positif (tarik pada pelat bawah) pada struktur. Perhitungan pengurangan ini tergantung dari tinggi *shims* yang di pilih.

- Plot E

Bentang 1 diangkat di posisi diagram momen untuk perletakan balok sederhana.

- Plot F

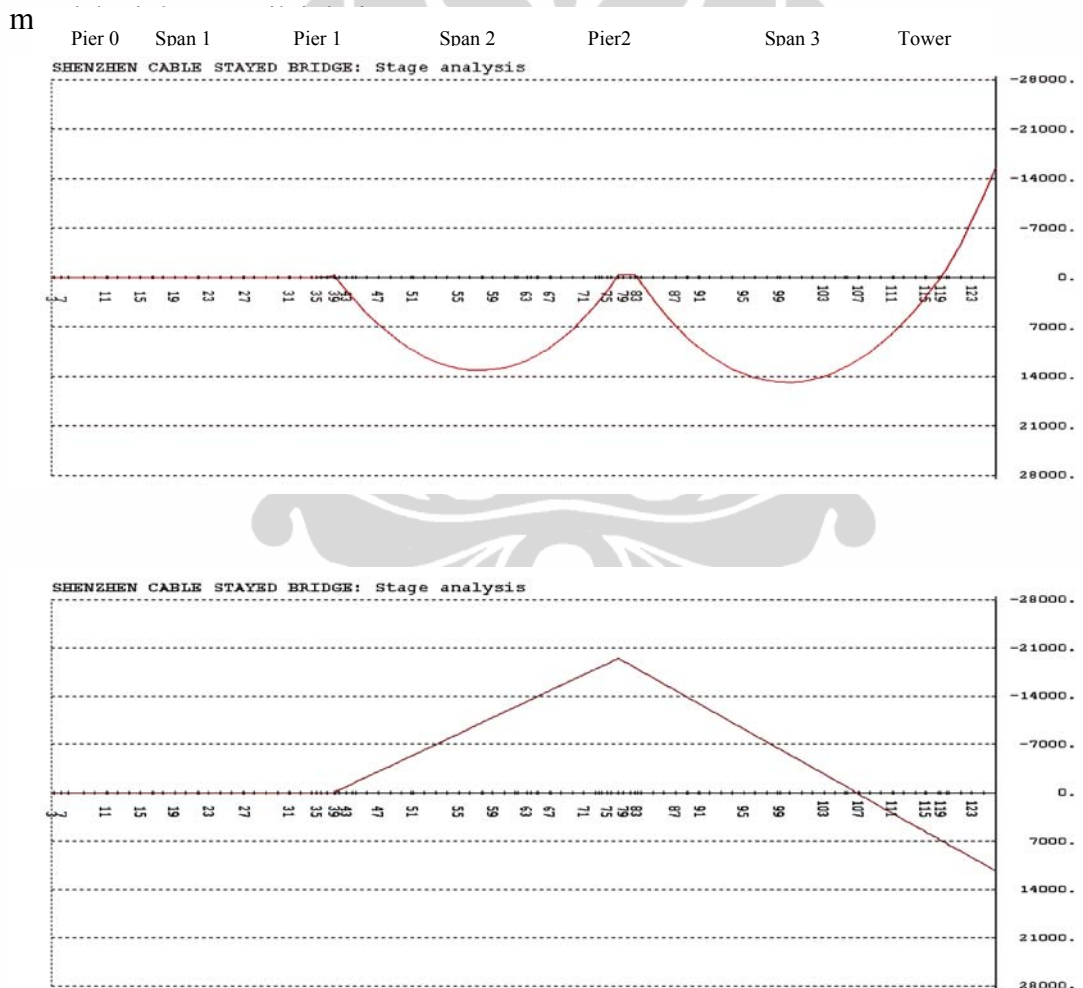
Bentang 1 di las pada jembatan. *Shims* dengan elevasi 140 mm pada pier 0 di lepas. Diagram momen di induksi ke dalam struktur menerus.

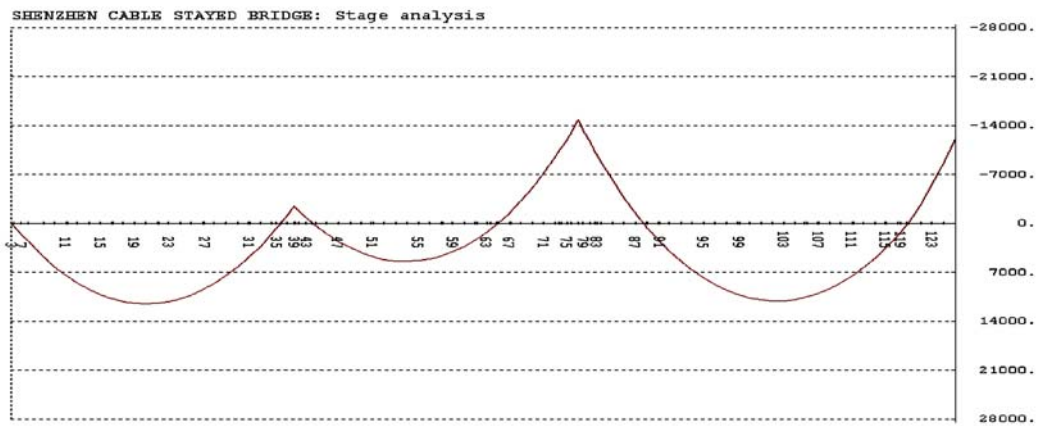
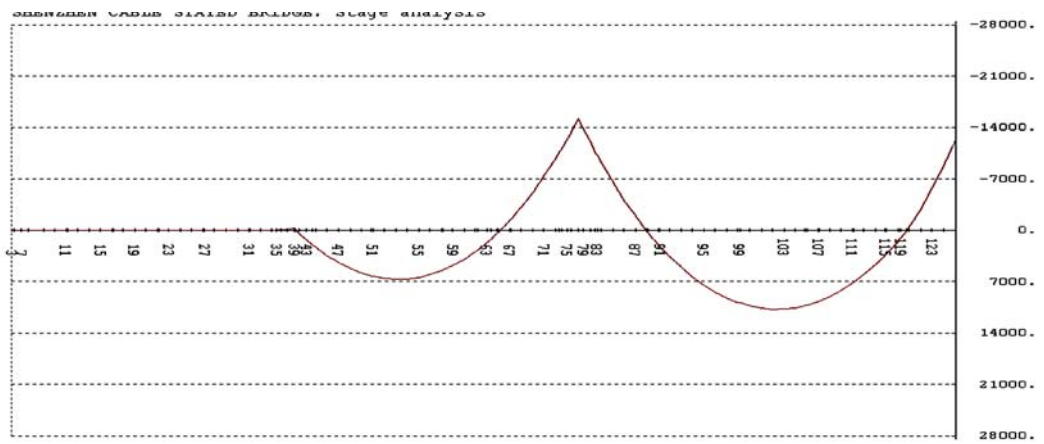
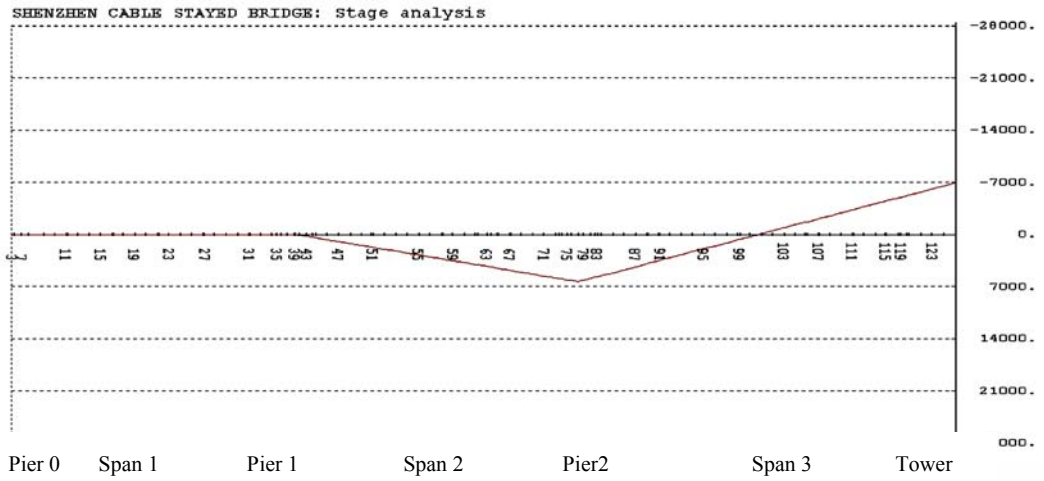
- Plot G

Superposisi dari Plot E dan F menghasilkan diagram momen pada tahap akhir bentang konstruksi.

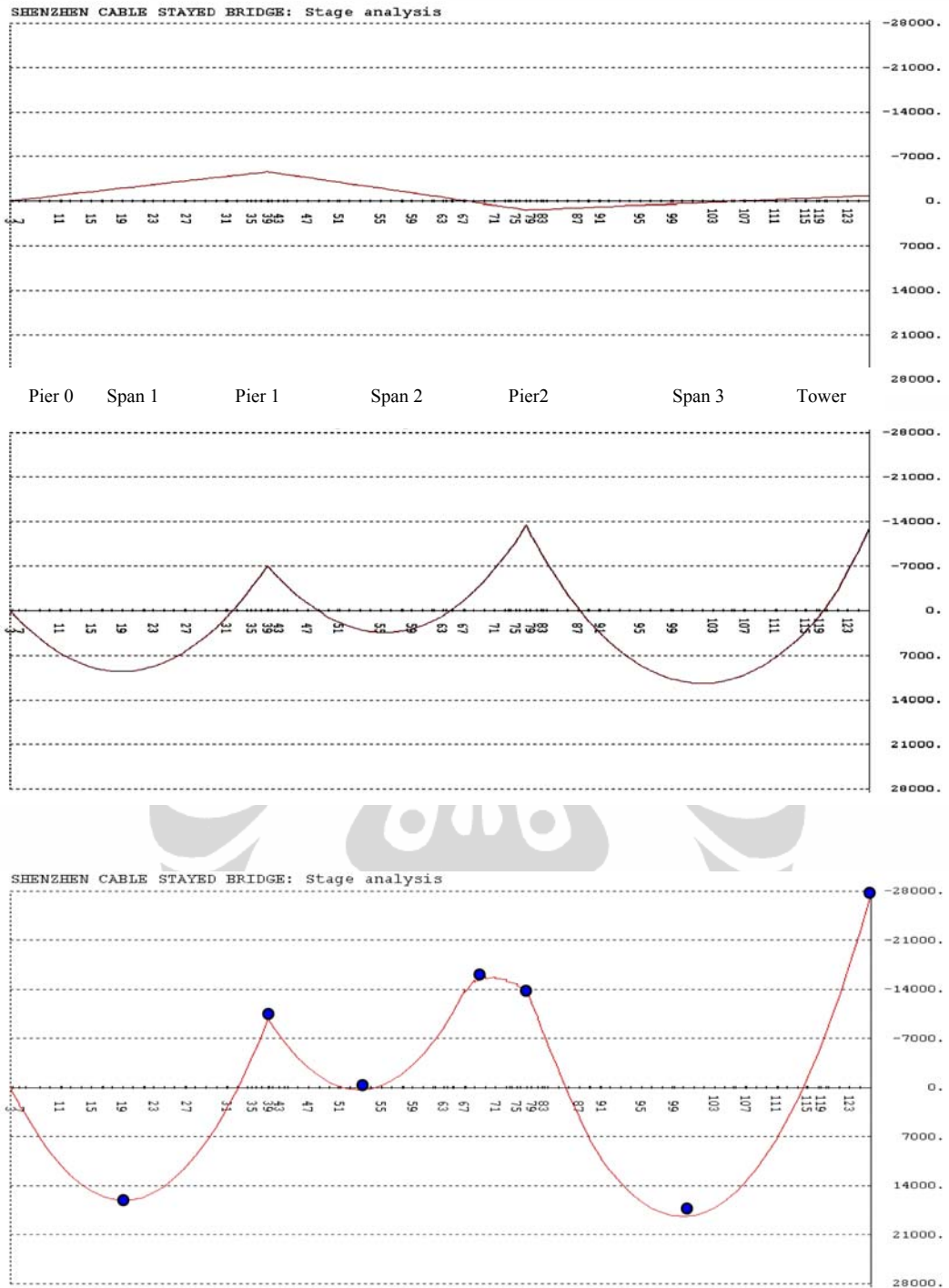
- Plot H

Setelah selesai keseluruhan bentang jembatan, diagram momen di sesuaikan berdasarkan aksi yang terjadi akibat pemasangan kabel, *counterweight*, beban mati tambahan seperti lapisan permukaan jalan. Diagram momen akhir akan



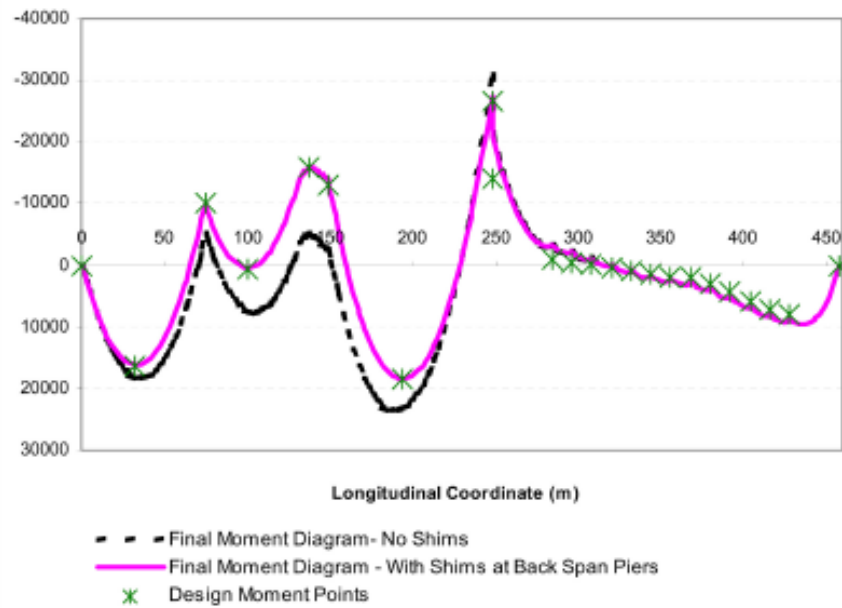




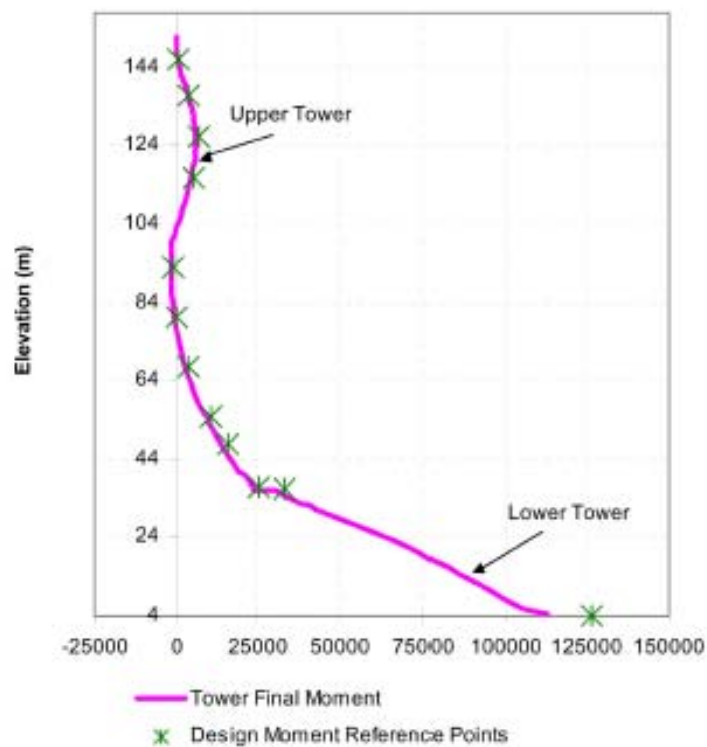


Gambar 2.21 Diagram Momen

Peneliti juga memperhitungkan gaya-gaya internal seperti diagram momen yang terjadi pada gelagar dan pylon jembatan dan gaya-gaya pada kabel. Hasil perhitungan dapat di lihat pada gambar 2.22 dan 2.23 di bawah ini.

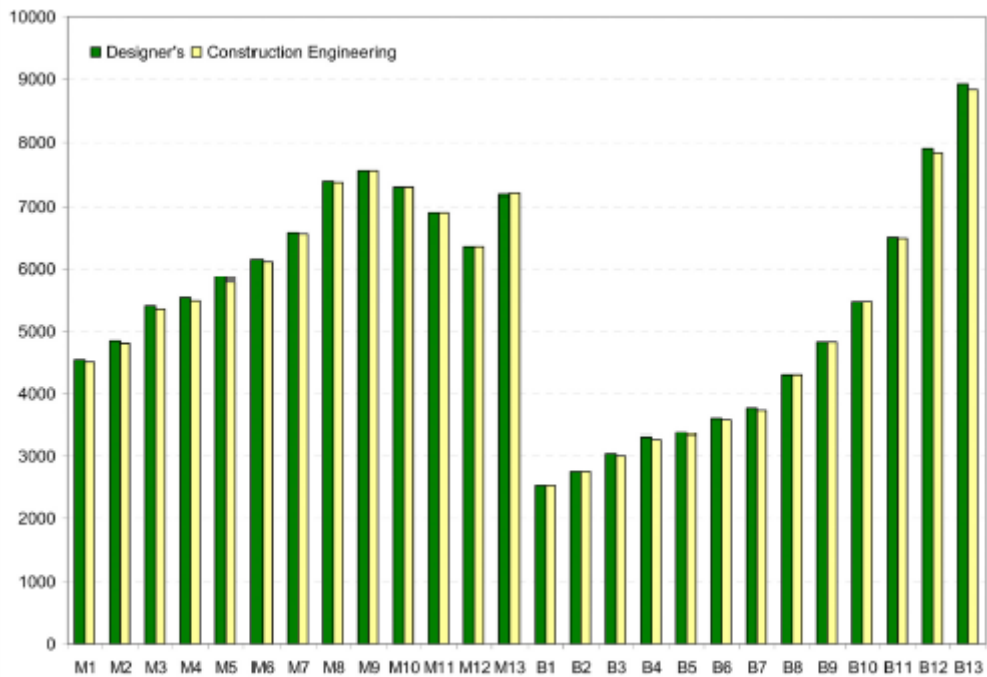


Gambar 2.22 Diagram Momen Pada Gelagar



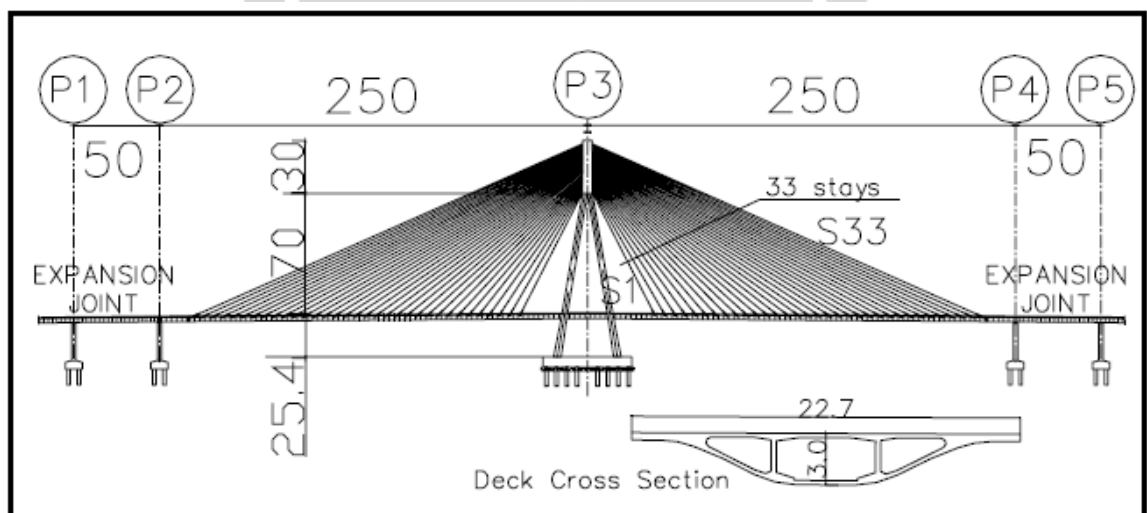
Gambar 2.23 Diagram Momen Pada Pilon

Selain itu, juga dilakukan analisa perbandingan hasil penelitian gaya-gaya kabel antara desain dengan konstruksi secara bertahap seperti ditunjukkan pada gambar 2.24 di bawah ini.



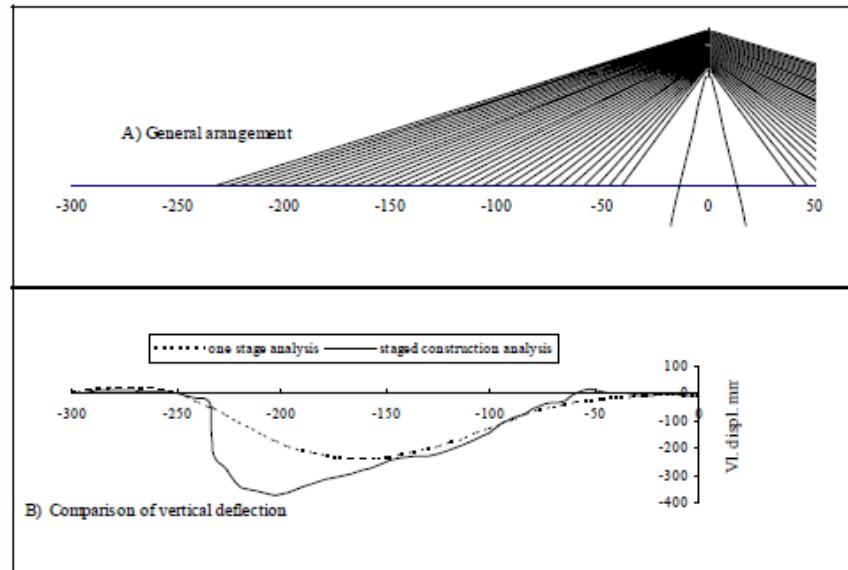
Gambar 2.24 Gaya-Gaya Pada Kabel

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Staged Construction Analysis of Segmental Prestressed Concrete Cable Stayed Bridge” oleh Hassan I. Hegab, Osama M. Tawfik [11] yang memperbandingkan analisa konstruksi jembatan dengan layout seperti gambar 2.25, untuk jembatan secara menyeluruh dan secara konstruksi bertahap diperoleh hasil-hasil sebagai berikut :

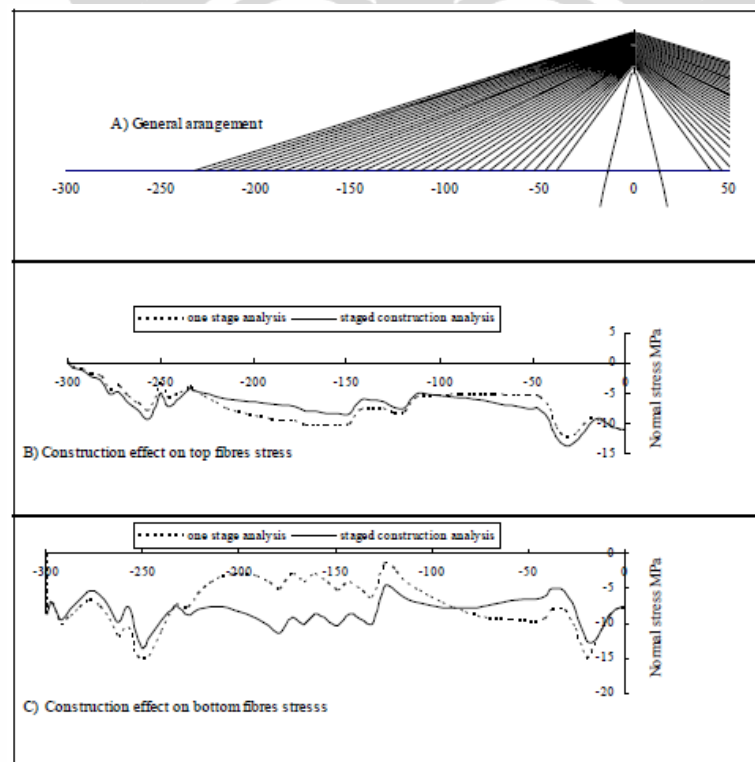


Gambar 2.25 Layout Jembatan

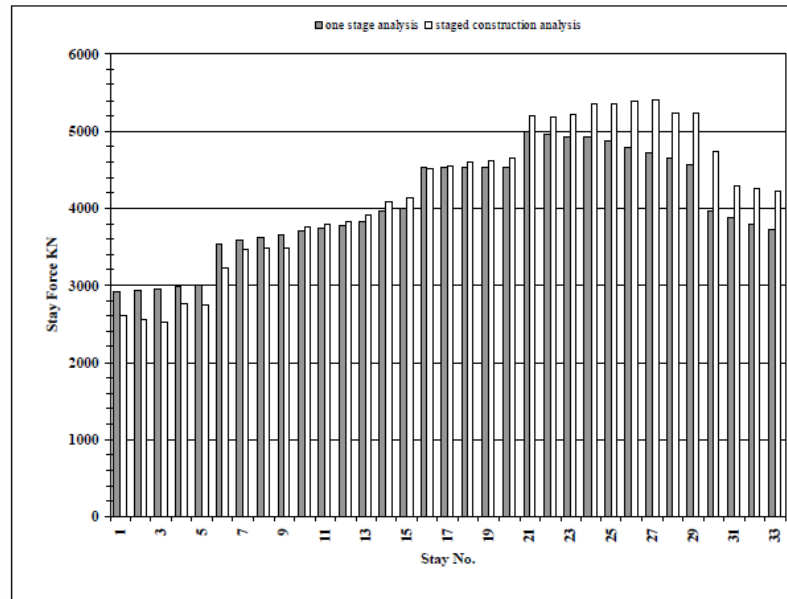
Gambar 2.26 menjelaskan perbandingan lendutan gelagar vertikal pada jembatan



Gambar 2.26 Perbandingan Lendutan Vertikal Gelagar  
 Gambar 2.27 menjelaskan perbandingan tegangan normal gelagar jembatan



Gambar 2.27 Perbandingan Tegangan Normal Gelagar  
 Gambar 2.28 menjelaskan perbandingan gaya-gaya kabel antara dua cara pembangunan.



Gambar 2.28 Perbandingan Gaya-Gaya Kabel Antar 2 cara Pembangunan

Adapun penelitian ini menerapkan metode dan langkah pemodelan seperti penjelasan di bawah ini.

- **Pemodelan Gelagar dan Pilon**

Gelagar dan pilon jembatan diidealisasikan seperti elemen balok dan kolom tiga dimensi. Elemen balok-kolom yang digunakan adalah-elemen dua node dengan tujuh derajat kebebasan pada setiap node, tiga perpindahan, tiga rotasi, dan warping dari penampang. Gelagar dan pilon jembatan cable stayed mengalami perilaku P-Delta ketika terjadi momen lentur dan gaya aksial yang besar. Untuk menghitung efek P-delta, kekakuan elastis matriks  $[K_E]$  adalah diubah oleh kekakuan geometri matriks  $[K_G]$  untuk mendapatkan matriks kekakuan tangent  $[K_T]$ ,

$$[K_T] = [K_E] + [K_G]$$

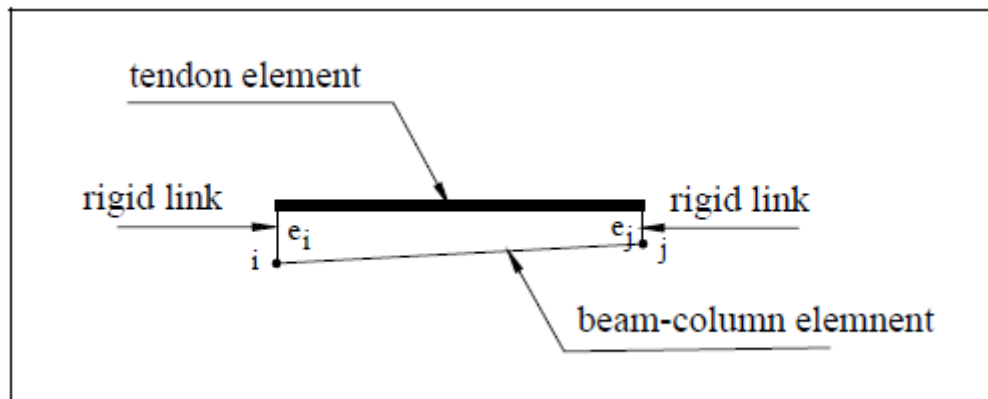
.....[2.19]

Selain itu, analisis dilakukan dalam prosedur iterasi untuk mengetahui perpindahan yang besar di jembatan *cable stayed* akibat kelangsingan profilnya. Dalam penelitian ini, prosedur iterasi Newton-Raphson dilakukan untuk mengantisipasi ketercapaian toleransi yang masih dapat diterima. Matriks kekakuan elastis memperhitungkan interaksi lentur torsi-linear, sedangkan matriks kekakuan geometris memperhitungkan interaksi nonlinier lentur torsi bersama

dengan efek P-Delta. Kedua matriks ini awalnya berasal oleh M. Nemir untuk elemen terbuka dan dikembangkan oleh H. Nour Eldeen untuk mengadopsi perilaku bagian box. Matriks yang sama diterapkan oleh H. Hegab untuk analisis nonlinier jembatan *cable stayed* dengan gelagar berbentuk box.

- **Implementasi Gaya Prategang**

Pada penelitian ini, tendon prategang dimodelkan dengan menggunakan skema pemodelan diskrit. Dalam skema tendon dimodelkan dengan elemen truss dihubungkan ke kolom-balok elemen (gambar 2.29).



Gambar 2.29 Idealisasi Tendon

Dalam skema pemodelan, ada interaksi implisit antara deformasi beton dan gaya dalam tendon, terlepas dari penyebab deformasi. Dalam penelitian ini hanya kehilangan akibat gesekan, yang merupakan bagian utama dari kehilangan total, ankur, dan perpendekan elastis yang dipertimbangkan. Perhitungan ini berdasarkan standar dari AASHTO dan ACI-318M.

- **Pemodelan Kabel**

Analisis yang tepat dari elemen kabel menunjukkan bahwa elemen sags kabel ke bentuk catenary karena berat sendirinya, sehingga dapat didealisasikan sebagai elemen lurus setara dengan modulus elastisitasnya. Konsep analisis ini pertama kali diperkenalkan oleh Ernst dan telah diverifikasi oleh beberapa peneliti lain. Yang setara modulus elastisitas  $E_{eq}$  diberikan oleh:

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \left[ \frac{(w_c L_h)(T_i + T_f)AE}{24T_i^2 T_f^2} \right]} \dots\dots\dots [2.20]$$

dimana,  $E$  adalah modulus elastisitas material kabel,

$wc$  adalah berat sendiri kabel,

$Lh$  adalah proyeksi horizontal kabel,

$A$  adalah luas penampang kabel,

$T_i$  adalah gaya tarik awal di kabel selama penambahan beban,

dan  $T_f$  adalah gaya tarik kabel final selama penambahan beban.

Berdasarkan konsep setara modulus elastisitas, kabel diidealisasikan sebagai elemen rangka. Akibatnya, kekakuan matriks pada koordinat lokal untuk elemen rangka adalah :

$$K = \frac{AE_{eq}}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots[2.21]$$

Dimana,  $E_{eq}$  adalah modulus elastisitas yang disetarakan.

## **2.5 Pemasangan Jembatan Menggunakan Metode Kantilever**

### **2.5.1 Karakteristik Konstruksi Kantilever Segmental Pengecoran di Tempat**

Pengecoran di tempat untuk jembatan beton pratekan telah dilakukan hampir setengah abad yang lalu. Untuk pertama kalinya teknik ini digunakan pada tahun 1950 oleh insinyur Jerman Ulrich Finsterwalder untuk Jembatan Lahn di Balduinstein yang memiliki bentang 62 m (Fletcher, "In-Situ Free Cantilever Concrete Bridges." *Highways and Transportation*, 1984 ,[7]). Bagian berikut secara khusus menjabarkan pemasangan bagian superstruktur jembatan dengan metode konstruksi kantilever segmental pengecoran di tempat. Istilah-istilah teknik akan ditentukan dan dijelaskan dengan karakteristiknya untuk menunjukkan bagaimana teknik-teknik dalam kombinasi menghasilkan konstruksi yang benar-benar memungkinkan.

### A. Konstruksi Segmental

Konstruksi Segmental adalah metode konstruksi di mana beban utama yang ada pada elemen terdiri dari segmen-segmen yang telah di *post tensioned* satu sama lain (Podolny dan Muller, “*Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges*” *Concrete International*,1982, [22]). Untuk analisa perhitungan, informasi mengenai perencanaan segmentasi dan penggunaan beton pracetak atau beton pengecoran di tempat merupakan hal yang penting. Ketika dilakukan pengecoran di tempat, umur dan kekuatan tekan beton dari segmen perlu dipertimbangkan. Podolny dan Muller (1982), [22] menekankan secara khusus untuk menjaga segmen-segmen sesuai dengan bentuk geometri dan sebisa mungkin antara segmen yang satu dengan segmen yang lain terpasang sejajar.

Konstruksi segmental memiliki ukuran teknis dalam hal metode pemasangan dan peralatan yang digunakan dalam konstruksi. *Crane*, pompa beton, *form travelers*, dan potongan peralatan lainnya memiliki ukuran tertentu untuk volume dan berat dari material yang harus di tahan dalam suatu waktu. Salah satu keuntungan dari konstruksi segmental adalah kemudahannya dalam mengaplikasikan pada proyek-proyek tertentu dan kapasitas peralatan yang tersedia, memungkinkan optimasi untuk pembangunan secara ekonomis.

Urutan penempatan dari segmen-segmen membagi proses pembangunan secara keseluruhan menjadi lebih kecil dan dilakukan dengan langkah-langkah berulang yang memfasilitasi proses pembelajaran dan manajemen proyek (Fletcher 1984,[7]). Konstruksi segmental menjadi pilihan dengan pertimbangan dari aspek ekonomi dan cepat untuk pemasangan bagian superstruktur jembatan. Dari beberapa penelitian menjelaskan bahwa metode pemasangan harus ada untuk jembatan segmental dan memberikan pilihan yang luas kepada perencana memilih metode yang cocok untuk proyek yang direncanakan.

Subbagian dari superstruktur menjadi elemen, bisa dalam arah longitudinal dan melintang. Pemisahan di sumbu vertikal lebih jarang ditemukan. Hal ini digunakan misalnya di jembatan komposit superstruktur yang terdiri dari rangka baja atau *box girder* dengan dek pelat beton. Arah longitudinal dibagi

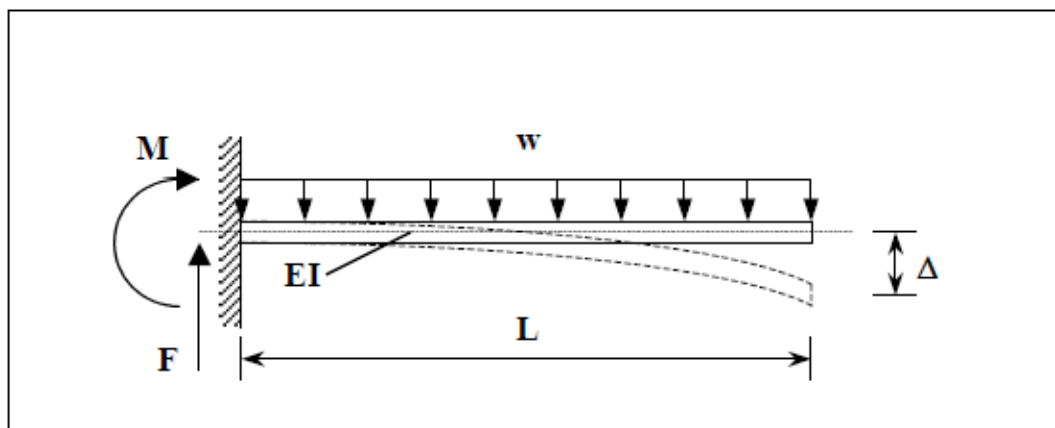


menjadi beberapa bagian segmen yang membawa beban dari tiap elemen disepanjang bentang jembatan, misalnya dalam bentuk beberapa gelagar paralel pratekan standar AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) yang akan ditutup dengan sebuah gelagar.

Hal terpenting dalam penelitian ini adalah segmentasi pada bidang transversal. Segmen ini memiliki lebar penuh superstruktur. Untuk jenis umum dari panjang segmen *box girder* biasanya 3-5 m (Fletcher 1984, [7]) dan dengan berat sampai 250 ton untuk konstruksi kantilever beton pracetak (Podolny dan Muller 1982, [22]) atau sampai dengan 300 ton untuk konstruksi kantilever beton cor di tempat (Fletcher 1984, [7]).

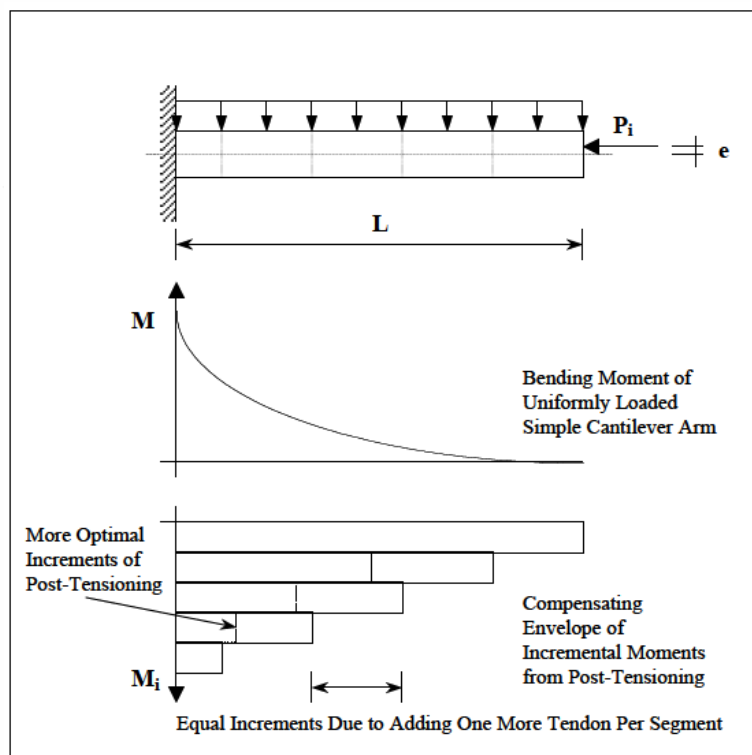
### **B. Metode Kantilever**

Kantilever adalah balok horisontal dengan dukungan tetap di salah satu ujung-ujungnya. Pembahasan dimulai tentang karakteristik metode kantilever beton cor di tempat, akan sangat berguna untuk melihat sekilas model teori balok sederhana ditunjukkan dalam Gambar 2.30, yang juga dapat ditemukan dalam buku pelajaran tentang mekanika material. Dalam sistem dua dimensi dari sistem struktur, garis horizontal menggambarkan sumbu memanjang balok. Untuk perhitungan sederhana dari lendutan balok akibat beban, orang perlu mengetahui panjang balok, modulus elastisitasnya sebagai parameter material, dan momen inersia balok penampang. Beban pada balok tersebut dapat terjadi akibat beban dan momen-momen yang bekerja. Dengan informasi ini adalah mungkin untuk menentukan defleksi balok dan sudut yang dihasilkan dari balok horisontal sebelumnya pada setiap titik di sepanjang panjangnya. Hasil yang dicapai oleh pendekatan ini adalah mudah digunakan, untuk kemudian hasil output dari proses modelisasi dapat diambil.



Gambar 2.30 Balok Kantilever Beban Terbagi Merata

Ketika analisis struktur dilakukan pada sistem kantilever, pendekatan pemodelan yang digunakan adalah semua pengaruh diperiksa secara terpisah dan akhirnya disuperposisikan dengan perilaku sistem secara keseluruhan. Contoh kantilever bebas dari penampang menerus yang terdiri dari segmen dengan umur yang berbeda dan didesain bersama dengan efek tendon prategang dari masing-masing faktor ini, dihitung secara terpisah sebagai ditunjukkan dalam Gambar 2.31. Sistem kantilever dibebankan melalui berat sendiri dan merupakan beban hidup seragam yang diantisipasi dalam kondisi layan, yang pada umumnya akan menghasilkan dengan nama momen kurva parabolik untuk balok kantilever. Tendon *Posttensioning* digunakan dalam balok kantilever untuk mengkompensasi beban mati. Untuk penyederhanaan akan diasumsikan bahwa tendon prategang yang ditambahkan dengan setiap segmen baru, terletak pada eksentrisitas yang sama dari sumbu netral penampang balok. Dengan asumsi lebih lanjut bahwa semua tendon lurus tanpa lengkungan (seperti akan digunakan dalam struktur jembatan nyata), superposisi dari saat-saat dari semua pasca penurunan tegangan tendon memberikan momen *envelope*, yang mengkompensasi beban mati.

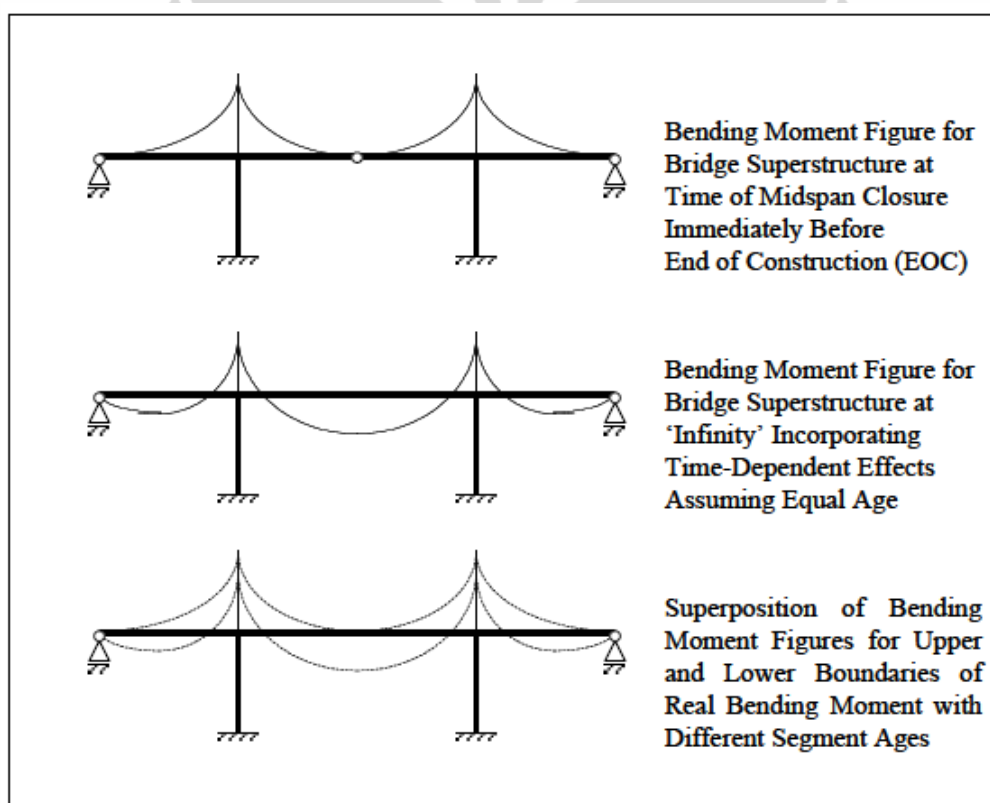


Gambar 2.31 *Post Tensioned* dari Kantilever Segmental

Dua poin besar yang diperiksa untuk menentukan jangka panjang tegangan dan deformasi dari sistem struktur berdasarkan material tergantung sifat-waktu, yaitu rangkakan dan susut beton serta relaksasi baja. Data-data tersebut pada akhir konstruksi, biasanya diasumsikan sampai dengan hari ke 10.000 setelah mulai konstruksi. Sebelum akhir konstruksi sistem kantilever jembatan akan berubah menjadi sistem menerus, dalam beberapa kasus jika *midspan hinges*. Redistribusi Momen dari perletakan ke arah bentang akan terjadi. Umur segmen yang berbeda-beda, tentu akan memainkan peran saat menentukan tegangan dan deformasi sistem struktural pada akhir konstruksi.

Hal ini relatif mudah untuk memberikan perkiraan nilai kasar untuk sistem struktural selesai. Gambar 2.32 menggambarkan prosedur yang diuraikan di bawah ini. Bentang di mana nilai saat lentur keseluruhan akan diberikan oleh peraturan desain dari sistem struktural pada akhir konstruksi. Ketika sistem struktural baru mencapai kontinuitas, semua momen lentur pada perletakan menjadi maksimum dan tidak ada redistribusi momen yang telah terjadi sejauh ini, yaitu pada saat penutupan *midspan* masih nol. Beberapa saat perlahan-

lahan, akan mendistribusikan dalam sistem struktural tergantung pada material sifat-waktu. Namun, tergantung pada efek waktu biasanya menunjukkan perilaku asimtotik. Oleh karena itu, standar desain dari 'tak terhingga' tidak akan pernah tercapai. Keadaan ideal dari 'tak terhingga' diberikan oleh sistem struktural yang berkelanjutan, dengan asumsi bahwa semua elemen yang dilemparkan dan dimuat pada saat yang sama. Perhitungan sistem struktural tak tentu yang sederhana dengan beban mati dan beban hidup diasumsikan menghasilkan diagram momen dengan nilai-nilai saat tertentu untuk perletakan dan bentangnya. Mengambil hasil dari kedua sistem ideal sebagai batas atas dan bawah, kesan awal dimensi saat nilai dalam struktur nyata dengan material tergantung sifat-waktu telah dihasilkan.



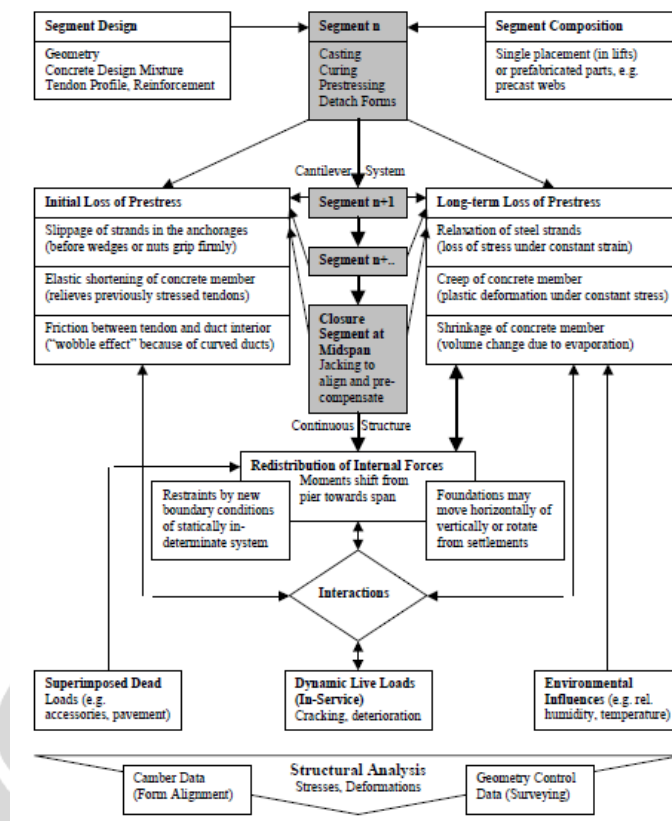
Gambar 2.32 *Upper and Lower Boundaries for Long-Term Bending Moments*

**a. Definisi Kantilever**

Kantilever berarti penempatan segmen pada posisi terakhir di ujung superstruktur yang dapat berdiri sendiri. Kantilever dari bentang selalu

dimulai di salah satu perletakkannya, seperti pier atau *abutments*, *counterweighted* oleh bentang lain muncul sebagai pada *Balanced Cantilever Construction* atau abutment besar (Mathivat 1983, [18]) atau didukung oleh kabel tetap seperti yang sering digunakan dalam metode penempatan progresif.

Beberapa penulis telah melihat lebih dekat metode kantilever dan meneliti topik kehilangan pratekan dalam konstruksi segmental, dengan penekanan pada konstruksi beton cor di tempat. Berbeda dengan konstruksi beton pracetak, di mana segmen biasanya ditempatkan dalam superstruktur dan diberi gaya pratekan setelah itu, konstruksi beton cor di tempat mendapatkan beban awal pada saat pengecoran segmen baru. Paragraf berikut akan menjelaskan dampak dari konstruksi segmental pengecoran di tempat, tentang bagaimana harus mempertimbangkan dalam analisis struktural dari urutan pemasangan yang dipilih. Gambar 2.33, yang didasarkan pada informasi dari Barker dan Puckett (*Design of Highway Bridges: Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* [1]). A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1997), Bishara dan Papakonstantinou (Analysis of Cast-in-Place Concrete Segmental Cantilever Bridges.” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 1990, [2]), dan Shiu dan Russell (Effects of time-dependent concrete properties on prestress losses.” *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1987, [24]), menyediakan sebuah skema komprehensif yang menggambarkan efek ini dan hubungan-hubungannya.



Gambar 2.33 Pengaruh Konstruksi Segmental Kantilever Pengecoran di Tempat

### b. *Low Strength of Young Concrete*

Perletakan struktural sistem sederhana tetap menjadi penopang selama masa konstruksi sampai penutupan bentang di *midspan*. Jenis struktur sistem ini merupakan statis tertentu dan dengan demikian memudahkan analisis struktur. Perhatian khusus, harus diarahkan kepada perubahan bertahap dalam panjang kantilever yang terjadi setelah segmen baru ditambahkan. Terutama ketika menggunakan metode pengecoran di tempat, pengembangan kekuatan setiap segmen perlu dipertimbangkan. Di sini, segmen biasanya *stressed shortly* setelah pengecoran, kadang-kadang hanya dua hari setelah penempatan. Pada saat ini, waktu beton telah mencapai dari kekuatan tekan yang ditentukan untuk umur 28 hari, biasanya antara sekitar 40 dan 50% (MacGregor, Reinforced Concrete: Mechanics and Design." Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1997, [17]). Kekuatan dikembangkan oleh beton pada usia lebih dari 28 hari, biasanya tidak dipertimbangkan untuk perhitungan analisa dalam

perencanaan struktur. Kekuatan tekan aktual dari pengecoran segmen baru ditentukan dengan menjalankan tes laboratorium pada sampel yang diperoleh selama pengecoran aktual dan telah dilakukan proses perawatan (*curing*) dalam kondisi lapangan. Segmen beton pracetak, yang telah disimpan untuk waktu sebelum dipasang biasanya mengembangkan kekuatan yang lebih tinggi daripada beton cor di tempat pada saat mereka ditempatkan di superstruktur

Dalam segmen sendiri, umur beton biasanya diasumsikan sama, sejak pengangkatan yang berbeda-beda ditempatkan dalam interval waktu yang relatif singkat. Namun, kemungkinan bahwa segmen badan ini sebagian dibuat beton pracetak, atau bagian atas pelat untuk sisa bagian segmen di cor setelah itu. Selain itu, untuk segmen besar, misalnya pier, mungkin harus di cor dalam beberapa kali dengan masing-masing terdiri dari pengangkatan segmen.. Antara penempatan ini, penguatan baru dan tendon pratekan dengan salurannya mungkin harus diinstal, dan bekisting mungkin harus ditambahkan. Dalam kasus seperti ini, kekuatan bahkan dapat berbeda dalam satu segmen dari superstruktur jembatan dan harus diperhitungkan dalam analisis struktural.

**c. Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis**

Dalam kasus superstruktur jembatan dibangun oleh kantilever, proses penambahan segmen mempengaruhi kekuatan prategang pada tendon. Perpendekan elastis dari semua segmen yang dipasang sebelumnya terjadi dan mengurangi gaya prategang yang menyebabkan perpendekan ini, sebagaimana ditentukan oleh modulus elastisitas segmen tertentu. Shiu dan Russell (Effects of time-dependent concrete properties on prestress losses.” *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1987,[24]) menyatakan bahwa kehilangan pratekan "karena pemendekan elastis merupakan suatu perhatian utama dalam kehilangan total untuk konstruksi kantilever segmental." Mereka menangkap ini lebih lanjut mempengaruhi berikut (Shiu dan Russell 1987, [24]) :

"Penggunaan hasil konstruksi segmental yang kompleks pada elemen post-tensioned. Pasca penurunan tegangan dari segmen yang baru dibangun, tak terhindarkan mengurangi porsi tertentu prategang dalam segmen sebelumnya melalui elastis shortening. Yang berarti perubahan tingkat sebagai konstruksi pratekan berlangsung. Estimasi kehilangan pratekan pada setiap konstruksi menjadi diperlukan untuk kontrol yang tepat dari tingkat tegangan beton dan kontrol geometri. Akibatnya, perhitungan kehilangan pratekan sangat memakan waktu dan membosankan. "

Karena efek pemendekan elastis mungkin dipilih untuk pertama dan berlaku hanya sebagian kecil dari gaya prategang akhir yang cukup untuk membawa satu atau beberapa elemen berikutnya. Selama pembangunan ini, segmen yang akan memperoleh kekuatan lebih lanjut dan lebih prategang dapat diterapkan untuk menyediakan kapasitas membawa beban penuh untuk sistem kantilever.

**d. Kehilangan Prategang Akibat Ketergantungan Waktu**

Seiring dengan kekuatan yang lebih rendah dari beton muda dan awal, aplikasi beban pada segmen jembatan menambah peningkatan kerentanan beton ketergantungan efek waktu. Bishara dan Papakonstantinou (Analysis of Cast-in-Place Concrete Segmental Cantilever Bridges." *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 1990, [2]) menggambarkan hubungan antara konstruksi segmental dan efek tergantung pada waktu:

"Selama proses konstruksi, sebuah segmen tertentu dimuat secara bertahap pada usia yang berbeda, dengan umur yang sesuai untuk setiap waktu segmen baru akan ditambahkan ke sistem. Jadi, untuk memprediksi pengaruh creep beton untuk setiap segmen waktu  $t$ , durasi pemuatan segmen oleh segmen berikut ini harus termasuk pada creep koefisien. "

Perhitungan kehilangan pratekan melibatkan "ketidakpastian karena interaksi antara faktor-faktor" dan lingkungan yang mempengaruhi "[misalnya udara dan suhu beton dan kelembaban pada waktu berubahnya sifat bahan tergantung kondisi tegangan terus menerus" (Shiu dan Russell, 1987,[24]). Selanjutnya faktor yang disebutkan dalam Shiu dan Russell



(1987) [24] adalah pembangunan berkelanjutan beton (pemulihan *creep*) yang dapat mengimbangi beberapa efek tergantung pada waktu, ketebalan dari elemen beton, dan jenis beton dengan karakteristik hubungan tegangan-regangan dan berat sendirinya. Umur segmen pada saat pembebanan, yaitu pratekan, sangat penting untuk pengembangan lebih lanjut tergantung pada efek waktu.

Shiu dan Russell (1987) [24] menganalisa kehilangan pratekan dari jembatan *box girder* beton segmental di Illinois utara, Jembatan Kishwaukee River. Yang terdiri dari dua paralel lima bentang superstruktur yang dibangun dengan *Balanced Cantilever Construction*. Para penulis (Shiu dan Russell, 1987, [24]) melaporkan bahwa "pengukuran lapangan, tes laboratorium, dan evaluasi analitis" yang dilakukan untuk lokasi berbagai segmen. Untuk analisis laboratorium sampel silinder diambil dari segmen tersebut dan *curing* dalam kondisi laboratorium yang dikontrol atau *curing* dalam kondisi lapangan. Setelah itu, hasilnya dibandingkan dengan hasil dari perhitungan dengan formula yang sebenarnya sederhana sesuai dengan standar Prestressed Concrete Institute (PCI) dan American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Penyimpangan yang cukup ditemukan dari hasil penelitian. Realisasi pengukuran menunjukkan bahwa susut dan *creep* lebih besar dalam sampel beton dari Jembatan Kishwaukee yang direndam dalam kondisi lapangan daripada untuk *curing* di laboratorium.

#### **e. Redistribusi Gaya-Gaya Internal**

Bahkan lebih menarik adalah efek-efek waktu tergantung sifat material terhadap sistem struktur secara keseluruhan. Bishara dan Papakonstantinou (1990) [2] mengungkapkan bagaimana redistribusi dalam sistem dilakukan pada waktu yang lama setelah kelangsungan sistem struktural telah tercapai: "*Khususnya, untuk pengecoran di tempat jembatan kantilever, internal kekuatan dan deformasi dipengaruhi oleh usia yang berbeda dari segmen. Setelah kontinuitas dicapai, tergantung pada waktu deformasi menyebabkan*

*redistribusi kekuatan internal ini. Tergantung dasar perpindahan-Waktu [yaitu vertikal dan gerakan horisontal dan rotasi] menginduksi kekuatan internal dalam kontinyu sistem yang merupakan fungsi dari kedua tingkat perpindahan dan tingkat creep beton. "*

Redistribusi dalam sistem struktural, Bishara dan Papakonstantinou (1990) [2] menyatakan, "disebabkan oleh fakta bahwa perpindahan (yaitu defleksi dan rotasi) yang akan terus berlangsung dalam sistem menentukan statis karena penyusutan, *creep*, dan relaksasi tendon menjadi terkendali oleh kondisi batas yang dikenakan dari struktur yang tak tentu. "Dalam kantilever statis sebelumnya tentu lengan momen lentur yang meningkat terhadap tetap dukungan di dermaga dan nol pada ujung kantilever, setiap segmen harus mendukung struktur secara keseluruhan. Dengan pengecoran, *curing*, dan pasca-penurunan tegangan dari segmen penutupan *midspan* akan mendistribusikan sampai batas tertentu dari pier menuju *span girder*, yang menghasilkan distribusi tegangan yang berbeda dalam segmen. Shiu dan Russell (1987) [24] dalam penyelidikan mereka ke dalam kehilangan pratekan dalam pembangunan Jembatan Kishwaukee lebih menemukan hubungan redistribusi momen lebih lanjut:

*"Penurunan kehilangan pratekan memanjang elastis tercatat sebesar 462 hari yang berhubungan dengan berat segmen dan penutupan pada instrumentasi span. Kehilangan prategang negatif ini dicatat hampir 50% dari pratekan total kerugian. (...) Secara substansi kehilangan pratekan yang lebih besar terjadi pada segmen seperempat dan setengah bentang. Tinggi kehilangan pratekan dapat dikaitkan dengan redistribusi momen dari daerah negatif pada saat dukungan pier untuk daerah positif bentang tengah. "*

Sehubungan dengan sistem struktur menerus yang ada di penutupan setelah *midspan* dan tegangannya disebut kontinuitas tendon, Bishara dan Papakonstantinou (1990) [2] memberikan daftar faktor yang mempengaruhi kekuatan struktur :

- *Long-time* efek dari berat gelagar dan gaya-gaya prategang dari sistem kantilever seimbang;
- Kekuatan yang diinduksi oleh tendon manerus;
- Beban mati tambahan (berat memakai permukaan, trotoar, dan *handrails*)
- Gaya yang disebabkan oleh gerakan-gerakan dasar yang terjadi setelah kontinuitas;
- Beban hidup; dan
- Kekuatan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan (suhu, angin, dll).

**f. Pertimbangan lebih lanjut**

Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam suatu algoritma yang dikembangkan oleh Bishara dan Papakonstantinou (1990) [2] adalah "efek yang disebabkan oleh perbedaan umur segmen jembatan, susut dan rangkai beton, relaksasi dan kelengkungan tendon prategang, dan mendukung gerakan vertikal dan horisontal juga sebagai isu-isu pemikiran mereka. "Isu yang lain, material dan profil tendon tendon, serta perubahan dalam kondisi batas dari sistem statis dengan perpindahan atau rotasi dari pondasi harus dipertimbangkan dalam analisis struktural. Perpindahan atau rotasi dari pondasi akan dihitung dari diukur sifat tanah yang sebenarnya di lapangan. Para penulis (Bishara dan Papakonstantinou, 1990, [2]) mengamati bahwa "efek kelengkungan tendon pratekan dalam menghitung kehilangan sering diabaikan di jembatan kantilever segmental" Namun, dapat memberi kontribusi dalam jumlah yang cukup untuk kehilangan pratekan.

Faktor lebih lanjut disebutkan dalam Bishara dan Papakonstantinou (1990) [2], yang berasal dan formula ini untuk menghitung *creep* yang memadukan pengurangan koefisien khusus "untuk memperhitungkan pengaruh baja tekan, gerakan sumbu netral, progresif retak pada elemen beton bertulang lentur dan efek dari baja *nontensioned* di elemen lentur beton pratekan. "Selain itu, koefisien dipertimbangkan untuk proses *curing*

beton.. Dan juga, kondisi-kondisi lingkungan yang secara langsung berpengaruh pada struktur dianggap sebagai faktor koreksi, yang hasil dari mengalikan faktor "efek kelembaban relatif, efek ketebalan minimum, efek slump, persentase agregat halus, efek rongga udara, pengaruh perbedaan umur segmen ketika dimuat" (Bishara dan Papakonstantinou, 1990, [2]).

Dalam studi mereka akhirnya ditulis catatan efek tambahan dari bentuk *traveler* itu sendiri, yang merupakan beban sementara selama konstruksi dan harus dipertimbangkan. Setelah menyelesaikan proses kantilever, " bentuk *travelers* yang dibongkar mengakibatkan defleksi ke atas. Sejak bentuk *traveler* tetap di posisi yang sama selama itu diperlukan untuk segmen yang akan dibangun, itu tergantung defleksi berdasarkan waktu "(Bishara dan Papakonstantinou, 1990, [2]).

Kesimpulannya, perpindahan yang diperoleh dari superposisi dari "perpindahan awal akibat beban mati, perpindahan karena gaya prategang sesaat setelah kehilangan, perpindahan jangka panjang karena beban mati, perpindahan jangka panjang tambahan karena kehilangan jangka-panjang pratekan, perpindahan jangka karena gerakan dasar (tanah), dan perpindahan dari nodal sama titik beban  $n$  karena beban hidup "(Bishara dan Papakonstantinou, 1990 [2]).

### C. Konstruksi Pengecoran Di Tempat

Konstruksi pengecoran di tempat, berbeda dengan konstruksi pracetak dimana segmen dibuat di sebuah pabrik pengecoran, dimana selama proses konstruksi segmen secara progresif dipasang ke dalam posisi akhir dalam struktur.

Menggambarkan analogi antara pengecoran di tempat dan konstruksi pracetak akan membantu memperoleh pemahaman tentang perbedaan pelaksanaan lapangan pada kedua metode tersebut. Kegiatan pertama pemasangan pracetak adalah pengangkatan segmen. Hal ini membutuhkan peralatan angkat, yaitu sebuah *crane* besar yang mengangkat dan mengangkut beban, yaitu segmen pracetak, dalam hal ini dari halaman penyimpanan ke ujung kantilever itu. Kapasitas peralatan tersebut tergantung pada saat itu diciptakan

oleh produk beban dan radius *boom crane* dan perlu mempertimbangkan ukuran segmen dibandingkan dengan ruang kerja yang tersedia.

Pemasangan pengecoran beton di tempat, pada dasarnya merupakan suatu kegiatan menempatkan. Metode ini mengharuskan menempatkan peralatan, yaitu *travelers* atau beberapa jenis peralatan perancah. Beton dikirim ke lokasi pengecoran dengan *bucket*, pompa, atau alat lainnya dan ditempatkan dalam bentuk. Diperlukan kapasitas bentuk *traveler* yang tergantung pada ukuran dan berat dari segmen terberat dan harus mendukung selama pengecoran dan *curing*.

**a. *Konstruksi Pengecoran di tempat Dengan Metode Kantilever***

Dalam paragraf berikut akan dijelaskan penerapan konstruksi beton cor di tempat dengan metode kantilever. Untuk kantilever dengan segmen pengecoran di tempat, sistem *traveler* diterapkan. Dengan demikian, biaya tinggi untuk pendirian pabrik pracetak dihindari. Selain itu, transportasi dan penyimpanan segmen pracetak berat dihindari dan tidak ada kewajiban pemasangan crane-berat.

Konstruksi pengecoran di tempat memerlukan pertimbangan cermat pada tahap konstruksi. Dengan mudah dapat dipahami bahwa untuk setiap segmen kantilever baru cor harus mendukung semua yang kemudian akan cor. Beton mengembangkan kekuatan dengan waktu setelah pengecoran. Umumnya kekuatan beton 28 hari ditentukan dan diuji, yang merupakan kekuatan setelah empat minggu. Kemudian keuntungan dalam kekuatan biasanya tidak dipertimbangkan ketika melakukan analisis struktural. Mereka menambahkan, beberapa kekuatan tambahan untuk struktur. Dalam sistem kantilever pengecoran di tempat setiap akan memiliki umur yang berbeda satu sama lain dengan durasi siklus pengecoran. Dari perbedaan umur maka terjadi perbedaan kekuatan beton tiap segmennya.

### 2.5.2 Teknik Pemasangan Konstruksi Jembatan Kantilever

Sub Bagian berikut akan menyajikan metode penting yang digunakan dalam mendirikan jembatan beton segmental dan peralatan yang digunakan. Fokus khusus terarah pada proses konstruksi, berkaitan dengan karakteristik dan persyaratan, keuntungan, dan kekurangan masing-masing metode.

#### A. Metode Kantilever

Sebelum digunakan dalam pembangunan jembatan beton, metode kantilever telah digunakan di Asia untuk struktur kayu (Podolny dan Muller (1982), [22]). Di antara struktur baja utama yang dibangun dengan metode kantilever adalah Jembatan Firth Rail dan Jembatan Quebec. Pemasangan jembatan beton dengan prinsip kantilever mengalami perkembangan, khususnya mengenai urutan pemasangan yang akan dibahas lebih lanjut di bawah ini.

Kantilever untuk jembatan beton segmental adalah metode konstruksi di mana segmen, baik pracetak atau *cast-in-place*, dirakit dan diberi tegangan bersama-sama selanjutnya seperti satu kesatuan membentuk menjadi superstruktur pendukung. Kabel prategang terletak di bagian atas segmen perletakan *cross section* kantilever. Dalam varian dari metode kabel, penempatan progresif sering digunakan untuk mendukung kantilever sebelum penutupan bentang.

Perilaku material yang tergantung terhadap waktu dari segmen, memerlukan langkah-langkah perhitungan beban yang komprehensif untuk semua tahap konstruksi. Setiap segmen akan mengembangkan kekuatan dengan bertambahnya umur beton. Untuk mengatur perilaku struktural yang menopang adalah bahwa setiap segmen membawa dan transfer beban dari semua segmen berikut dan beban konstruksi sampai penutupan span. Dari fakta-fakta dasar ini, hubungannya dengan geometri dan beban pada struktur akan memperhitungkan tegangan lokal, serta perhitungan defleksi yang disebabkan oleh beban tersebut.

Tergantung pada konfigurasi segmen dan urutan pemasangan, maka dipilihlah metode kantilever, metode ini mungkin tidak pernah tepat seimbang sehingga

superstruktur harus seimbang untuk menjamin stabilitas. Hal ini dapat dihindari dengan memperbaiki perletakan di pier dari kantilever superstruktur dan memasang vertikal pratekan tendon. Lebih lanjut, sangat umum untuk menggunakan sebuah tambahan pier sementara dengan vertikal prategang yang terletak dekat dengan permanenn piernya (Casas, Reliability-Based Partial Safety Factors in Cantilever Construction of Concrete Bridges.” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 1997, [4]). Pier ini mampu menahan momen guling pada saat beban tidak seimbang pada superstruktur jembatan.

Beberapa keuntungan telah berkontribusi bagi keberhasilan metode kantilever. Tentu saja yang paling penting adalah bahwa tidak ada perancah sehingga tidak akan terjadi halangan lalu lintas di bawahnya selama proses konstruksi. Akses dari bawah hanya diperlukan untuk pembangunan pier dan abutments dalam persiapan untuk memulai kantilever, yang dimulai dari lokasi-lokasi ini.

Hanya sedikit bekisting relatif diperlukan, karena sifat segmental superstruktur. Kantilever adalah metode yang sangat layak untuk jembatan yang memiliki elevasi yang cukup tinggi dari tanah.

a. **Konstruksi Pracetak**

Konstruksi pracetak berarti bahwa elemen jembatan atau segmen yang telah terfabrikasi di lokasi yang berbeda dari lapangan, dan diangkut ke lapangan, untuk kemudian di pasang di sana. Mathivat (*The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges*. A Wiley- Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc, New York, NY, 1983, [18]) memberikan bentang maksimum ekonomis jembatan yang dibangun untuk segmen pracetak sekitar 150 m, karena biaya peralatan akan mengalami peningkatan untuk penempatan jika semakin panjang bentang tersebut. Konstruksi dengan segmen pracetak memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan cor di tempat untuk jembatan segmental. Pengecoran dari segmen-segmen dapat dilakukan secara terkontrol. Proses pabrikasi memungkinkan kontrol yang

mudah untuk kualitas segmen sebelum penempatan di superstruktur dan menghemat uang melalui penggunaan kembali dari bekisting pracetak.

Keuntungan lain disebutkan oleh Mathivat (1983) [18] adalah bahwa pengecoran superstruktur dapat dihilangkan dari jadwal konstruksi secara keseluruhan. Perakitan jembatan suprastruktur sistem ini lebih cepat dibanding dengan metode cor di tempat karena tiap segmen pracetak tidak perlu dilakukan proses *curing* di lapangan sebelum diberi gaya pratekan. Pengaruh ketergantungan waktu untuk susut beton dan *creep* akan terjadi seiring dengan peningkatan umur dari segmen beton dan akan menyebabkan defleksi yang lebih kecil dari konstruksi cor di tempat (Mathivat 1983) [18].

Namun, biaya untuk proses pabrikasi pracetak, penyimpanan, transportasi, dan instalasi dari segmen pracetak perlu dievaluasi dibandingkan dengan biaya untuk sistem *travelers* konstruksi cor di tempat, untuk mencapai solusi yang ekonomis. Proses pabrikasi pracetak membutuhkan investasi dalam peralatan. Peralatan pengangkat juga diperlukan untuk menempatkan segmen ke tempat penyimpanan dan kemudian diletakkan di atas truk untuk dibawa ke lokasi pembangunan.

Ini adalah praktek umum untuk menggunakan metode pengecoran yang cocok untuk mencapai akurasi yang tinggi di segmen prefabrikasi. Pencampuran pengecoran berarti bahwa segmen yang di cor dalam bekisting antara perancah "di satu ujung dan yang dicor sebelumnya di segmen yang lain" (Levintov, Construction Equipment for Concrete Box Girder Bridges." *Concrete International*, 1995, [15]). harus bersih dari segala kotoran untuk pada saat pengecoran.

Levintov (1995) [15] membedakan beton prefabrikasi segmen menjadi *short-line casting* and *longline casting*. *Short-line casting* akan terdiri bekisting panjang hanya satu segmen, dengan segmen cor sebelumnya yang pindah ke posisi untuk pengecoran di *mobile carriage*. *Short-line casting* dapat dilakukan dalam posisi horizontal atau dengan segmen miring menghadap ke atas (Podolny dan Muller 1982, [22]), Namun, posisi



horizontal normal memfasilitasi proses pengecoran. Kesesuaian keseluruhan jembatan membutuhkan bekisting sebelum setiap penempatan beton. *Short-line casting* tidak membutuhkan banyak ruang kerja.

*Long-line casting* di sisi lain berarti pemasangan bekisting untuk sekitar jembatan bentang lengkap. Menurut Levintov (1995) [15] bekisting dapat didirikan stasioner untuk soffit suprastruktur saja, dengan bentuk yang lebih kecil dan bergerak untuk sisi interior web dan bekisting. Bekisting ini akan lebih murah daripada bekisting disesuaikan secara fleksibel untuk *short-line casting*, tetapi akan memerlukan lebih banyak ruang kerja. Levintov memperingatkan bahwa *Long-line casting* layak untuk superstruktur lurus atau superstruktur dengan kelengkungan konstan. Segmen adalah progresif di *long-line bekisting* dengan langkah-langkah pergerakan unit bekisting dan *bulkhead*.

**b. Konstruksi Pengecoran Di Tempat**

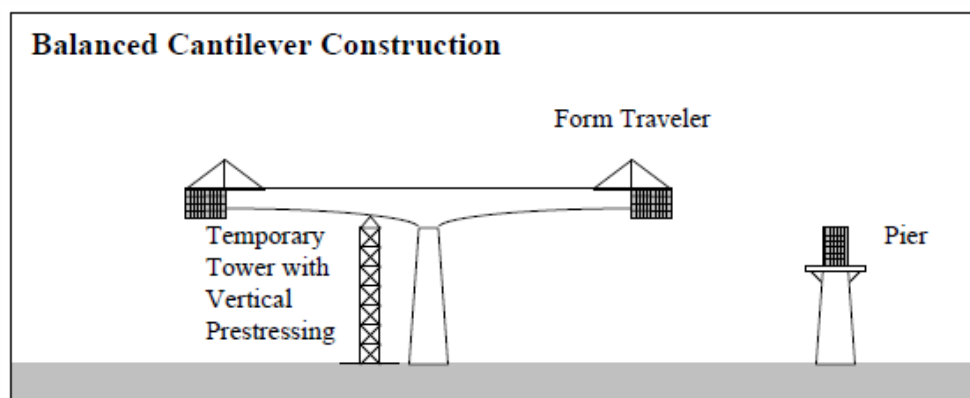
Podolny dan Muller (1982) [22] memberikan contoh untuk siklus pengecoran. Setelah menyelesaikan semua pekerjaan pada sebuah segmen bentuk traveler dilepas dari posisi sebelumnya dan pindah ke depan di atas cariage yang dipasang pada superstruktur jembatan. Untuk tetap seimbang pada proses pergerakan *traveler* dilengkapi dengan sebuah penyeimbang. Setelah tiba di posisi baru, disesuaikan dan berada ke superstruktur yang ada di belakang untuk mampu menahan momen guling yang akan terjadi dari berat beton baru. Bekisting eksternal dibersihkan dan disesuaikan dengan geometri yang diperlukan dari segmen berikutnya, juga menggabungkan *camber* yang diinginkan. Ketika *traveler* telah disusun, tulangan dan tendon untuk pelat dipasang dan akan dihubungkan dengan segmen sebelumnya. Konstruksi pengecoran di tempat memungkinkan untuk memiliki penguatan terus menerus pada struktur ringan, sedangkan pada konstruksi segmental pracetak hanya tendon prategang longitudinal terhubung dengan sambungan segmen.

Tulangan dapat di rakit menjadi satu kesatuan yang diangkat ke tempatnya dengan *crane*. Tendon pratekan sudah dimasukkan ke dalam saluran sebelum penempatan beton karena aksesibilitas yang lebih baik. Setelah persiapan ini, beton ditempatkan. Aksesibilitas dari bagian bawah *box girder* mungkin memerlukan bahwa slab bawah adalah cor sebelum bekisting internal untuk webs dan pelat bagian atas. Setelah proses pengecoran dimulai cukup untuk kekuatan dan ketahanan, tendon di segmen cor beton baru dapat pratekan. Akhirnya, siklus *casting* mulai dari awal lagi untuk membuang segmen berikutnya. Penempatan beton dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan ember yang mengangkat oleh *crane*, atau dengan pemompaan. Sementara menempatkan beton di lift perawatan perlu diambil bahwa tidak ada pemisahan campuran beton terjadi, dan bahwa konsolidasi yang tepat akan tercapai. Metode yang paling umum adalah untuk bergetar dalam bekisting beton dengan cara bergetar perangkat eksternal atau internal. Yang paling penting untuk kualitas beton yang menyembuhkan untuk mencapai kekuatan dan ketahanan. Setelah mendapatkan cukup kekuatan, tendon di segmen cor baru akan menekankan pada tingkat tertentu dan siklus dimulai lagi. Perlu dicatat bahwa urutan langkah-langkah yang diberikan dalam tabel ini hanyalah contoh umum dan akan dipecah menjadi langkah-langkah lebih lanjut untuk perencanaan proyek konstruksi yang sebenarnya:

**c. *Konstruksi Balanced Cantilever***

Konstruksi *Balanced Cantilever* menunjukkan sebuah bangunan superstruktur jembatan dari kedua sisi pier jembatan. Metode pemasangannya juga dikenal dengan nama konstruksi kantilever bebas (Podolny dan Muller 1982, [22]). Fletcher (1984) [7] memberikan informasi bahwa elemen pier yang dipakai sebagai dasar dari kantilever dimulai, biasanya antara 6 dan 12 m panjang. Untuk mengimbangi berat dari kedua lengan kantilever superstruktur segmen-segmen akan ditempatkan di kedua ujungnya. Realisasi penempatan segmen baru tidak tepat pada waktu yang

sama seperti Mathivat (1983) [18] mengungkapkan. Oleh karena itu, pier dapat mengalami momen guling dan harus dirancang sesuai. Sementara menara dengan *counterweights* prategang atau vertikal dapat memberikan dukungan tambahan. Gambar 2.34 skematis menunjukkan tahap konstruksi yang khas pada *Balanced Cantilever Konstruksi*.



Gambar 2.34 Konstruksi *Balanced Cantilever*

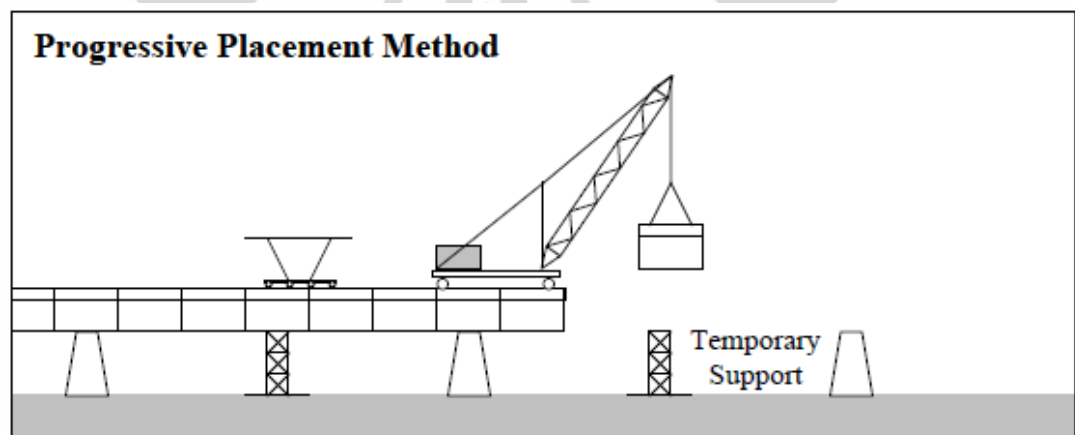
Balance kantilever dapat dilakukan dengan cor di tempat atau segmen pracetak. Untuk pengecoran di tempat metode *balance kantilever* mengatur dua traveler yang diperlukan, satu untuk setiap lengan kantilever itu. Untuk jembatan multi-span, *traveler* dapat dibongkar setelah menyelesaikan kantilever dari satu pier dan dapat diatur untuk penggunaan baru pada kantilever berikutnya.

Dalam kasus jembatan dengan *box girder*, kedalaman pier akan menjadi segmen paling besar dari superstruktur. Segmen ini perlu dibangun sebelum proses kantilever untuk menyediakan platform yang bekerja dari traveler dapat mulai. Hal ini juga termasuk diafragma yang memfasilitasi aliran kekuatan dari lengan kantilever ke pier. Karena ukurannya, geometri, dan konstruksi terpisah dari bagian superstruktur segmen pier akan memakan waktu yang cukup lama untuk membangun. Hal ini dapat dimasukkan ke dalam tempat yang baik dengan segmen pracetak besar atau cor di tempat dengan bekisting dipasang pada poros pier.

Desain menarik dari pier khusus, untuk kantilever disebutkan oleh Fletcher (1984) [7], yang menunjukkan bahwa pier kembar yang terdiri dari dinding transversal menguntungkan karena menyediakan stabilitas bagi kantilever tapi memungkinkan gerakan horisontal superstruktur dari perpanjangan termal melalui peregangan dinding panel.

**d. Metode Penempatan Progresif**

Metode penempatan progresif, jika dibandingkan dengan metode *balance cantilever*, adalah proses satu arah seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.35. Semua segmen kantilever selanjutnya ditempatkan pada ujung suatu kantilever yang dibangun di semua bentang. Pengecoran di tempat dan konstruksi segmental pracetak dapat digunakan. Penggunaan *stay cables* sementara dari ujung menara pada dukungan superstruktur kantilever itu. Menurut Mathivat (1983) [18] metode ini adalah kompetitif untuk bentang antara 30-50 m panjang, sedangkan pemasangan tambahan dan seimbang cantilevering juga digunakan untuk banyak bentang lagi.



Gambar 2.35 Metode Penempatan Progresif

Penempatan progresif memiliki beberapa keunggulan, seperti Mathivat (1983) [18] menunjukkan. Pertama-tama, proses penempatan tidak harus berganti pihak seperti yang terjadi pada metode *balance cantilever*. Jadi kontrol proses ini disederhanakan. Selain itu, akses yang baik untuk lokasi penempatan diberikan pada bagian sudah selesai dari superstruktur jembatan. Dengan metode penempatan horisontal kurva progresif dengan mudah dapat ditampung. Dari sudut pandang struktural metode penempatan

progresif yang menguntungkan dalam desain substruktur. Hanya kekuatan vertikal dari beban mati dari superstruktur di bawah.

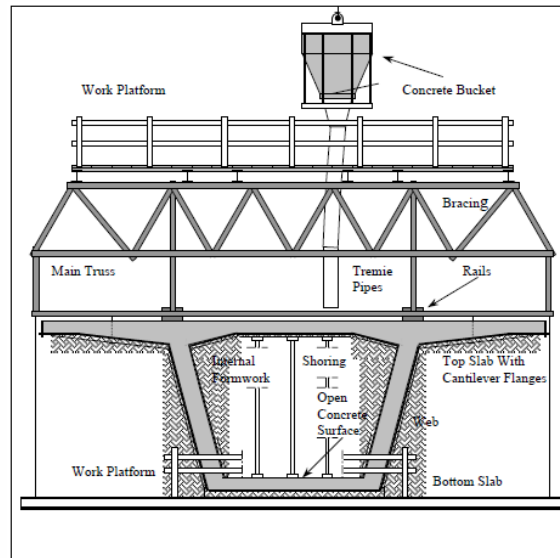
## B. Peralatan Pemasangan kantilever

Peralatan pemasangan yang digunakan di konstruksi jembatan dengan fokus khusus pada cor di tempat dan pracetak segmental jembatan kantilever, *travelers* serta pemasangan gelagar akan dijelaskan pada bagian ini. Peralatan lainnya yang dapat digunakan untuk penempatan pracetak segmen adalah misalnya *crane*.

### a. *Travelers*

Konstruksi kantilever cor di tempat memerlukan bekisting yang terpasang pada ujung kantilever tumpah untuk casting. Paragraf berikut akan membahas dengan *cross section* gelagar. *Traveler* (gambar 2.36) ini mewujudkan segmen, mendukung berat dari beton cor yang baru, sampai mendapatkan kekuatan yang cukup untuk diberikan tegangan ke segmen kantilever sebelumnya, dan mentransfer berat segmen ke superstruktur yang ada. Menentukan kapasitas *travelers* adalah ukuran maksimal dan berat awal segmen terbesar di superstruktur jembatan, termasuk beban konstruksi lainnya.

*Travelers* yang tersedia di industri konstruksi saat ini dibuat oleh produsen khusus dan dapat digunakan kembali dan sangat fleksibel (Levintov 1995) [15] sehubungan dengan perubahan geometri dari superstruktur jembatan dan keselarasan, termasuk camber. Dibandingkan dengan beton pracetak, bentuk *travelers* sering menawarkan solusi yang cukup mahal, karena transportasi dan penyimpanan segmen prafabrik. Fletcher (1984) [7] mencatat bahwa dengan menggunakan *traveler*, bekisting dapat digunakan kembali beberapa kali.



Gambar 2.36 Traveler

#### b. Peluncuran gelagar

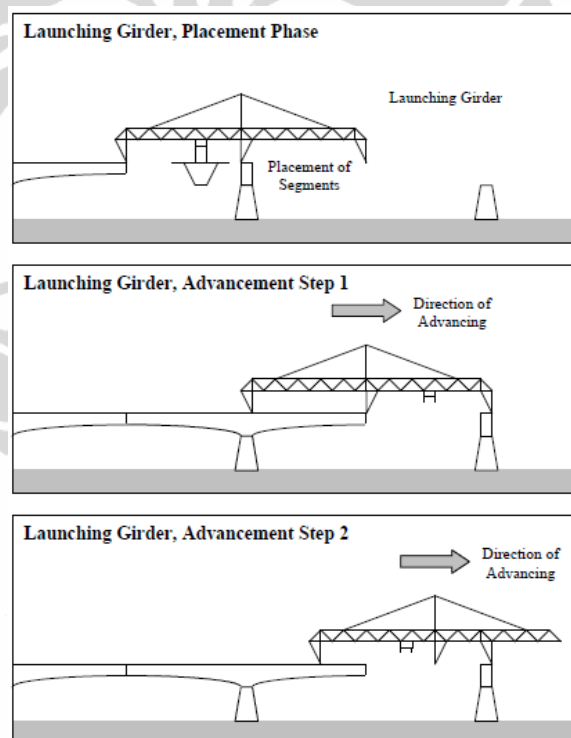
Selain dari berbagai jenis crane yang dapat digunakan untuk tempat segmen pracetak, peluncuran gelagar digunakan untuk tujuan ini. Levintov (1995) [15] menyebutkan akses yang terbatas di bawah dan tinggi jembatan dari tanah sebagai alasan-alasan mengapa peluncuran gelagar akan digunakan. Selama konstruksi mereka bergerak maju di atas rel setiap kali bagian utama dari superstruktur jembatan telah selesai.

Peluncuran gelagar-gelagar ditempatkan dalam arah longitudinal pada superstruktur jembatan. Satu atau lebih perangkat *crane* bergerak sepanjang segmen-segmen gelagar. Segmen pracetak dikirim ke gelagar oleh alat berat khusus. Jika peluncuran gelagar ini dari baja mutu tinggi, berat dapat dikurangi jauh. Namun, defleksi yang besar terjadi akibat dukungan tambahan dari gelagar dengan sistem *stay cables*. (Mathivat 1983) [18].

Peluncuran gelagar rangka dapat berbentuk segitiga atau segi empat dan dapat konstan pada kedalaman atau ketinggian menara. Sistem ini dapat dibongkar menjadi bagian-bagian yang terhubung dengan kekuatan gesekan baut mutu tinggi (Mathivat 1983, [18]).

- Peluncuran gelagar lebih dari satu bentang

Pembangunan superstruktur jembatan dengan peluncuran gelagar dengan bentang yang panjang dilakukan sebagai berikut. Setelah peluncuran gelagar dengan *rear leg* terletak pada ujung kantilever di *midspan* dan dengan *center legs* di pier berikutnya. Sekitar pier, segmen baru ini akan ditempatkan dengan sistem *balance cantilever* untuk mengisi setengah sisa bentang belakang pier dan memajukan kantilever ke *midspan* berikutnya. Setelah itu, pier segmen berikutnya ditempatkan dan dimajukan setengah bentang kantilever sehingga sampai ke bagian *guide leg* dan *rear leg*. *Guide leg* akan tetap di pier. Ketika *central leg* tiba di pier ini dan *guide leg* di *midspan* posisi penempatan berikutnya telah tercapai. Gambar 2.37 menunjukkan urutan konstruksi dengan meluncurkan gelagar lebih dari satu bentang.

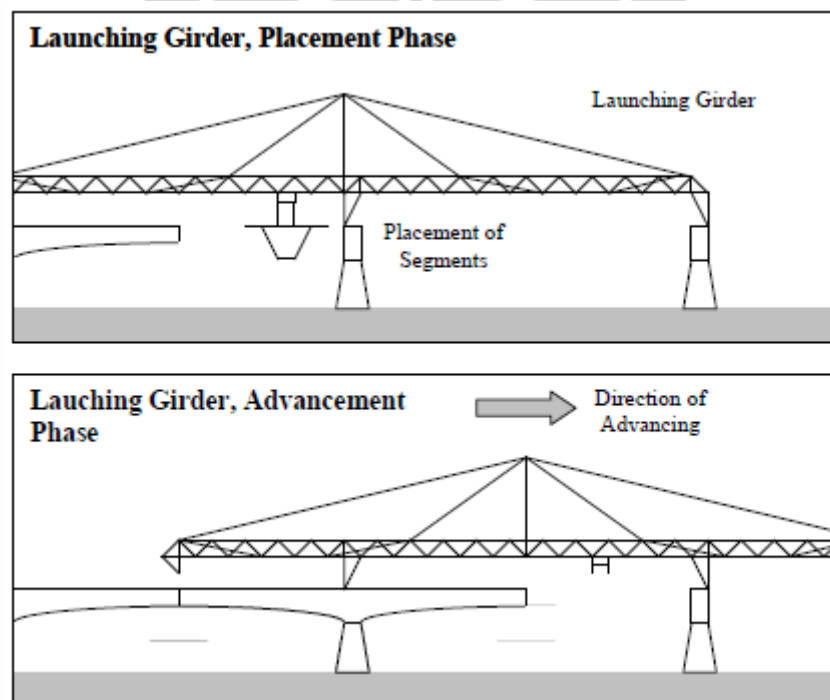


Gambar 2.37 Skema Kerja *Short Launching Girder*

- Peluncuran Gelagar Lebih dari dua bentang

Pembangunan superstruktur jembatan dengan peluncuran gelagar sekitar dua bentang tidak menimbulkan beban yang merugikan pada kondisi tersebut. Pada semua tahapan pelaksanaan beban dari gelagar akan terletak

di atas pier. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 2.38. Dalam penempatan posisi normal, peluncuran gelagar terletak pada *rear legs* yang di atas pier sebelum nya dan dengan *central leg* di atas sebuah pier. Hal ini, mungkin untuk mendukung pada *guide leg* setelah pier ketiga telah ditempatkan. Penempatan segmen kemudian akan dilanjutkan pada kedua sisi pier di tengah gelagar. Untuk mempercepat pembangunan, gelagar dapat dilengkapi dengan dua perangkat *crane* untuk menempatkan segmen di kedua sisi secara bersamaan. Setelah celah yang tersisa dalam superstruktur telah ditutup dan kantilever telah berkembang menjadi rentang berikutnya, gelagar bergerak maju satu bentang ke depan.



Gambar 2.38 Skema Kerja Peluncuran Panjang balok

### 2.5.3 Pengaruh Metode Pemasangan dan Urutan Konstruksi

Secara umum, setiap metode pemasangan dengan tahapan konstruksi sesuai dengan karakteristik tegangan yang berkembang pada struktur. Goni (The Chesapeake & Delaware Canal Bridge.” *Concrete International*, 1995, [8]) menjelaskan bagaimana perhitungan untuk Jembatan Delaware Canal Chesapeake telah dilakukan. Jembatan *cable stayed* ini dimodelkan dengan analisa perangkat



lunak yang di analisa secara bertahap dan tergantung dari material berdasarkan fungsi dari sifat dan waktu. Input data yang digunakan untuk pengolahan diberikan seperti di bawah ini (Goni, 1995, [8]):

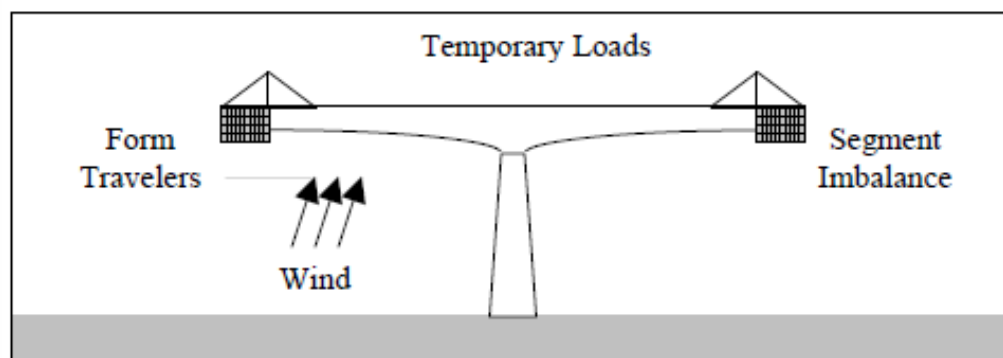
- *”Properti material setiap segmen termasuk karakteristik rangkai dan susut beton.*
- *Data pengecoran dan pemasangan setiap segmen box girder.*
- *Material properti dari masing-masing tendon termasuk luas, modul elastisitas, karakteristik relaksasi, dan gesekan dan wobble parameter yang mempengaruhi gaya sepanjang tendon.*
- *Dimensi tendon dan layout nya.*
- *Properti masing-masing kabel termasuk luas, modul elastisitas, dan lokasi sambungan ke tiang dan gelagar.*
- *Koordinat dari tiap nodal dan definisi segmen.*
- *Definisi dari semua beban yang diterapkan selama pemasangani.*
- *Definisi kondisi batas dari semua elemen struktur.*
- *Definisi pada setiap tahap konstruksi segmen dan kabel untuk dirakit, tendon yang diberi gaya pratekan, beban konstruksi yang akan diterapkan, dan kondisi batas untuk diimplementasikan. “*

*Balance cantilever* harus aman terhadap momen guling pada saat beban konstruksi sampai penutupan bentang. Cara untuk mengurangi momen guling adalah penggunaan menara sementara dengan vertikal prategang untuk menahan kompresi vertikal dan tegangan dari lengan kantilever tidak seimbang.. Mathivat (1983) [18] memberi contoh vertikal prategang dalam pier segmen untuk memperkaku superstruktur ke pier. Pier perlu dirancang cukup kuat untuk menahan momen guling yang mungkin terjadi dari kombinasi yang paling menguntungkan. Sebuah daftar singkat kemungkinan penyebab momen guling dari Mathivat (1983) [18] seperti pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.2 Penyebab untuk imbalance kantilever**

Penyebab Ketidakseimbangan	Contoh
Progres kerja yang tidak tepat	Pembetonan atau penempatan segmen yang lebih cepat di salah satu segmennya
Konstruksi yang tidak tepat	Perbedaan berat antara lengan kantilever kiri dan kanan
Beban lapangan sementara	Penempatan material di lengan kantilever
Beban angin	Kekuatan angin yang cukup kencang pada struktur
Kesalahan konstruksi	Kejatuhan pada saat pembetonan atau penempatan peralatan

Gambar 2.39 mengilustrasikan beberapa penyebab ketidakseimbangan tersebut untuk penopang selama konstruksi.

**Gambar 2.39 Penyebab Kantilever Imbalance**

Perancah memiliki karakteristik yang sangat berbeda dengan metode yang disajikan sebelumnya pemasangan. Ini membuat struktur yang dibangun di atasnya dengan dukungan kurang lebih elastis. Defleksi dari bekisting dan perancah sendiri serta settlement di tanah yang didirikan perlu dipertimbangkan dalam perhitungan tegangan dan defleksi. Oleh karena itu, camber superstruktur perlu disesuaikan.

#### **2.5.4 Metode Pelaksanaan Kontruksi Jembatan *Cable Stayed* Sistem Kantilever Beberapa Jembatan Yang Telah Di Bangun**

##### **A. Jembatan Gambar 2.25**

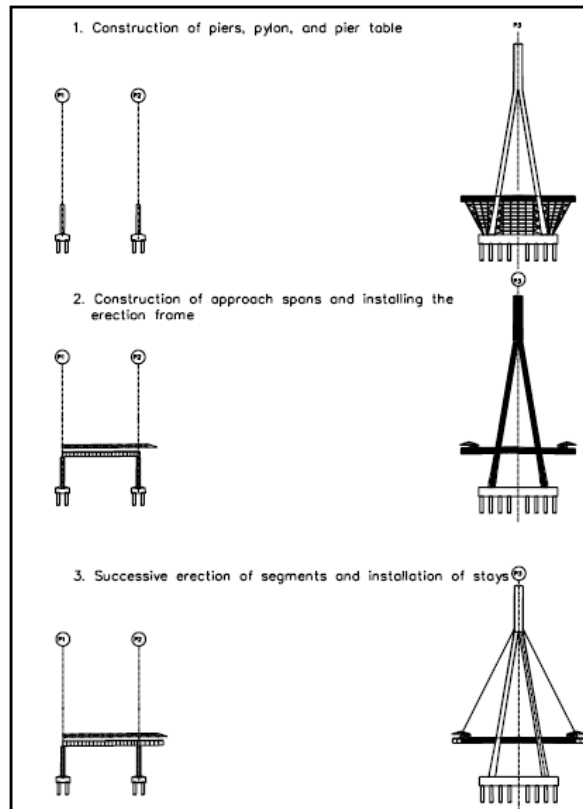
Setiap siklus terdiri dari kegiatan utama sebagai berikut:

1. Memajukan pemasangan frame
2. Mengangkat, menempelkan, dan meletakkan segmen dengan panjang tiga meter ke dalam desain levelnya.
3. Mengaplikasikan gaya pratekan sementara
4. Instalasi dan pemberian gaya pratekan
5. Memajukan pemasangan frame.
6. Mengangkat, menempelkan, dan meletakkan segmen dengan panjang tiga meter ke dalam desain levelnya.
7. Mengaplikasikan gaya pratekan sementara

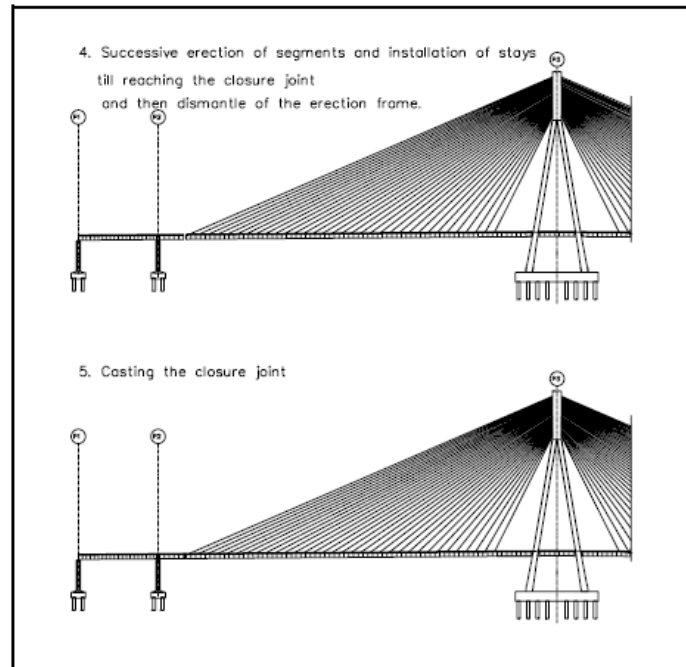
Dengan siklus terakhir seperti langkah berikut :

1. Memajukan pemasangan frame
2. Mengangkat, menempelkan, dan meletakkan segmen dengan panjang tiga meter ke dalam desain levelnya
3. Mengaplikasikan gaya pratekan sementara
4. Membongkar dari dua pemasangan frame.

Setelah diberi pratekan dari tendon kontinuitas, instalasi parapets dan perkerasan dimulai. Gambar 2.40 dan 2.41 mengilustrasikan skematis urutan pembangunan jembatan.



**Gambar 2.40** Urutan Konstruksi:



**Gambar 2.41** Urutan Konstruksi (lanjutan).

## B. Jembatan Kao Ping Hsi

Urutan konstruksi secara yang digunakan dalam pelaksanaan proyek Jembatan Kao Ping Hsi adalah sebagai berikut :

- Pertama membangun bagian gelagar beton segmen per segmen dengan perletakkan 7 pier sementara. (Pertama adalah pemasangan box girder dan kemudian pelat diletakkan setelah itu)
- Pemasangan kaki pilon dan memberikan gaya pratekan pada gelagar secara bersamaan.
- Kemudian pemasangan struktur gelagar menggunakan metode kantilever.

Masing-masing segmen gelagar mempunyai panjang 20 m yang di rakit di dekat proyek untuk kemudian di angkat dan diangkut menggunakan *hanging carrier* ke ujung depan kantilever. Untuk menghubungkan dengan segmen gelagar baru dipergunakan *crane*.



Gambar 2.42 Proses Pelaksanaan Jembatan Kao Ping Hsi

Penjelasan di bawah ini adalah proses urutan pelaksanaan konstruksi jembatan secara lebih mendetail :

- Tahapan konstruksi Gelagar Beton Pratekan (Bentang 1)

Gelagar beton pratekan adalah sebuah struktur komposit yang di pasang berdasarkan tahapan konstruksinya. Dengan pekerjaan konstruksi dari *box girder* menggunakan metode kantilever. Pengaruh rangkai dan susut harus dipertimbangkan sesuai dengan urutan konstruksi untuk mengetahui redistribusi gaya yang akan di induksi antara bagaian *box girder* dan pelat.

Gelagar beton pratekan di prestress internal maupun eksternal. Internal prestress yang digunakan pada tahap akhir proses konstruksi. Sedangkan Eksternal

*prestress* digunakan pada tahapan konstruksi sementara, ketika gelagar di dukung oleh pier baja sementara.

- Tahapan Konstruksi Pilon

Bagian bawah pilon dibangun bersamaan dengan gelagar beton pratekan. Setelah pilon beton dan gelagar beton pratekan tersambung, pemasangan bagian atas akan akan disinkronisasi dengan gelagar baja dan kabel menggunakan metode kantilever.

Skema pemasangan ini terdiri dari 42 tahapan konstruksi yang harus disimulasikan secara rinci. Alasan utama untuk melaksanakan seperti analisis rinci untuk pilon ini adalah untuk mendapatkan informasi lengkap tentang persyaratan pra-camber selama konstruksi (gambar 2.43).



Gambar 2.43 Pelaksanaan Konstruksi Pilon

- Tahapan Konstruksi Gelagar Baja

Setiap langkah dalam urutan pemasangan gelagar baja (gambar 2.44) harus tepat dan sesuai dengan analisis tahapan konstruksi. Urutan perakitan setiap segmen diberikan di bawah ini:

- Pasang segmen gelagar.
- Dorong crane sampai ke akhir segmen gelagar.
- Tarik hanging carrier menuju pilon
- Tarik kabel yang menghubungkan pilon dan gelagar

- e. Dorong hanging carrier termasuk berat dari gelagar baru pada di ujung gelagar sebelumnya.

Urutan yang sama akan diulang untuk semua segmen.



Gambar 2.44 Tahapan Konstruksi Gelagar

Berikut ini yang harus dipertimbangkan dalam analisis antara perakitan segmen terakhir dan akhir dari konstruksi.

- a. Rakit segmen terakhir dengan menghubungkan hanging carrier sebelah kiri dan kanan pada posisi ujungnya.
  - b. Lepas *derrick* dan *hanging carrier*
  - c. Lepas pier baja sementara
  - d. Aplikasikan beban tambahan permanen
  - e. Pemindahan gaya pratekan sementara dari gelagar beton pratekan
  - f. Beri gaya pratekan di gelagar beton
  - g. Proses rangkai dan susut hingga waktu tak terhingga.
- Langkah Memberikan Gaya Penarikan Pada Kabel

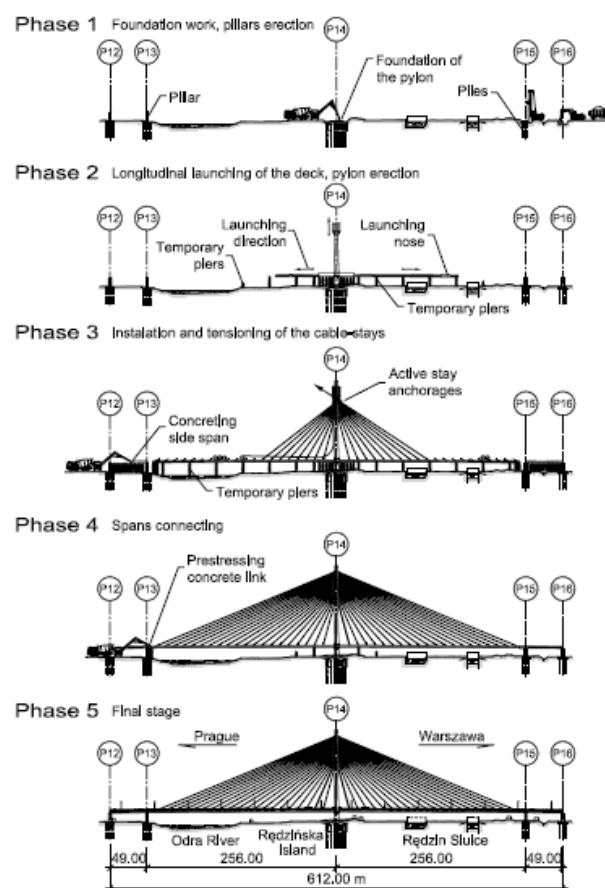
Salah satu masalah yang paling penting untuk desain kabel jembatan adalah untuk menetapkan strategi yang tepat untuk urutan pemberian gaya penarikan pada kabel (gambar 2.45). Dalam menentukan strategi tersebut, suatu isu yang penting adalah menentukan urutan penarikan kabel sehingga menghasilkan besaran gaya internal yang sama antara pilon dan gelagar. Perbedaan yang besar antara gaya internal yang terjadi di pilon dan gelagar menyebabkan semakin besar ukuran kedua penampang.



Gambar 2.45 Proses Penarikan Kabel

#### D. Jembatan Yang Menyeberangi Sungai Odra

Gambar 2.46 di bawah ini merupakan skema urutan tahapan konstruksi jembatan



Gambar 2.46 Skema Urutan Pemasangan Jembatan Sungai Odra



## 2.6 Simulasi dari Proses Konstruksi

Teknik konstruksi bertahap telah digunakan untuk pembangunan jembatan *cable stayed*. Dengan teknik ini, konstruksi pylon di bangun pertama kali kemudian segmen-segmen gelagar satu persatu dipasang dengan dukungan dari kabel yang digantung pada pylon. Ini membuktikan bahwa profil dari gelagar utamanya dan gaya tarikan kabel cukup kuat di setiap pelaksanaan konstruksi jembatan. Oleh karena itu, perencana harus memperhatikan pentingnya proses konstruksi dan menganalisa perilaku struktur di setiap tahapan konstruksi (Danjian Han, Quansheng Yan, South China University of Technology, [6]).

Pada suatu kasus, keamanan struktur merupakan hal yang penting. Sejak tegangan pada gelagar dan pylon dihubungkan oleh tarikan kabel. Maka gaya-gaya kabel menjadi perhatian yang serius. Setelah itu, dalam proses konstruksi selanjutnya geometrik dari penampang gelagar juga menjadi penting. Cukup menjelaskan, jika penampang gelagar tidak pas satu sama lain menyebabkan proses konstruksi mengalami permasalahan. Penampang dari gelagar ataupun elevasi dari segmen-segmen jembatan seharusnya di kontrol dengan panjang dari kabel. Oleh karena itu, panjang kabel harus di atur pada saat pemasangan tiap segmennya dan juga harus diperhatikan pada saat pelaksanaan konstruksi. Gaya-gaya internal dari struktur dan elevasi dari gelagar dapat bervariasi karena biasanya segmen-segmen jembatan dibangun oleh beberapa komponen peralatan pemasangan ditempatkan pada posisi yang berbeda selama konstruksi dan karena beberapa kesalahan seperti berat dari tiap segmen dan tarikan pada kabel mungkin terjadi. Jadi, monitoring dan penyesuaian sangatlah dibutuhkan.

Untuk mencapai desain yang diharapkan, simulasi yang efektif dan efisien dari langkah-langkah proses konstruksi sangat dibutuhkan. Tujuan dari simulasi ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan gaya kabel yang dibutuhkan pada setiap tahap konstruksi
2. Mengatur elevasi dari segmen-segmen gelagar
3. Mendapatkan nilai deformasi struktur pada setiap tahap konstruksi
4. Memeriksa tegangan pada penampang gelagar dan pylon

Metode simulasi diperkenalkan dan di diskusikan secara terperinci pada sub bab di bawah ini. Dalam Sub bab A, teknik *forward analysis* menjelaskan

*assemblage process*. Pengaruh rangkai bisa dipertimbangkan namun tujuan desain perencanaan kemungkinan tidak tercapai dengan sempurna oleh karena kesulitan dalam menentukan panjang kabel yang sesuai yang mana elevasi akhir untuk mendapatkan desain profil secara otomatis. Namun, metode simulasi pada sub bab B yaitu *disassemblage analysis* yang dimulai dari tahap akhir struktur dan di analisa secara terbalik yang berarti dimulai dari tahap akhir ke tahap awal perencanaan. Kerugian dari metode ini adalah efek rangkai tidak mampu didefinisikan. Namun nilai yang diperoleh dari *assemblage process* dapat digunakan dalam analisa ini. Kedua metode ini merupakan alternatif dalam mensimulasikan proses konstruksi jembatan *cable stayed*. Dan perlu di catat bahwa simulasi ini hanya terbatas pada pelaksanaan struktur atas saja.

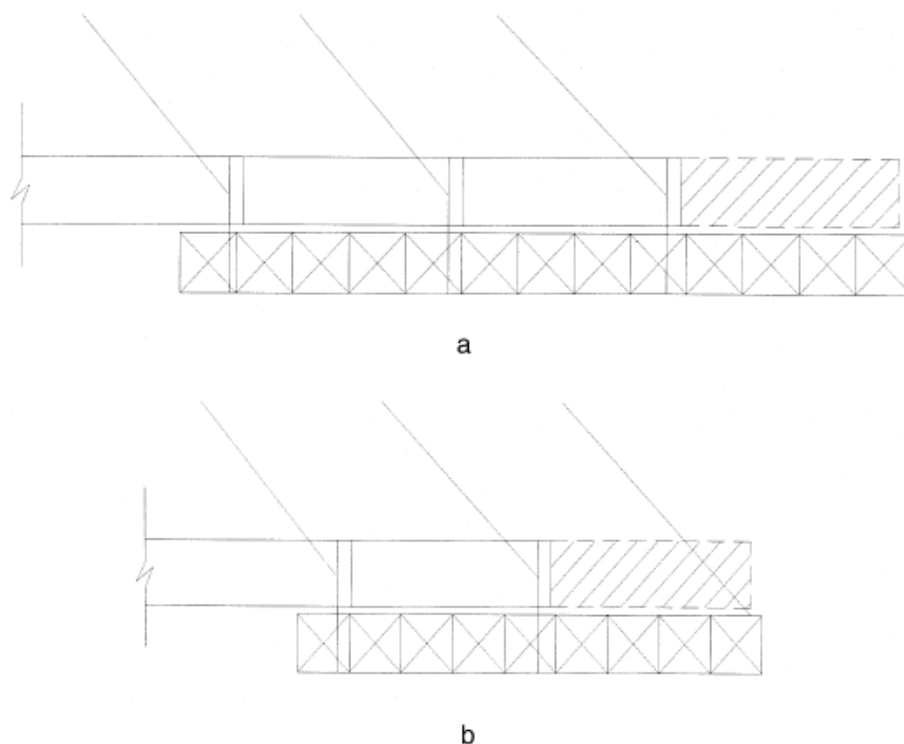
### **2.6.1 Forward Assemblage Analysis**

Berdasarkan prosedur pemasangannya, analisa simulasi konstruksi dapat dianalisa menggunakan metode elemen hingga. Prosedur ini dikenal juga dengan nama *forward assemblage analysis*. Metode ini digunakan untuk mensimulasikan proses pemasangan jembatan *cable stayed* sistem pratekan dengan metode kantilever.

Dengan menggunakan model elemen hingga, struktur dapat dimodelkan sebagai *plane frame* atau *space frame*. A *plane frame* model cukup baik untuk simulasi konstruksi karena beban-beban arah melintang jembatan seperti angin dapat diabaikan. *In a plane frame model*, struktur pylon dan gelagar dimodelisasi sebagai elemen balok sementara kabel dimodelkan sebagai elemen batang dengan Ernst modules sehingga pengaruh dari *sag* pada kabel dapat diperhitungkan. Konfigurasi struktur berubah tahap demi tahap. Biasanya, pada tahap penyambungan segmen gelagar diperlakukan sebagai elemen balok yang dihubungkan dengan struktur yang sudah terpasang dan berat sendirinya dimodelkan sebagai beban yang diaplikasikan di elemennya. Dan barulah gaya kabel muai diaplikasikan. Kemudian analisa dilakukan pada struktur di ubah untuk konfigurasi yang baru.

Dalam pemodelan elemen hingga beberapa faktor seperti beban konstruksi (berat peralatan dan *traveling carriage*) dan pengaruh rangkai dan susut beton haru dihitung secara terperinci.

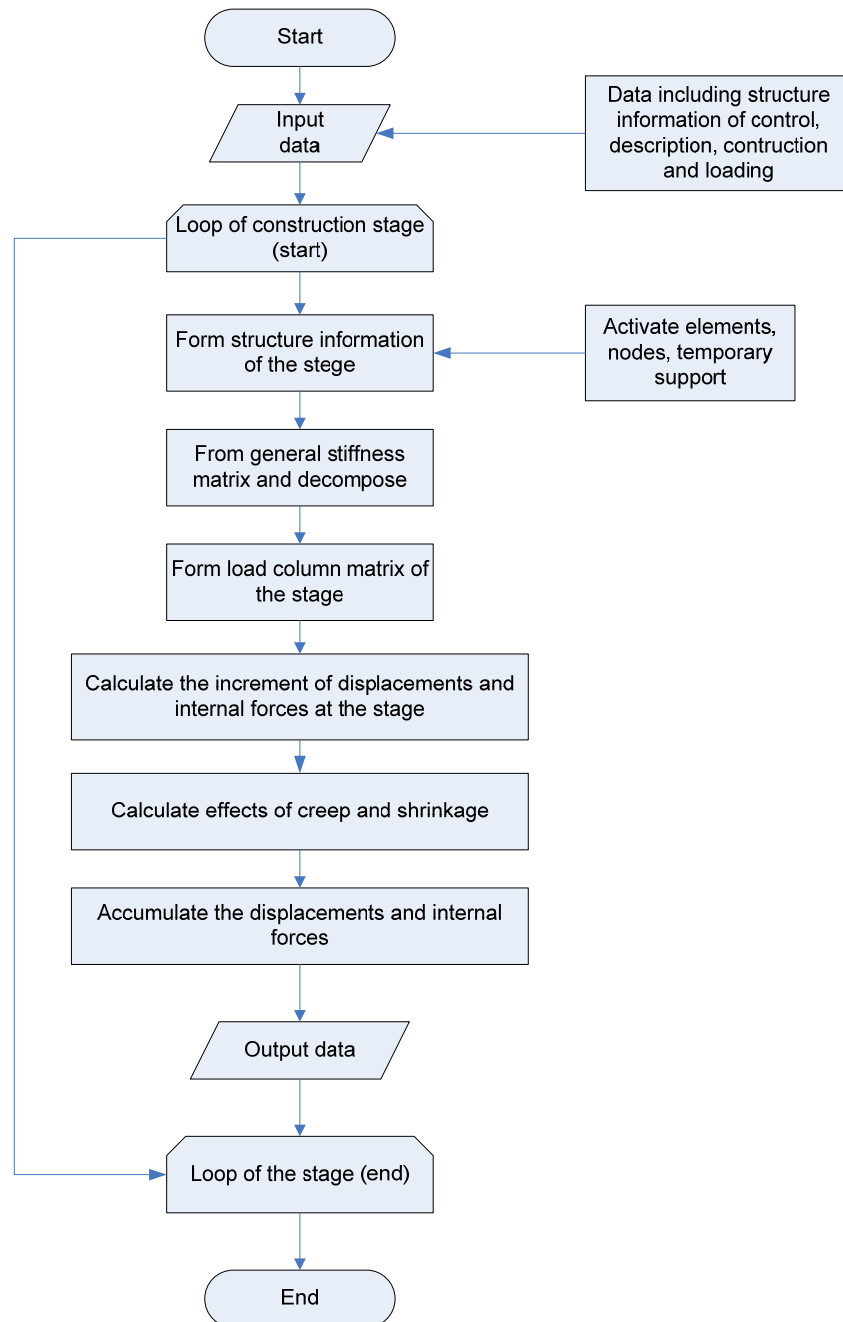
*Traveling carriage* di desain khusus untuk konstruksi dari jembatan. Secara umum ada dua macam carriage. Yang pertama adalah tipe kantilever (gambar 2.47 a). *Traveling carriage* dipasang dekat dengan ujung gelagar yang dimodelisasikan sebagai kantilever untuk mendukung segmen gelagar berikutnya. Dalam kasus ini, berat dari carriage dapat dimisalkan sebagai beban luar yang diaplikasikan pada segmen ujung gelagar.



Gambar 2.47 (a) Kantilever *carriage* (b) Kabel pendukung kantilever *carriage*

Dengan adanya sistem pengembangan sistem kabel, gelagar dengan ketinggian lebih rendah menjadi fleksibel. Gelagar itu sendiri tidak mampu menahan berat kantilever dari *carriage*. Untuk kemudian teknik pemasangan yang inovatif diajukan dan tipe dari *carriage* dikembangkan. Ide baru ini digunakan sebagai pendukung pada sistem ini (gambar 2.47 b) yang membuat pengecoran beton dapat dilaksanakan di lapangan. Metode ini dinilai cukup berhasil saat ini karena mempunyai keuntungan dari segi ekonomi. Keefektifannya telah dibuktikan

untuk berbagai jenis jembatan yang telah dibangun. Untuk metode pemasangan menggunakan *carriage* maka kinerja dari *carriage* ini sebagai bagian dari keseluruhan struktur ketika pengecoran di tempat segmental gelagar. Jadi, pemodelan traveler dapat di asumsikan dengan model elemen hingga untuk simulasi konstruksi. Diagram alir dari *forward assemblage analysis* di tunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.48 Diagram Alir *Forward Assemblage Analysis*

Dengan *forward assemblage analysis*, data perencanaan konstruksi dapat dikerjakan. Dan Gaya-gaya awal pada jembatan cable stayed dapat direncanakan. Lebih lanjut lagi, jika skema pemasangan terjadi perubahan selama masa konstruksi atau dalam kasus tertentu terjadi kesalahan konstruksi maka parameter-parameter struktur atau pemasangan beban sementara dapat dilakukan revisi perhitungan. Sehingga memungkinkan untuk memprediksikan besarnya gaya-gaya kabel dan menentukan urutan deformasi dari tiap tahap dengan menggunakan analisa ini.

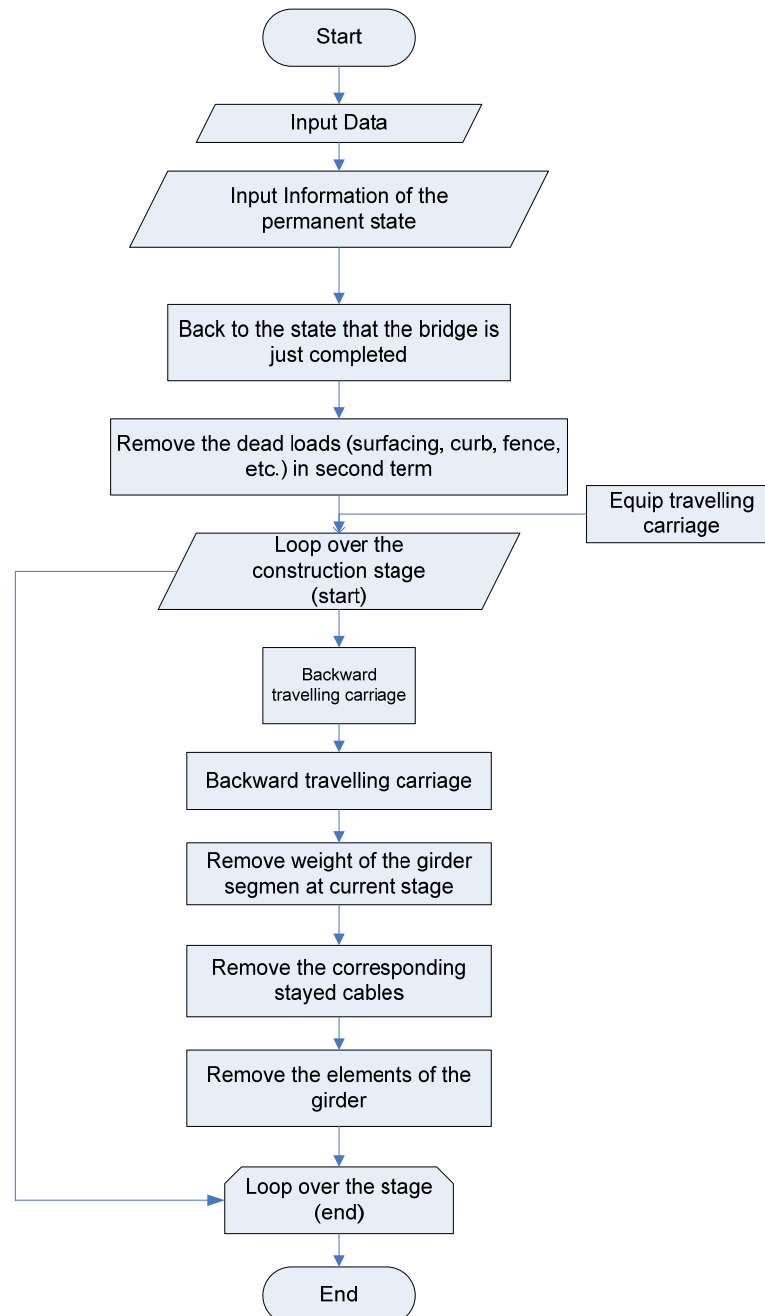
### **2.6.2 Backward Disassemblage Analysis**

*Backward disassemblage analysis* dapat dikerjakan dengan metode elemen hingga. Tidak hanya mengenai ketinggian gelagar tetapi juga panjang dari kabel dan gaya tarik awal kabel-kabel jembatan dapat dihitung dengan metode ini. Dan analisa struktur secara keseluruhan dari tiap langkah-langka pelaksanaan dapat dievaluasi.

Perencanaan awal dengan metode ini adalah mengasumsikan deformasi akibat rangkai dan susut beton mulai dari 5 tahun atau 1500 hari setelah tahap akhir konstruksi telah dilaksanakan. Deformasi yang terjadi pada struktur dan gaya-gaya internal yang bekerja dari tiap langkah dipertimbangkan berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut tempat konstruks jembatan di bangun. Prosedur *Backward analysis* untuk jembatan *cable stayed* sistem pratekan seperti di bawah ini :

- Langkah 1. Menginput stándar perencanaan yang berlaku
- Langkah 2. Menghilangkan efek dari susut dan rangkai pada beton dari masa 1500 hari atau 5 tahun setelah tahap akhir konstruksi
- Langkah 3. Menghilangkan beban-beban sekunder seperti perkerasan jalan, trotoar dan pembatas jembatan.
- Langkah 4. Mengaplikasikan traveler dan beban-beban primer beserta pendukungnya/ perletakannya.
- Langkah 5. Lepaskan segmen pusat untk menganalisa semi struktur secara terpisah.
- Langkah 6. Pindahkan alat *traveler* secara urutan mundur.

- Langkah 7. Hilangkan beban dari beton dari segmen-segmen yang dihubungkan.
- Langkah 8. Lepaskan kabel pendukungnya
- Langkah 9. Hilangkan hubungan elemen-elemen perbagian
- Ulangi langkah 6 sampai 9 untuk keseluruhan segmen-segmen gelagar yang akan di lepas. Diagram alir metode ini seperti di tunjukkan pada gambar 2.49



Gambar 2.49 Diagram Alir *Backward Disassemblage Analysis*

Untuk metode pemasangan menggunakan metode konvensional seperti pengecoran di tempat atau segmen-segmen beton pracetak maka *crane* dapat dimodelkan sebagai beban luar jembatan. Jadi, pergerakan dari *carriage* sama dengan perubahan dari posisi beban tersebut. Namun, untuk metode pemasangan menggunakan kabel sebagai pendukungnya, gaya kabel ini akan menahan *carriage* dan setelah proses pengecoran selesai kabel ini akan dihubungkan dengan gelagar secara permanen. Dalam *backward disassemblage analysis*, pergerakan traveler harus dihubungkan untuk merubah sistem dari struktural.

Prosedur ini dapat menetapkan data mengenai pemasangan dari tiap langkah perencanaan seperti elevasi dari gelagar, gaya-gaya kabel, deformasi dari struktur, dan tegangan kritis dari penampang gelagar dan pilon.

Salah satu dari kelemahan metode ini adalah efek dari rangkai tidak dapat diperkirakan karena simulasi pekerjaan *forward* dan *backward* harus digunakan secara bergantian untuk menentukan tarikan awal dan panjang dari kabel jembatan.

## **2.8 Pemasangan Jembatan Cable Stayed Menggunakan Struktur Dek Komposit**

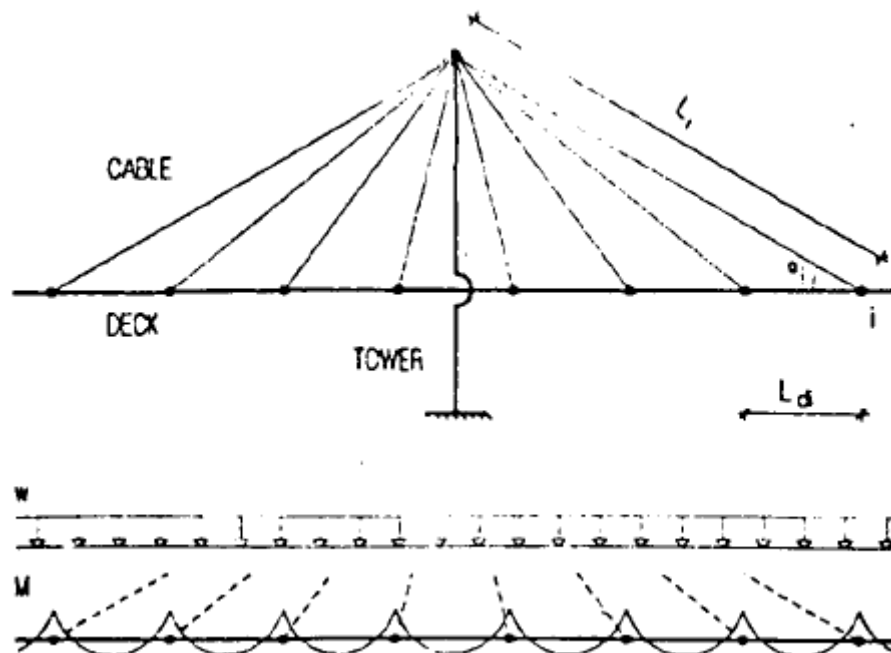
Jenis siklus pemasangan untuk segmen dek jembatan didefinisikan menjadi empat tahap dan dua langkah penarikan kabel.

1. Tahap Pemasangan Baja : Pabrikasi struktur dek baja yang telah terangkai terdiri dari dua gelagar utama arah longitudinal dengan kabel angkur di bagian ujung nya dan tiga gelagar melintang yang diangkat menggunakan crane dari kapal tongkang (*barges*) dan di pasang pada dek.
2. Tahap Pemasangan Panel : Pelat beton pracetak di tempatkan pada gelagar baja dan kemudian di pasang kabel secara paralel. Ketika keseluruhan pelat telah ditempatkan, kabel tersebut d tarik.
3. Tahap Freeze : Setelah dilakukan survey mengenai elevasi dari geometri dan nilai gaya kabel, titik-titik sambungan pelat beton dan gelagar baja dilakukan proses pengecoran sehingga akan membuat elemen baru secara utuh dan membentuk struktur yang komposit.
4. Tahap Akhir : Ketika nilai kuat tekan dari pelat beton telah mencapai nilai kuat tekan yang cukup, maka dilakukan penarikan kabel yang kedua kali,

dimana struktur tersebut akan mampu menahan beban permanen struktur dan menjamin bahwa nilai momen lentur pada gelagar sama dengan nilai momen pada perletakkannya (titik pertemuan kabel dan gelagar).

### 2.8.1 Penarikan Kabel Gelagar Beton

Metode untuk gelagar beton yang akan dijabarkan pada bagian ini di dasarkan pada konfigurasi beban mati dengan asumsi balok menerus, dan efek dari rangkai tidak dipertmbangkan dalam penganalisaan perhitungan. Untuk konfigurasi dari beban mati, gaya internal aksial secara jelas didefinisikan. Selama diberi beban mati dengan nilai  $w$ , gelagar baja berperilaku sebagai struktur balok menerus dengan perletakan kaku.



Gambar 2.50 Konfigurasi Beban mati, Beban mati ( $w$ ), momen pada gelagar

Dimana nilai dari gaya kabel di tiap kabel  $i$ , berdasarkan rumus berikut

$$P_i = \frac{w \cdot L_i}{\sin \alpha_i} \dots\dots\dots [2.22]$$

Panjang kabel awal dari komponen jembatan dapat diperhitungkan secara langsung dari nilai konfigurasi beban mati, gaya aksial kabel, dan bentuk penampangnya. Untuk menjamin gaya kabel yang dikehendaki di tahap akhir konstruksi, panjang kabel harus direncanakan seperti rumus berikut :



$$\Delta L_i = L_i \left( \frac{P_i}{E \cdot A_i} \right) \dots\dots\dots [2.23]$$

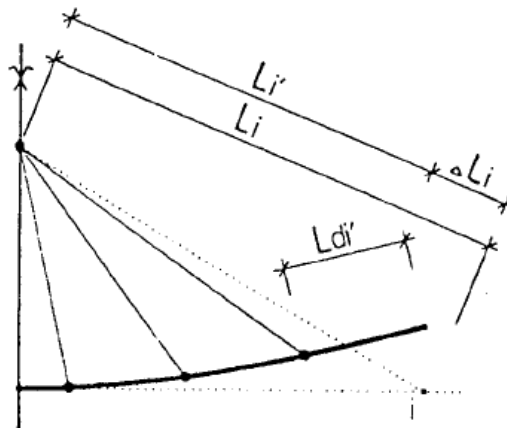
$L_i$  = panjang kabel pengaruh beban mati

$E$  = modulus elastisitas

$A$  = luas area kabel

Nilai panjang kabel sebelum diberikan gaya pratekan :

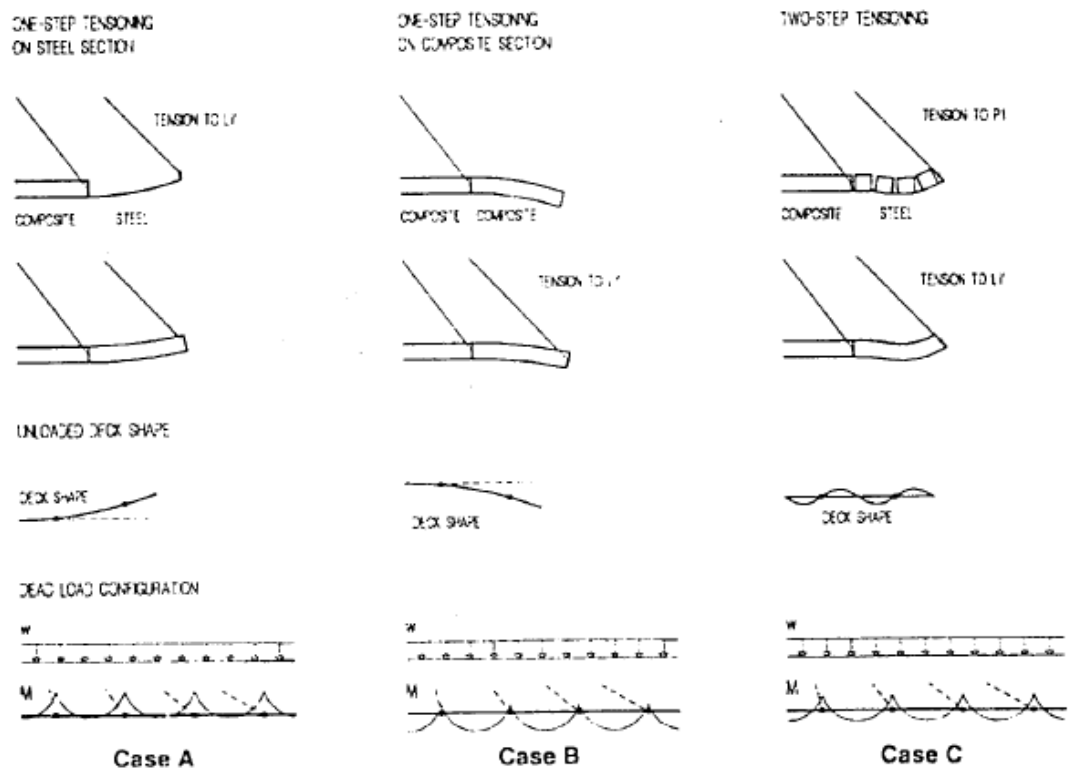
$$L_i = L_i - \Delta L_i \dots\dots\dots [2.24]$$



Gambar 2.51 Simulasi Panjang Kabel

### 2.8.2 Penarikan Kabel Gelagar Komposit

Untuk gelagar komposit, pada penarikan tahap pertama, dan tergantung dari gaya kabel yang diaplikasikan, perilaku dari gelagar baja yang baru terpasang bisa melentur ke atas atau ke bawah. Dan deformasi ini akan menjadi kaku ketika beton telah di cor pada sambungannya. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai penarikan kabel 1 tahap dan 2 tahap. Dimana akan diberikan tiga kasus yaitu A, B, dan C. Kasus A merupakan one step tensioning on steel section, Kasus B adalah one step tensioning on composite section, dan Kasus C yaitu two step tensioning. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.52 Tiga Kasus Penarikan Kabel

Untuk nilai gaya tarik kabel pada gelagar komposit seperti rumusan berikut ini.

$$P_i = \frac{wl^2}{6 \left( \sin \alpha \cdot \frac{1}{2} + \cos \alpha \cdot e \right)} \dots\dots\dots [2.25]$$

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tahapan Kegiatan Penelitian**

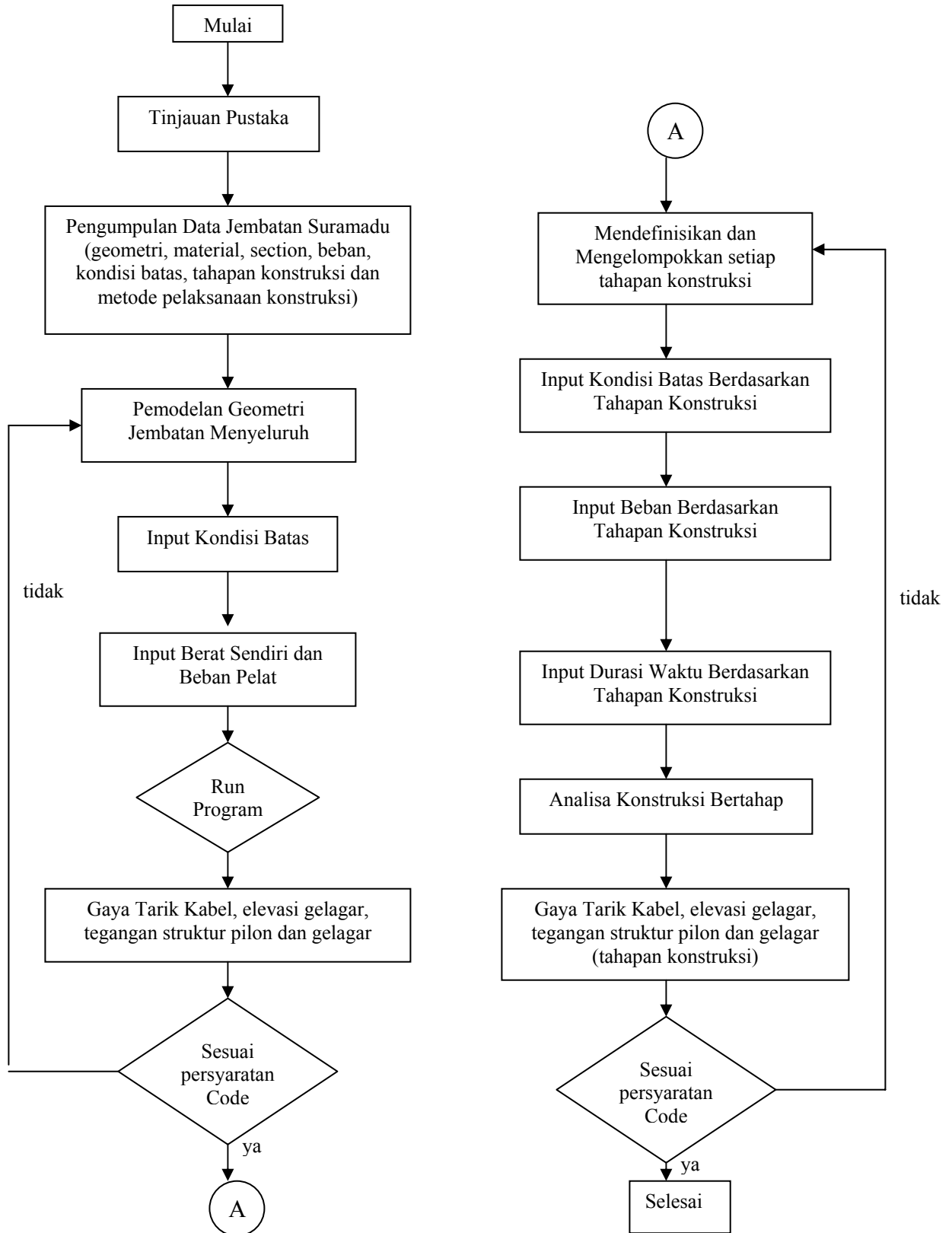
Tahapan kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan identifikasi masalah mengenai tahapan-tahapan pekerjaan konstruksi jembatan *cable stayed*.
- b. Mendefinisikan parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam pembangunan jembatan *cable stayed*.
- c. Memilih studi kasus jembatan *cable stayed* yang ada di Indonesia, dalam penelitian ini digunakan kasus Jembatan Suramadu.
- d. Studi pustaka tentang analisa konstruksi jembatan *cable stayed* berupa teori, pustaka, makalah-makalah, jurnal yang berkaitan dengan teori jembatan *cable stayed*, pelaksanaan konstruksi, dan metode analisisnya.
- e. Mengumpulkan data-data Jembatan Suramadu untuk penganalisaan penelitian konstruksi bertahap yang diperlukan. Data-data tersebut seperti geometri struktur jembatan, dimensi penampang pylon, gelagar, dan kabel, kondisi batas struktur jembatan, tahapan konstruksi jembatan dan waktu yang dibutuhkan, gaya-gaya penarikan kabel tiap tahapan, elevasi gelagar per segmen, dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan konstruksi jembatan.
- f. Menentukan standar pembebanan yang digunakan dalam pemodelan jembatan secara keseluruhan dan bertahap.
- g. Mencari referensi dan standar perencanaan yang digunakan dalam menganalisa Jembatan Suramadu.
- h. Memilih aplikasi komputer yang mampu menganalisa struktur jembatan *cable stayed* dan pemodelan konstruksi bertahap dengan memperhitungkan perilaku material/bahan akibat susut, rangkai, kuat tekan, dan relaksasi tendon.

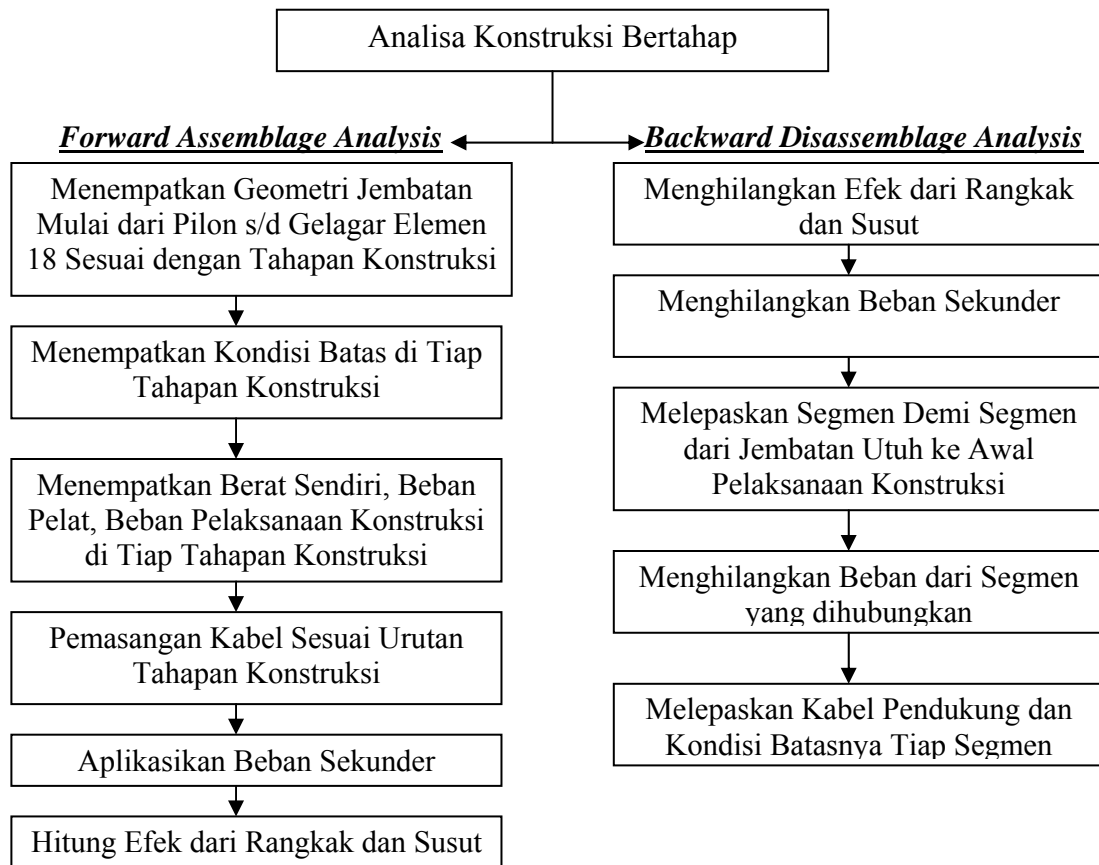
- i. Pemodelan Jembatan Suramadu secara keseluruhan dengan menginput geometri struktur, kondisi batas, beban, dan kombinasi pembebanan.
- j. Dari hasil pembebanan pada struktur jembatan akibat berat sendiri akan diperoleh besaran gaya tarik kabel awal, setelah itu lakukan pemodelan jembatan keseluruhan dengan menambahkan beban pelat pada jembatan untuk memperoleh hasil gaya tarik kabel setelah pelat diletakkan.
- k. Melakukan analisa konstruksi bertahap jembatan berdasarkan waktu dengan membagi segmen-segmen pekerjaan berdasarkan kondisi lapangan (telah dilaksanakan). Berdasarkan pengumpulan data, ada 89 langkah pekerjaan konstruksi bertahap Jembatan Suramadu.
- l. Menginput kondisi batas, beban, dan durasi waktu proses konstruksi sesuai dengan tahapan konstruksinya.
- m. Menganalisa konstruksi jembatan bertahap.
- n. Melakukan pengecekan hasil output berupa gaya-gaya kabel, elevasi gelagar, tegangan pada pilon dan gelagar dari proses tahapan konstruksi.
- o. Menganalisa perilaku jembatan seperti tegangan dan lendutan dari tiap segmen.
- p. Membandingkan gaya tarik kabel pertama, kedua serta elevasi gelagar antara analisa jembatan keseluruhan dengan analisa jembatan secara bertahap.
- q. Hasil pada point p diperbandingkan kembali dengan hasil perhitungan desain sebelumnya (perhitungan dari consortium china)

### **3.2 Bagan Alir Penelitian**

Lingkup Kegiatan sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.1 diatas akan dilaksanakan dengan bagan alir sebagaimana disajikan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1a Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1b Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Tahapan dan Beban Pelaksanaan Berdasarkan Waktu

Dalam pelaksanaan konstruksi jembatan, pada setiap tahapan konstruksi, besarnya gaya-gaya dalam, tidak boleh melampaui kapasitas penampang dan pada tahap akhir pembebanan, perpindahan titik puncak tower dan lendutan lantai jembatan harus memenuhi yang diisyaratkan dalam perencanaan.

Pada kasus jembatan sistem *cable stayed*, pada tahap akhir dari pembebanan (beban konstruksi), *displacement* dari puncak tower harus sekecil mungkin dan masih dalam toleransi. Demikian pula dengan lendutan pada lantai jembatan. Sebagai syarat, bahwa *displacement* dari lantai pada posisi kabel (*stay support*) akibat beban konstruksi bekerja harus sekecil mungkin. Dengan dicapainya lendutan pada posisi kabel yang kecil, bidang momen dari lantai jembatan menjadi optimum dan bahkan

dapat dicapai kondisi momen positif hampir sama dengan momen negatif pada setiap peralihan antar tumpuan kabel.

Untuk mendapatkan kondisi tersebut di atas dapat dilakukan dengan mengaplikasikan gaya pratekan (gaya aksial) pada kabel. Dengan cara demikian, setiap tahapan pelaksanaan konstruksi jembatan besarnya gaya pratekan dapat ditentukan. Pada analisa struktur jembatan sistem *cable stayed*, metode konstruksi akan menentukan tahapan analisa. Terdapat 89 langkah dalam pembangunan Jembatan *Cable Stayed* Suramadu yang mencerminkan tahapan-tahapan yang harus di analisis.

Tabel 3.1 Tahapan Pelaksanaan dan Analisis Jembatan *Cable Stayed* Suramadu

Item Konstruksi	Langkah	Deskripsi	Waktu (D)	Akumulasi Waktu (D)	Data CCC	Asumsi
	2	Konstruksi pylon, pier sementara, dan V pier	300	540		
Segmen 0 dan 1	3	Angkat segmen girder baja 0 dan 1, sementara kencangkan antara <i>lower cross beam</i> dari pylon dan gelagar utama LB0	4	544	700 kN	Pier sementara dipasang pada LB0 dan segmen gelagar 10 (tepi)
	4	Tarik kabel simetris SC1 dan MC1 untuk pertama kali	1	545	1091.7 kN; 1086.7 kN	
	5	Angkat dan pasang pelat dek pracetak dari segmen 0 dan 1 pada gelagar baja	2	547	800 kN	
	6	Tarik kabel simetris SC1 dan MC1 untuk yang kedua	1	548	2622.7 kN; 2622.5 kN	
Segmen 2	7	Pasang peralatan angkat di segmen 1	2	550	800 kN	
	8	Angkat gelagar simetris baja segmen 2	1	551	700 kN	
	9	Pasang gelagar baja dari segmen 2 dan tarik kabel simetris SC2 dan MC2 untuk pertama kali	1	552	764.6 kN; 759.6 kN	
	10	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 2 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	554	800 kN	
	11	Tarik kabel simetris SC2 dan MC2 untuk yang kedua	1	555	1664.4 kN; 1664.3 kN	
Segmen 3	12	Angkat gelagar simetris baja segmen 3	1	556	700 kN	
	13	Pasang gelagar baja dari segmen 3 dan tarik kabel simetris SC3 dan MC3 untuk pertama kali	1	557	814.2 kN; 809.1 kN	
	14	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 3 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	559	800 kN	



	15	Cor sambungan beton antara segmen 0 dan 1 untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	571		
	16	Tarik kabel simetris SC3 dan MC3 untuk yang kedua	1	572	1762.4 kN; 1812 kN	
Segments 4	17	Angkat gelagar simetris baja segmen 4	1	573	700 kN	
	18	Pasang gelagar baja dari segmen 4 dan tarik kabel simetris SC4 dan MC4 untuk pertama kali	1	574	876.5 kN; 871.4 kN	
	19	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 4 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	576	800 kN	
	20	Tarik kabel simetris SC4 dan MC4 untuk yang kedua	1	577	1918.6 kN ; 1918.3 kN	
Segmen 5	21	Angkat gelagar simetris baja segmen 5	1	578	700 kN	
	22	Pasang gelagar baja dari segmen 5 dan tarik kabel simetris SC5 dan MC5 untuk pertama kali	1	579	937 kN; 931.8 kN	
	23	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 5 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	581	800 kN	
	24	Cor sambungan beton antara segmen 2 dan 3 untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	593		
	25	Tarik kabel simetris SC5 dan MC5 untuk yang kedua	1	594	2168 kN; 2217.5 kN	
Segmen 6	26	Angkat gelagar simetris baja segmen 6	1	595	700 kN	
	27	Pasang gelagar baja dari segmen 6 dan tarik kabel simetris SC6 dan MC6 untuk pertama kali	1	596	998.7 kN; 993.5 kN	

	28	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 6 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	598	800 kN	
	29	Tarik kabel simetris SC6 dan MC6 untuk yang kedua	1	599	2222.9 kN; 2222.5 kN	
Segmen 7	30	Angkat gelagar simetris baja segmen 7	1	600	700 kN	
	31	Pasang gelagar baja dari segmen 7 dan tarik kabel simetris SC7 dan MC7 untuk pertama kali	1	601	1068.7 kN; 1058.5 kN	
	32	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 7 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	603	800 kN	
	33	Cor sambungan beton antara segmen 4 dan 5 untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	615		
	34	Tarik kabel simetris SC7 dan MC7 untuk yang kedua	1	616	2522 kN; 2421.9 kN	
Segmen 8	35	Angkat gelagar simetris baja segmen 8	1	617	700 kN	
	36	Pasang gelagar baja dari segmen 8 dan tarik kabel simetris SC8 dan MC8 untuk pertama kali	1	618	1127.5 kN; 1117.3 kN	
	37	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 8 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	620	800 kN	
	38	Tarik kabel simetris SC8 dan MC8 untuk yang kedua	1	621	2574 kN; 2573.5 kN	
Segmen 9	39	Angkat gelagar simetris baja segmen 9	1	622	700 kN	
	40	Pasang gelagar baja dari segmen 9 dan tarik kabel simetris SC9 dan MC9 untuk pertama kali	1	623	1195.9 kN; 1185.5 kN	

	41	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 9 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	625	800 kN	
	42	Cor sambungan beton antara segmen 6 dan 7 untk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	637		
	43	Tarik kabel simetris SC9 dan MC9 untuk yang kedua	1	638	2726.6 kN; 2775.8 kN	
Segmen 10	44	Angkat gelagar simetris baja segmen 10	1	639	700 kN	
	45	Pasang gelagar baja dari segmen 10 dan tarik kabel simetris SC10 dan MC10 untuk pertama kali	1	640	1248.4 kN; 1244.3 kN	
	46	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 10 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	642	800 kN	
	47	Tarik kabel simetris SC10 dan MC10 untuk yang kedua	1	643	2424.5 kN; 2628.2 kN	
Segmen 11	48	Angkat gelagar simetris baja segmen 11	1	644	700 kN	
	49	Pasang gelagar baja dari segmen 11 dan tarik kabel simetris SC11 dan MC11 untuk pertama kali	1	645	1481.4 kN; 1299.7 kN	
	50	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 11 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	647	800 kN	
	51	Cor sambungan beton antara segmen 8 dan 9 untk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	659		
	52	Tarik kabel simetris SC11 dan MC11 untuk yang kedua	1	660	2777.8 kN; 2777.9 kN	
Segments	53	Angkat gelagar simetris baja segmen 12	1	661	700 kN	

12	54	Pasang gelagar baja dari segmen 12 dan tarik kabel simetris SC12 dan MC12 untuk pertama kali	1	662	1543.3 kN; 1363 kN	
	55	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 12 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	664	800 kN	
	56	Tarik kabel simetris SC12 dan MC12 untuk yang kedua	1	665	2933.7 kN; 2784.1 kN	
Segmen 13	57	Angkat gelagar simetris baja segmen 13	1	666	700 kN	
	58	Pasang gelagar baja dari segmen 13 dan tarik kabel simetris SC13 dan MC13 untuk pertama kali	1	667	1600.5 kN; 1418.5 kN	
	59	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 13 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	669	800 kN	
	60	Cor sambungan beton antara segmen 10 dan 11 untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	681		
	61	Tarik kabel simetris SC13 dan MC13 untuk yang kedua	1	682	3183.6 kN; 2934 kN	
Segmen 14	62	Angkat gelagar simetris baja segmen 14	1	683	700 kN	
	63	Pasang gelagar baja dari segmen 14 dan tarik kabel simetris SC14 dan MC14 untuk pertama kali	1	684	1651.4 kN; 1474.4 kN	
	64	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 14 pada gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat ke depan.	2	686	800 kN	
	65	Tarik kabel simetris SC14 dan MC14 untuk yang kedua	1	687	3542.4 kN; 3042.2 kN	

Segmen 15	66	Pasang alat pengunci sementara untuk bentang penutup, angkat gelagar baja SLB15 dan pelat dek dari segmen 15 bentang samping	1	688	700 kN	
	67	Pasang gelagar baja SLB15 sebagai penutup bentang samping, kemudian bongkar alat pengunci sementara dan peralatan angkat dari bentang samping	1	689		
	68	Pasang gelagar baja MLB15 pada bentang tengah dan hubungkan kedua nya	1	690		
	69	Tarik kabel simetris SC15 dan MC15 untuk pertama kali	2	692	1613.8 kN; 1432 kN	
	70	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 15 pada bentang tengah gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat dari bentang tengah ke depan	1	693	800 kN	
	71	Cor sambungan beton antara segmen 12 dan 13 untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	705		
	72	Tarik kabel simetris SC15 dan MC15 untuk yang kedua	1	706	3989.3 kN; 3241.9 kN	
Segmen 16	73	Angkat gelagar baja segmen 16 di bentang tengah	1	707	700 kN	
	74	Pasang gelagar baja segmen 16 di bentang tengah dan tarik kabel simetris SC16 dan MC16 untuk pertama kali	1	708	1684.8 kN; 1481.4 kN	
	75	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 16 pada bentang tengah gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat dari bentang tengah ke depan	2	710	800 kN	
	76	Tarik kabel simetris SC16 dan MC16 untuk yang kedua	1	711	4143.9 kN; 3543.7 kN	

Segmen 17	77	Angkat gelagar baja segmen 17 di bentang tengah	1	712	700 kN	
	78	Pasang gelagar baja segmen 17 di bentang tengah dan tarik kabel simetris SC17 dan MC17 untuk pertama kali	1	713	1744.2 kN; 1527 kN	
	79	Pasang pelat dek pracetak dari segmen 17 pada bentang tengah gelagar baja dan pindahkan peralatan angkat dari bentang tengah ke depan	2	715	800 kN	
	80	Cor sambungan beton antara segmen 14 dan 15 untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya kabel prategang arah melintangnya.	12	727		
	81	Tarik kabel simetris SC17 dan MC17 untuk yang kedua	1	728	4301.2 kN; 3847.7 kN	
Segmen 18	82	Pasang alat pengunci sementara untuk bentang penutup, pasang gelagar baja MLB18 dan pelat dek dari segmen 18 bentang samping	1	729		
	83	Angkat gelagar baja segmen 18 di bentang tengah sebagai penutup bentang	1	730	700 kN	
	84	Pasang gelagar baja dari segmen 18 dari bentang tengah sebagai penutup bentang	1	731		
	85	Bongkar alat pengunci sementara dari bentang tengah	1	732		
	86	Bongkar penghubung sementara antara pylon dan girder utama jembatan, brackets sementara di atas pile cap dari pylon, bracket sementara untuk segmen 16, pier sementara dan peralatan angkat dari bentang tengah	1	733		

	87	Cor sambungan beton terakhir untuk membentuk penampang komposit dengan gelagar baja dan tarik gaya prategang arah melintang dan arah memanjangnya untuk keseluruhan jembatan	15	748		
Pelengkap	88	Konstruksi pelengkap jembatan	60	808		
	89	Susut dan rangkai pada beton	2192	3000		

## BAB 4

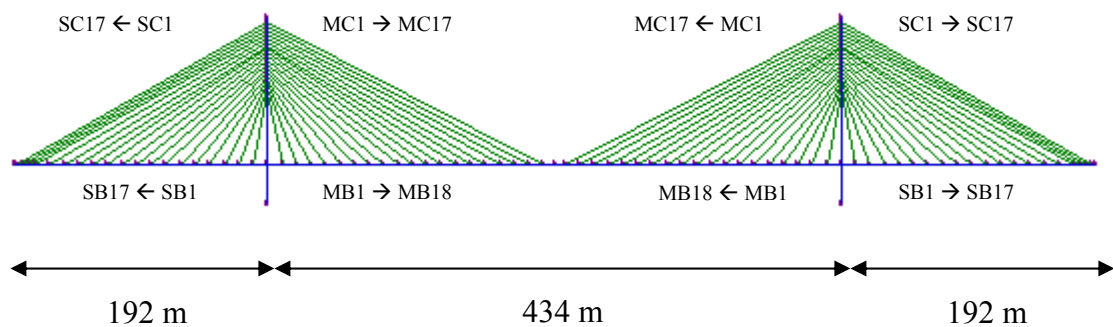
### ANALISA KONSTRUKSI JEMBATAN BERTAHAP

#### 4.1 Data – Data Jembatan Suramadu

Data-data Jembatan Suramadu terdiri geometri struktur jembatan, material properti, dimensi penampang pylon, gelagar, kabel, kondisi batas, beban pada saat tahapan konstruksi, dan batas tegangan gelagar dan pylon jembatan serta batas lendutan pylon dan gelagar.

##### 4.1.1 Geometri Jembatan Suramadu

Geometri Jembatan Suramadu dengan total bentang 818 m dengan konfigurasi bentang 192 m + 434 m + 192 m seperti di tunjukkan pada gambar 4.1 di bawah ini. Pylon jembatan berjumlah dua dengan jarak 434 m satu sama lain, jumlah kabel untuk bentang tengah dan tepi berjumlah 17 buah dengan *section*/dimensi yang berbeda-beda (ukuran dimensi kabel dapat di lihat pada tabel 4.2), sedangkan jumlah gelagar untuk bentang tepi sebanyak 17 buah dan bentang tengahnya berjumlah 18 buah.



Gambar 4.1 Layout Jembatan Suramadu

Keterangan :

- SB (*Side Beam*) : Segmen gelagar tepi
- MB (*Midle Beam*) : Segmen gelagar tengah
- SC (*Side Cable*) dan MC (*Middle Cable*) : Posisi kabel



#### 4.1.2 Material Properti dan Dimensi Penampang

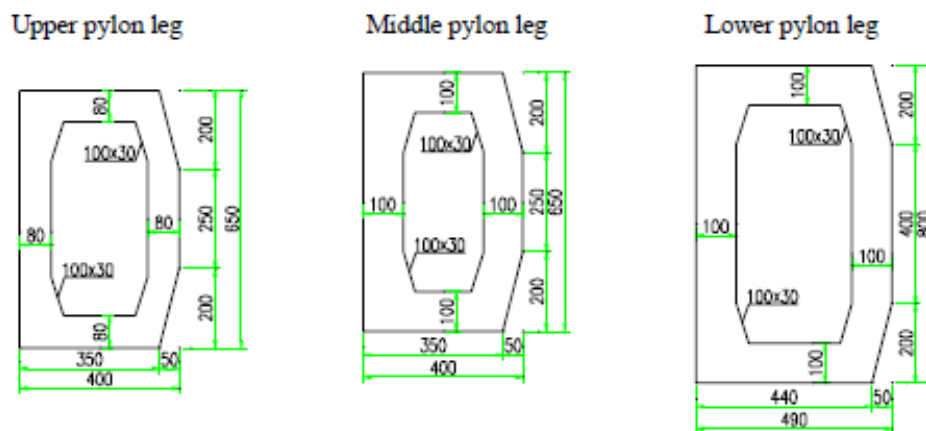
Penjelasan di bawah ini merupakan material properti dan dimensi dari penampang pylon, gelagar, kabel, pelat, dan *prestressing steel strand* dari Jembatan Suramadu. Parameter material seperti kekuatan, modulus elastisitas, nisbah poisson, koefisien muai panjang, susut dan rangkak pada beton berdasarkan Chinese Standards.

##### A. Pylon

Material Properti :

- Kode Beton : C50
- Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) :  $3,45 \cdot 10^7$  kN/m<sup>2</sup>
- Nisbah Poisson ( $\nu$ ) : 0,2
- Berat Jenis ( $\gamma_c$ ) : 25,0 kN/m<sup>3</sup>
- Standar Tegangan aksial tekan dan lentur ( $f_{ck}$ ) : 32,4 MPa
- Standar Tegangan aksial tarik ( $f_{tk}$ ) : 2,65 Mpa

Dimensi Pylon :



Gambar 4.2 Dimensi Pylon (satuan dalam mm)

## B. Gelagar

Material Properti :

- Modulus Elastisitas ( $E_s$ ) :  $2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$
- Nisbah Poisson ( $\nu$ ) : 0,3
- Koefisien muai panjang :  $1,20 \cdot 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$
- Berat Jenis :  $78,5 \text{ kN/m}^3$

Dimensi Gelagar :

Dimensi dari gelagar Jembatan Suramadu dapat di lihat pada tabel 4.1 di bawah ini

Tabel 4.1 Dimensi Gelagar

Kategori Penampang	Kode	Ketebalan flange atas (mm)	Ketebalan flange bawah (mm)	Ketebalan Web (mm)
1	SB0 --> SB1, MB0 --> MB1	32	50	32
2	SB2 --> SB14, MB2 --> MB14	32	40	28
3	SB15	32	40	28
4	SB16	32	40	28
5	MB15 --> MB18	32	32	24

## C. Kabel

Material Properti :

- Modulus Elastisitas ( $E_s$ ) :  $2,05 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$
- Nisbah Poisson ( $\nu$ ) : 0,3
- Koefisien muai panjang :  $1,20 \cdot 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$
- Berat Jenis ( $\gamma_s$ )(including the enveloped polyethylene) :  $84,0 \text{ kN/m}^3$

Dimensi Kabel :

Dimensi kabel Jembatan Suramadu sebanyak 17 buah untuk bentang samping dan bentang tengahnya. Untuk bentang samping dengan kode SC1 sampai dengan SC17, sedangkan untuk bentang tengah dengan kode MC1 sampai dengan MC17. Sebagai kabel sementara digunakan kabel dengan kode C0. Tabel 4.2 di bawah ini adalah ukuran diameter dari kabel-kabel Jembatan Suramadu.

Tabel 4.2 Dimensi Kabel

No. Kabel	Jumlah $\Phi 7\text{mm}$ steel wires	Luas Steel wires ( $\text{mm}^2$ )	No. Kabel	Jumlah $\Phi 7\text{mm}$ steel wires	Luas Steel wires ( $\text{mm}^2$ )
SC17	313	12045.7	MC17	211	8120.2
SC16	313	12045.7	MC16	127	4887.5
SC15	283	10891.1	MC15	127	4887.5
SC14	283	10891.1	MC14	163	6273
SC13	241	9274.8	MC13	163	6273
SC12	241	9274.8	MC12	187	7196.6
SC11	211	8120.2	MC11	187	7196.6
SC10	211	8120.2	MC10	187	7196.6
SC9	211	8120.2	MC9	211	8120.2
SC8	187	7196.6	MC8	211	8120.2
SC7	187	7196.6	MC7	211	8120.2
SC6	187	7196.6	MC6	241	9274.8
SC5	163	6273	MC5	241	9274.8
SC4	163	6273	MC4	283	10891.1
SC3	127	4887.5	MC3	283	10891.1
SC2	127	4887.5	MC2	283	10891.1
SC1	211	8120.2	MC1	283	10891.1
C0	163	6273			

#### D. Pelat

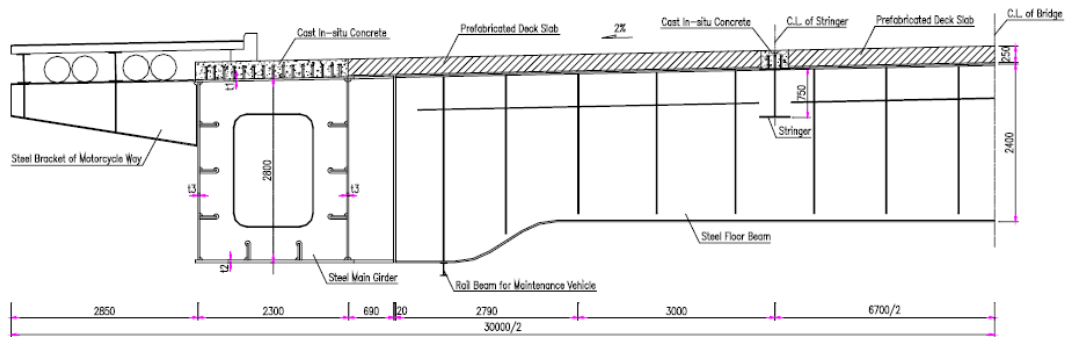
Material Properti :

- Kode Beton : C60
- Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) :  $3,60 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$
- Poisson rasio ( $\nu$ ) : 0,2
- Berat Jenis ( $\gamma_c$ ) :  $25,0 \text{ kN/m}^3$

Dimensi Pelat :

Tebal pelat beton pracetak : 250 mm

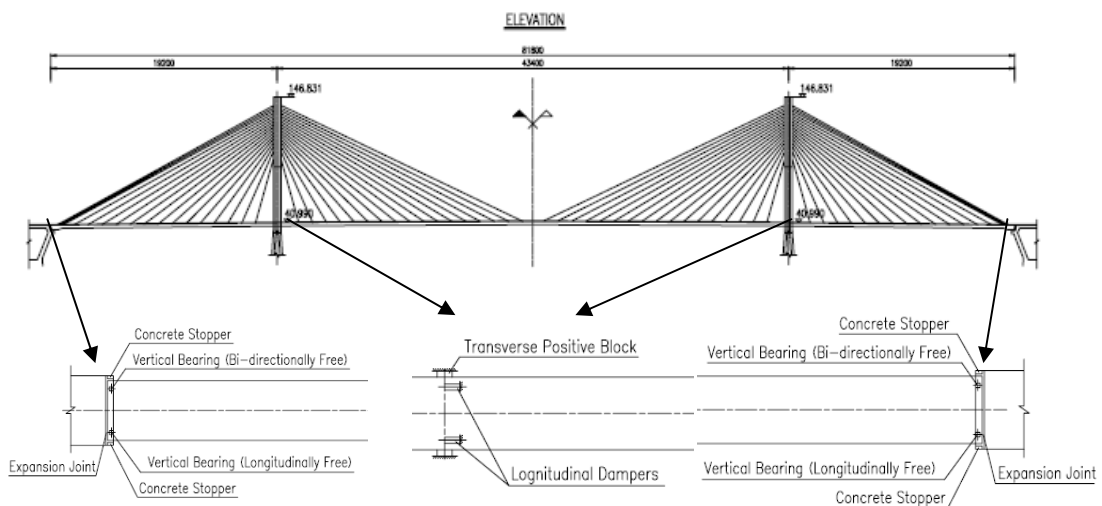
Tebal pelat beton cor di tempat : 270 mm



Gambar 4.3 Skema Pelat Beton Pracetak dan Cor di tempat

#### 4.1.3 Kondisi Batas

Kondisi batas Jembatan Suramadu terdiri dari perletakan pondasi jembatan, perletakan untuk V-pier, hubungan antara pylon dengan gelagar jembatan, dan hubungan antara gelagar jembatan dengan V-pier. Untuk kondisi batas pondasi jembatan adalah jepit sedangkan untuk V-pier dimodelkan sebagai sendi. Kondisi batas untuk koneksi antara pylon dan gelagar jembatan yaitu *transverse positive block*. Sedangkan koneksi antara gelagar jembatan dengan V-pier adalah *vertical bearing*. Gambar kondisi batas perletakan Jembatan Suramadu dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Kondisi Batas Jembatan Suramadu

#### A. Vertical Bearing

Dua tipe dari *earthquake-resistance steel spherical bearings* diletakkan di bawah gelagar utama di setiap pier samping kiri dan kanan jembatan utama, dengan arah pergerakan yaitu arah longitudinal dan melintang jembatan. Nilai dari kapasitas pendukung arah vertikal *bearing* sebesar 8000 kN dan kapasitas horisontal *bearing*nya sebesar 6000 kN. Pergerakan maksimum *bearing* sepanjang jembatan sebesar 60 cm dan maksimum rotasinya adalah 0,02 rad.

### 4.2 Beban Konstruksi Bertahap

Beban-beban yang ada pada saat pelaksanaan konstruksi Jembatan Suramadu terdiri dari berat sendiri elemen struktur dan berat dari alat pengangkat struktur (*crane*)

#### A. Berat Sendiri Elemen Struktur dan Beban Mati Tambahan

Berat sendiri elemen struktur terdiri dari berat sendiri dari elemen struktur pilon, gelagar, kabel, dan pelat. Sedangkan untuk beban mati tambahan pada struktur jembatan seperti tabel berikut ini :

Tabel 4.3 Beban Mati Tambahan

No	Items	Weight (kN/m)
1	<i>Asphaltum concrete paving on carriageway</i>	35.88
2	<i>Asphaltum concrete paving motorcycle way</i>	7.02
3	<i>Outer side balustrades of motorcycle way</i>	0.72
4	<i>Inner side balustrades of motorcycle way</i>	0.64
5	<i>Side parapets of carriageway</i>	1.16
6	<i>Central parapets of carriageway</i>	1.16
7	<i>Concrete base of outer side balustrade of motorcycle way</i>	5
8	<i>Concrete base of parapets on main girder</i>	20.54
9	<i>Concrete base of central parapets of carriageway</i>	3.76
10	<i>Pipes of facilities at motorcycle way</i>	14
11	<i>Steel girders of motorcycle way</i>	15.14

#### B. Berat dari alat pengangkat (*crane*)

Besarnya berat alat pengangkat (*crane*) adalah 800 kN.

### C. Kombinasi Beban

Sesuai dengan JGT D60-2004, kombinasi pembebanan untuk analisa konstruksi bertahap adalah seperti tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Kombinasi Pembebanan

Beban	Kombinasi Pembebanan
Berat sendiri elemen	1,00
Beban konstruksi	1,00

### 4.3 Batas Tegangan dan Lendutan

#### A. Batas Tegangan Elemen Beton

Berdasarkan JTG D62-2004 batas tegangan elemen beton adalah sebagai berikut :

Untuk aksial tekan dengan lentur :

$$\sigma'_{cc} \leq 0,80 f_{ck} \quad \dots\dots\dots [4.2]$$

Untuk aksial tarik :

$$\sigma'_{tp} \leq 0,80 f_{tk} \quad \dots\dots\dots [4.3]$$

Dimana :

$\sigma'_{cc}$  : tegangan aksial tekan dan lentur yang terjadi

$\sigma'_{tp}$  : tegangan aksial tarik yang terjadi

$f_{ck}$  : standar tegangan aksial tekan dan lentur

$f_{tk}$  : standar tegangan aksial tarik

#### B. Batas Tegangan Elemen Baja

Berdasarkan ” Structural steel for bridge (GB/T 714-2000)” batas tegangan untuk elemen baja seperti di tunjukkan pada tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Batas Tegangan Elemen Baja

Material	Ketebalan (mm)	Tegangan Batas $\sigma_s$ (MPa)	Tegangan Putus $\sigma_b$ (MPa)	Tegangan Ijin Aksial Normal $[\sigma]$ (MPa)	Tegangan Ijin Lentur $[\sigma_w]$ (MPa)
		Tidak lebih dari			
Baja	$\leq 16$	345	510	202,9	213,1
	$> 16 - 35$	325	490	191,2	200,7
	$> 35 - 50$	315	470	185,3	194,6
	$> 50 - 100$	305	470	179,4	188,4

### C. Batas Tegangan Kabel

Nilai batas tegangan kabel sebesar 1670 MPa

### D. Batas Lendutan

Batas lendutan untuk bentang utama jembatan adalah :

$$\Delta \leq \frac{1}{400} L, \text{ dimana } L = 434 \text{ m} \quad \dots\dots\dots [4.4]$$

## 4.4 Gaya Kabel Jembatan

Gaya kabel jembatan yang digunakan untuk analisa pemodelan Jembatan Suramadu berdasarkan data tabel di bawah ini. Dimana setiap elemen kabel yang menarik beban dari gelagar jembatan mempunyai nilai gaya tarik yang berbeda-beda.

Tabel 4.6 Data Gaya Kabel Jembatan (Desain)

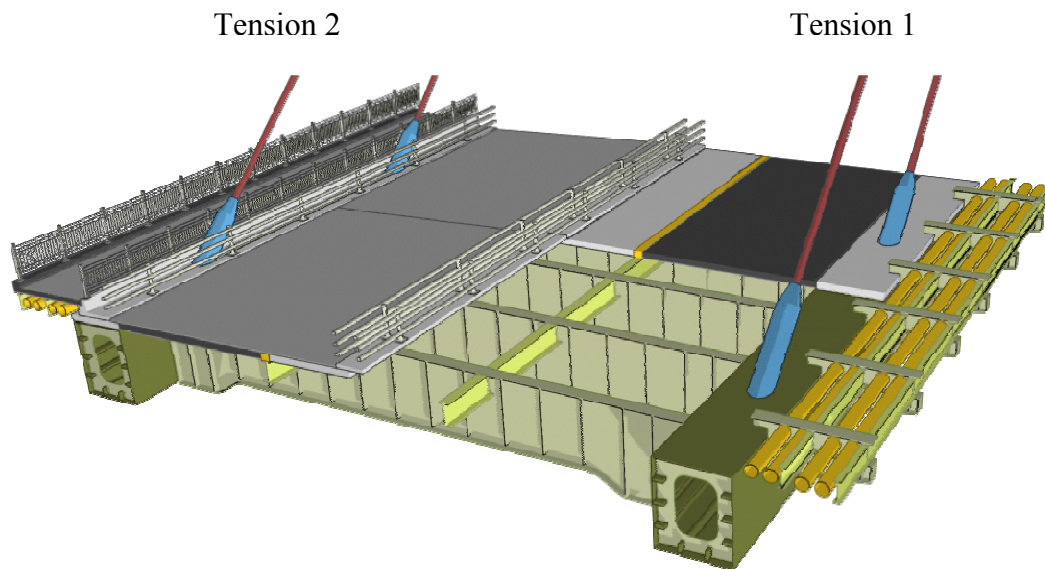
No.Kabel	Gaya Kabel (kN)		
	Tension 1 (T1)	Tension 2 (T2)	Completion
SC17	1,744.20	4,301.20	5,603.78
SC16	1,684.80	4,143.90	5,417.20
SC15	1,613.80	3,989.30	4,992.29
SC14	1,651.40	3,542.40	4,997.79
SC13	1,600.50	3,183.60	4,144.04
SC12	1,543.30	2,933.70	4,129.65
SC11	1,481.40	2,777.80	3,814.58
SC10	1,248.40	2,424.50	3,684.21

SC9	1,195.90	2,726.60	4,385.17
SC8	1,127.50	2,574.00	3,922.26
SC7	1,068.70	2,522.00	3,596.41
SC6	998.70	2,222.90	3,212.55
SC5	937.00	2,168.00	2,903.42
SC4	876.50	1,918.60	2,671.65
SC3	814.20	1,762.40	2,288.46
SC2	764.60	1,664.40	2,303.41
SC1	1,091.70	2,622.70	3,833.66
C0	1,976.80		3,013.46
MC1	1,086.70	2,622.50	3,821.22
MC2	759.60	1,664.30	2,276.90
MC3	809.10	1,812.00	2,326.56
MC4	871.40	1,918.30	2,637.77
MC5	931.80	2,217.50	2,934.72
MC6	993.50	2,222.50	3,157.05
MC7	1,058.50	2,421.90	3,318.38
MC8	1,117.30	2,573.50	3,668.23
MC9	1,185.50	2,775.80	4,105.53
MC10	1,244.30	2,628.20	4,121.85
MC11	1,299.70	2,777.90	4,191.87
MC12	1,363.00	2,784.10	4,479.41
MC13	1,418.50	2,934.00	4,400.16
MC14	1,474.40	3,042.20	4,782.78
MC15	1,432.00	3,241.90	4,696.46
MC16	1,481.40	3,543.70	5,244.69
MC17	1,527.00	3,847.70	5,641.84

\* sumber Consortium Contractor China

Berdasarkan tabel di atas, penarikan kabel pada Jembatan Suramadu dilakukan menjadi 2 tahap yaitu tension 1 dan tension 2. Tension 1 merupakan penarikan kabel jembatan akibat berat sendiri dari struktur (box girder, balok lantai, stringer). Sedangkan tension 2 merupakan penarikan kabel jembatan setelah diberikan beban dari pelat jembatan. Untuk mengilustrasikan dan melihat perbedaan antara beban tension 1 dan 2 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.





Gambar 4.5 Ilustrasi Penarikan Kabel

#### 4.5 Analisa Konstruksi Jembatan Bertahap

Analisa konstruksi jembatan bertahap pada Jembatan Suramadu dimulai dari pemasangan konstruksi pondasi kemudian dilanjutkan dengan pemasangan segmen 0 dan 1 sampai dengan pemasangan segmen ke-18. Gambar 4.6 merupakan foto-foto tahapan pelaksanaan konstruksi Jembatan Suramadu. Metode yang digunakan untuk penganalisaan jembatan bertahap yaitu *Forward Assemblage Analysis* dan *Backward Disassemblage Analysis*.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa simulasi konstruksi *Forward Assemblage Analysis* dan *Backward Disassemblage Analysis*. Penggunaan analisa kedua metode ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya gaya kabel dan perpindahan arah vertikal gelagar pada tiap tahapan konstruksi. Sehingga dapat dilakukan studi perbandingan dan pengevaluasian kinerja dari struktur jembatan berdasarkan dua metode yang di analisa.

##### 4.5.1 *Forward Assemblage Analysis*

Adapun langkah penganalisaan ataupun pekerjaan konstruksi terdiri dari 89 langkah. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan program Midas/Civil untuk analisa

konstruksi jembatan bertahap diperoleh hasil berupa gaya tarik kabel, lendutan gelagar. Secara umum pemodelan geometri untuk analisa ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan geometri pylon
2. Pengangkatan Segmen 0 sampai dengan 1 bentang tepi dan tengah
3. Penarikan kabel pada segmen 1
4. Sampai dengan pemasangan gelagar dan penarikan kabel segmen terakhir

Pemodelan geometri secara visual dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

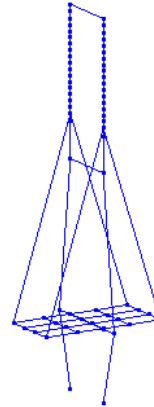


Gambar 4.6 Foto-Foto Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Suramadu

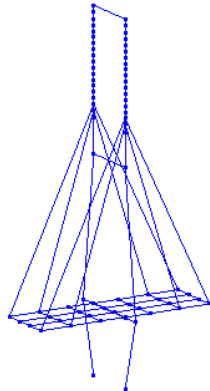
a. Konstruksi Pilon



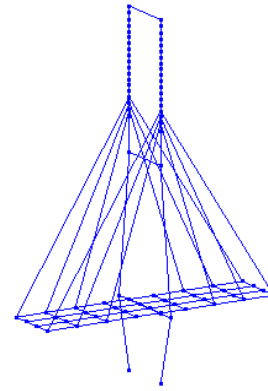
b. Segmen Gelagar 0-1



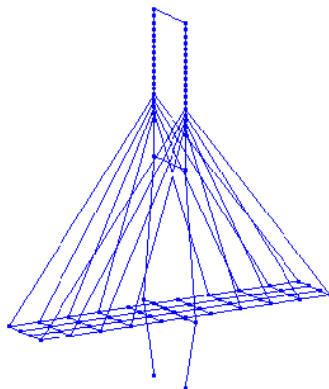
c. Segmen Gelagar 2



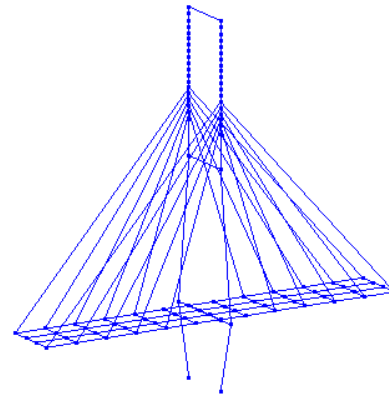
d. Segmen Gelagar 3



e. Segmen Gelagar 4

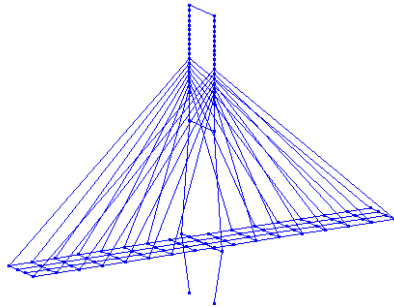


f. Segmen Gelagar 5

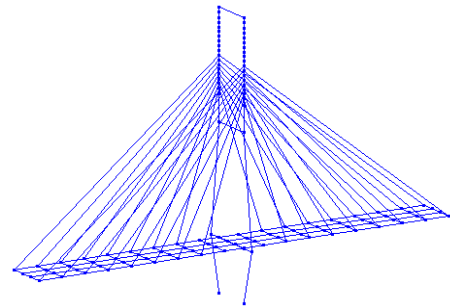


Gambar 4.7a Analisa Tahapan Konstruksi

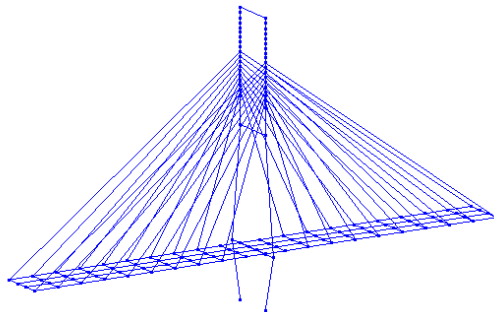
g. Segmen Gelagar 6



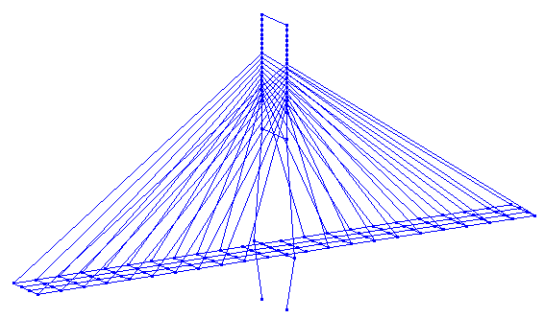
h. Segmen Gelagar 7



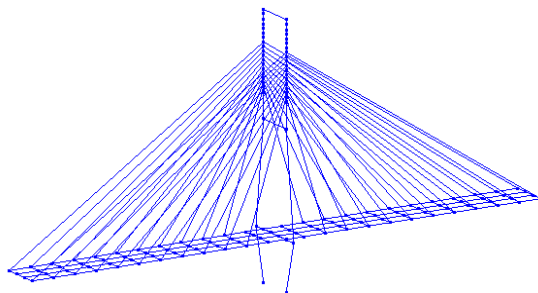
i. Segmen Gelagar 8



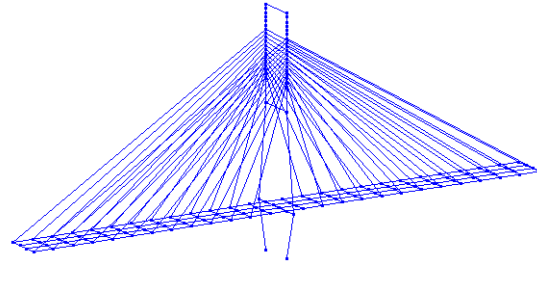
j. Segmen Gelagar 9



k. Segmen Gelagar 10

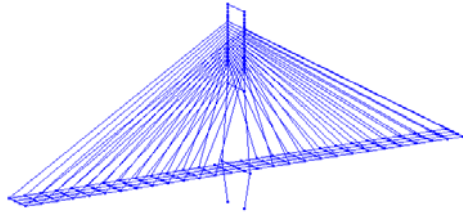


l. Segmen Gelagar 11

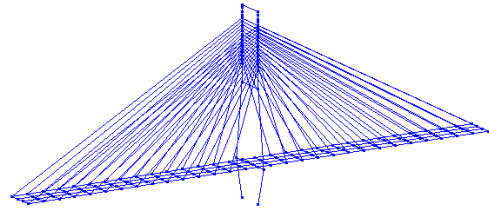


Gambar 4.7b Analisa Tahapan Konstruksi

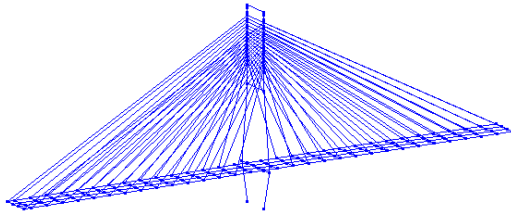
m. Segmen Gelagar 12



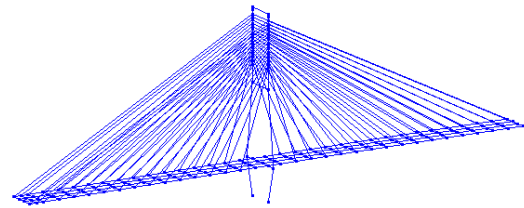
n. Segmen Gelagar 13



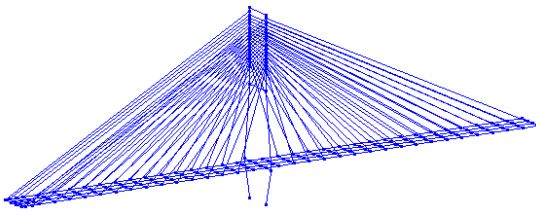
o. Segmen Gelagar 14



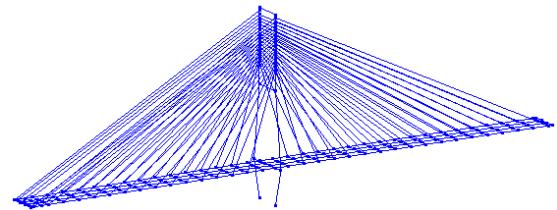
p. Segmen Gelagar 15



q. Segmen Gelagar 16



r. Segmen Gelagar 17



Gambar 4.7c Analisa Tahapan Konstruksi

Analisa pemodelan pada *forward analysis* di bagi menjadi 2 yaitu :

- A. Pemodelan struktur pelat sebagai beban luar
- B. Pemodelan struktur pelat dan gelagar satu kesatuan (komposit)

#### **4.5.1.A Pemodelan Struktur Pelat Sebagai Beban Luar**

Pada pemodelan ini pelat dijadikan sebagai beban luar yang membebani elemen struktur gelagar. Jenis beban elemen yang digunakan adalah beam element. Dari hasil output akan diperoleh hasil berupa gaya kabel dan lendutan gelagar tiap tahapan konstruksi.

##### **a. Gaya Tarik Kabel**

Nilai gaya tarik kabel analisa konstruksi jembatan bertahap di setiap tahapan konstruksi dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini. Berdasarkan hasil tabel di bawah ini, nilai gaya kabel terbesar untuk kabel bentang tepi adalah pada kabel nomor 14 (SC14) dengan nilai gaya kabel sebesar 6878 kN. Sedangkan untuk kabel bentang tengah nilai terbesar pada kabel nomor 14 (MC14) dengan nilai gaya kabel yaitu 6808.5 kN.

Tabel 4.7 Gaya Kabel SC (*Forward* – Non Komposit)

Tahapan Konstruksi	Gaya Kabel (kN)																
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
CS2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS4	738.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS5	864.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS6	1781.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS7	2059.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS8	2302.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS9	2432.5	866.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS10	2840.6	1329.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS11	2311.9	2300.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS12	2586.8	2596.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS13	2674.2	2712.9	973.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS14	2936.7	3076.4	1561.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS15	2936.7	3076.4	1561.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS16	2580.8	2634.9	2368.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS17	2786.0	2891.3	2756.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS18	2831.7	2966.0	2893.9	1047.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS19	2957.2	3184.1	3318.8	1674.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS20	2718.4	2838.3	2717.1	2637.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS21	2837.9	3014.3	3024.7	3063.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS22	2850.2	3050.4	3107.0	3200.0	1135.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS23	2872.7	3138.6	3331.5	3599.0	1857.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS24	2872.7	3138.6	3331.5	3599.0	1857.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS25	2777.0	2956.8	2957.9	3010.0	2822.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS26	2822.3	3046.7	3144.0	3304.1	3323.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS27	2814.6	3056.2	3183.5	3385.7	3491.1	1200.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS28	2782.2	3065.4	3271.0	3596.1	3958.6	1941.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS29	2776.3	2997.2	3072.9	3221.6	3227.0	3055.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS30	2776.4	3028.5	3166.0	3398.3	3573.0	3577.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS31	2757.7	3021.5	3175.7	3437.6	3674.8	3762.1	1258.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS32	2700.5	2988.4	3181.8	3525.0	3940.8	4285.2	1974.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS33	2700.5	2988.4	3181.8	3525.0	3940.8	4285.2	1974.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS34	2750.9	2996.0	3107.9	3313.1	3436.0	3409.1	3349.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS35	2726.4	2991.8	3139.9	3405.9	3657.6	3794.6	3857.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS36	2703.3	2976.1	3131.0	3414.7	3705.8	3905.9	4033.2	1355.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS37	2641.9	2925.5	3091.0	3418.9	3813.7	4195.9	4525.6	2144.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS38	2704.0	2977.5	3131.6	3415.3	3712.1	3931.8	4096.3	2610.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS39	2803.6	3013.8	3144.8	3419.7	3723.0	3964.7	4157.4	2710.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS40	2658.9	2945.5	3114.4	3437.5	3822.4	4181.7	4485.3	3199.5	1706.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS41	2604.5	2893.6	3056.9	3398.4	3832.9	4308.7	4769.9	3735.0	2510.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS42	2604.5	2893.6	3056.9	3398.4	3832.9	4308.7	4769.9	3735.0	2510.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS43	2684.5	2965.1	3122.1	3414.0	3728.0	3976.9	4171.5	2724.6	4206.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS44	2651.1	2936.6	3096.4	3407.7	3768.4	4105.2	4403.2	3115.7	4787.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS45	2637.3	2921.4	3077.1	3391.2	3762.0	4129.5	4473.9	3262.1	5038.6	1445.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS46	2607.3	2881.3	3020.4	3334.6	3718.4	4151.8	4610.6	3590.5	5649.1	2130.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS47	2640.0	2925.6	3078.1	3381.8	3727.7	4056.1	4362.0	3093.4	4814.9	3619.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS48	2620.0	2901.2	3046.9	3356.4	3722.4	4106.6	4493.7	3357.0	5258.6	4125.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS49	2610.0	2890.3	3031.7	3339.9	3706.0	4102.3	4514.3	3420.4	5388.4	4294.9	1632.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS50	2585.2	2855.2	2977.0	3276.1	3633.3	4060.8	4552.2	3598.4	5794.5	4855.9	2348.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS51	2585.2	2855.2	2977.0	3276.1	3633.3	4060.8	4552.2	3598.4	5794.5	4855.9	2348.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS52	2612.1	2894.5	3035.2	3338.2	3690.6	4063.0	4448.6	3314.6	5237.5	4148.8	3768.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS53	2594.2	2871.1	3001.3	3302.2	3657.3	4061.4	4507.7	3477.3	5557.7	4556.6	4297.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS54	2585.1	2861.3	2986.6	3284.4	3635.2	4044.0	4507.7	3508.8	5643.5	4684.5	4483.5	1744.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS55	2566.5	2833.9	2940.7	3225.2	3555.3	3970.3	4481.4	3572.1	5870.5	5053.9	5048.3	2534.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS56	2588.5	2868.1	2995.8	3292.0	3636.5	4028.1	4466.7	3427.0	5506.2	4528.7	4302.4	4082.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS57	2574.4	2848.8	2965.5	3255.5	3592.2	3996.4	4474.2	3505.3	5703.4	4814.0	4708.8	4680.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS58	2566.7	2841.0	2953.2	3239.4	3569.2	3972.5	4460.1	3510.5	5746.9	4895.4	4842.2	4897.9	1765.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS59	2566.1	2838.0	2945.0	3224.3	3540.0	3928.9	4410.3	3455.5	5700.6	4884.6	4879.1	5018.1	1928.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS60	2566.1	2838.0	2945.0	3224.3	3540.0	3928.9	4410.3	3455.5	5700.6	4884.6	4879.1	5018.1	1928.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS61	2581.2	2863.0	2988.6	3282.4	3621.7	4010.3	4451.8	3419.2	5515.7	4560.7	4365.8	4200.8	3480.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS62	2570.6	2848.1	2963.4	3249.0	3574.8	3963.5	4427.7	3439.3	5620.3	4745.1	4659.1	4670.6	4057.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS63	2548.7	2834.5	2948.3	3231.3	3549.2	3933.3	4401.7	3423.4	5630.5	4790.3	4751.4	4841.6	4292.5	1866.7	0.0	0.0	0.0	0.0
CS64	2540.1	2821.4	2922.9	3192.7	3485.2	3851.7	4326.0	3367.7	5635.9	4887.2	4972.3	5271.8	4907.1	2667.5	0.0	0.0	0.0	0.0
CS65	2551.6	2842.5	2962.9	3250.7	3575.6	3957.9	4411.0	3403.5	5556.9	4669.9	4567.5	4556.7	3956.8	4614.9	0.0	0.0	0.0	0.0
CS66	2291.2	2711.9	2868.7	3178.2	3497.6	3878.5	4342.2	3349.1	5543.4	4722.4	4701.7	4832.9	4346.4	5206.8	0.0	0.0	0.0	0.0
CS67	2296.1	2714.3	2870.1	3178.5	3496.5	3875.4	4337.4	3341.9	5533.8	4713.9	4694.6	4828.7	4349.3	5222.2	0.0	0.0	0.0	0.0
CS68	2527.1	2806.8	2900.2	3164.7	3449.8	3822.9	4323.2	3412.0	5761.4	5076.7	5249.6	5688.8	5393.7	6628.3	0.0	0.0	0.0	0.0
CS69	2479.5	2788.9	2896.3	3170.5	3463.0	3836.4	4325.6	3391.4	5698.5	4978.6	5101.8	5461.7	5120.7	6264.3	1419.3	0.0	0.0	0.0



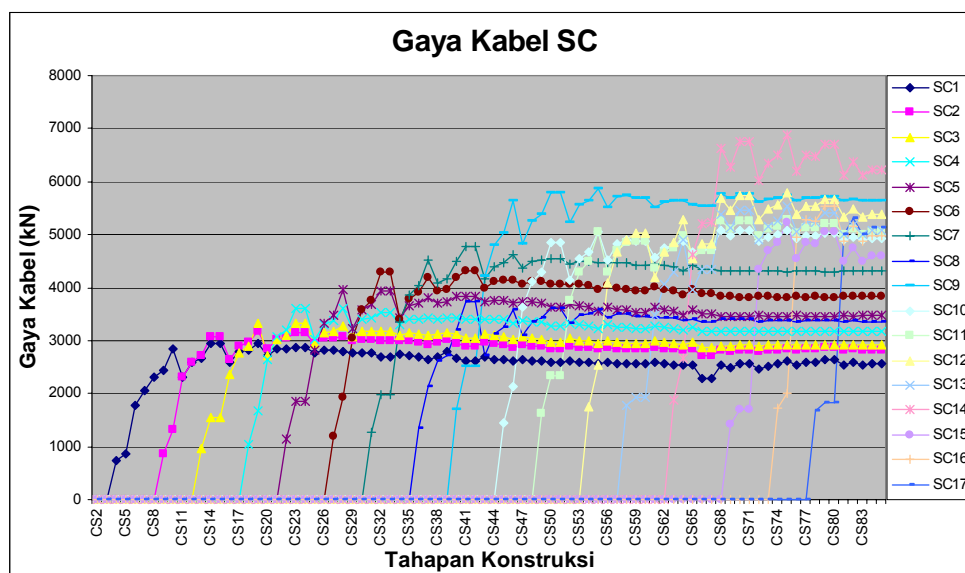
CS70	2563.6	2823.6	2908.7	3166.6	3445.8	3813.5	4311.8	3400.1	5753.6	5079.6	5267.9	5732.0	5464.3	6749.7	1709.2	0.0	0.0
CS71	2563.6	2823.6	2908.7	3166.6	3445.8	3813.5	4311.8	3400.1	5753.6	5079.6	5267.9	5732.0	5464.3	6749.7	1709.2	0.0	0.0
CS72	2464.8	2786.2	2900.2	3178.0	3472.5	3840.7	4316.5	3357.8	5625.4	4879.8	4966.7	5270.0	4909.4	6010.3	4346.5	0.0	0.0
CS73	2524.2	2810.4	2908.7	3175.1	3461.0	3826.8	4310.9	3371.1	5675.3	4962.6	5096.4	5473.8	5160.6	6354.0	4697.0	0.0	0.0
CS74	2560.9	2826.7	2916.2	3176.3	3457.6	3821.3	4307.7	3374.7	5692.4	4992.9	5145.8	5552.5	5259.4	6491.9	4839.6	1719.2	0.0
CS75	2626.4	2853.7	2925.5	3173.1	3444.6	3805.4	4300.8	3388.7	5746.9	5084.3	5290.1	5779.7	5540.6	6878.0	5237.8	1995.2	0.0
CS76	2537.0	2819.3	2917.3	3183.2	3469.7	3833.1	4310.7	3359.8	5644.9	4917.8	5032.0	5376.2	5046.4	6205.6	4555.5	4945.8	0.0
CS77	2587.8	2840.3	2924.8	3181.1	3460.2	3821.3	4305.6	3370.3	5685.6	4986.0	5139.5	5545.5	5255.7	6493.0	4850.2	5286.0	0.0
CS78	2591.1	2842.4	2926.6	3182.6	3461.7	3822.4	4306.0	3369.6	5682.7	4981.4	5132.5	5534.4	5242.0	6474.3	4831.5	5264.8	1686.7
CS79	2632.3	2859.8	2933.0	3181.3	3454.5	3813.2	4301.8	3377.2	5713.5	5033.5	5215.6	5665.0	5404.1	6697.5	5062.2	5532.4	1829.5
CS80	2632.3	2859.8	2933.0	3181.3	3454.5	3813.2	4301.8	3377.2	5713.5	5033.5	5215.6	5665.0	5404.1	6697.5	5062.2	5532.4	1829.5
CS81	2540.4	2822.8	2921.3	3187.3	3474.5	3837.2	4312.3	3356.8	5633.5	4899.3	5003.6	5331.5	4991.9	6131.2	4485.1	4866.5	5006.0
CS82	2585.8	2841.8	2928.3	3185.8	3466.5	3827.0	4307.7	3365.5	5668.1	4957.5	5096.1	5476.9	5171.9	6378.8	4739.2	5160.6	5308.0
CS83	2540.1	2822.6	2921.2	3187.3	3474.5	3837.3	4312.3	3356.7	5633.2	4898.9	5003.1	5330.7	4991.1	6130.2	4485.3	4867.2	5006.6
CS84	2556.8	2829.4	2923.5	3186.3	3471.0	3833.0	4310.5	3360.7	5648.2	4923.8	5042.2	5392.3	5067.1	6234.3	4591.3	4989.2	5131.5
CS85	2556.8	2829.4	2923.5	3186.3	3471.0	3833.0	4310.5	3360.7	5648.2	4923.8	5042.2	5392.3	5067.1	6234.3	4591.3	4989.2	5131.5

Tabel 4.8 Gaya Kabel MC (*Forward* – Non Komposit)

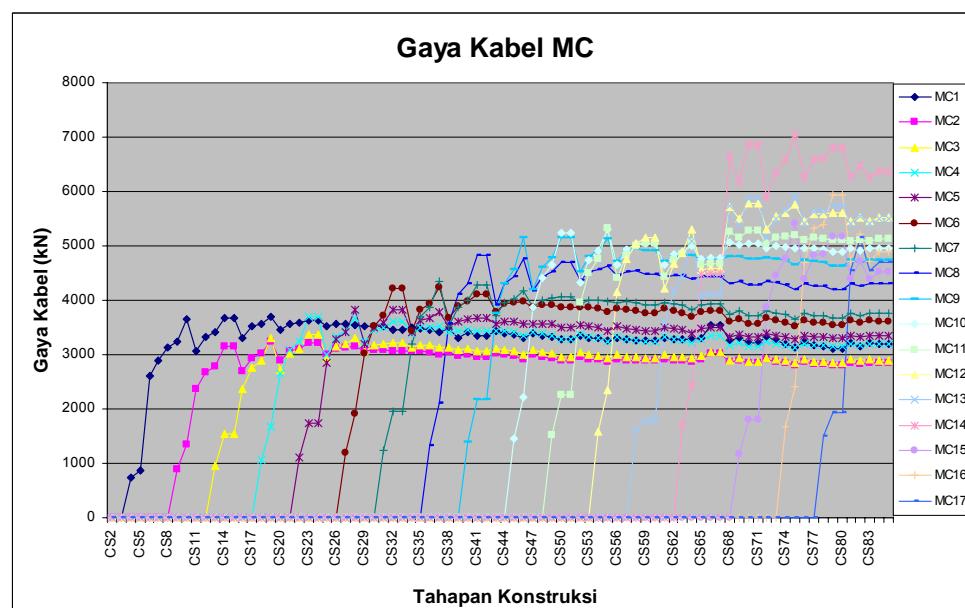
Tahapan Konstruksi	Gaya Kabel (kN)																
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10	MC11	MC12	MC13	MC14	MC15	MC16	MC17
CS2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS4	737.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS5	863.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS6	2607.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS7	2885.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS8	3129.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS9	3239.0	881.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS10	3645.3	1345.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS11	3058.7	2375.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS12	3332.9	2671.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS13	3419.9	2785.7	962.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS14	3683.3	3145.6	1539.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS15	3683.3	3145.6	1539.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS16	3311.2	2688.7	2371.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS17	3516.5	2943.6	2755.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS18	3563.7	3018.0	2889.7	1057.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS19	3694.5	3236.3	3307.9	1683.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS20	3453.1	2893.6	2718.7	2657.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS21	3575.2	3069.6	3022.5	3084.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS22	3593.9	3110.9	3111.4	3233.1	1103.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS23	3631.4	3217.3	3366.3	3686.7	1731.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS24	3631.4	3217.3	3366.3	3686.7	1731.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS25	3512.5	3004.6	2938.3	3001.8	2842.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS26	3567.8	3107.2	3146.2	3335.1	3276.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS27	3565.9	3121.8	3192.5	3427.7	3418.9	1193.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS28	3543.7	3143.7	3302.3	3677.6	3831.0	1917.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS29	3522.9	3057.0	3072.6	3246.9	3195.7	3023.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS30	3530.3	3097.7	3182.4	3453.5	3500.8	3532.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS31	3516.9	3095.0	3198.0	3501.6	3590.6	3709.7	1248.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS32	3465.4	3069.9	3218.9	3615.8	3833.4	4224.1	1946.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS33	3465.4	3069.9	3218.9	3615.8	3833.4	4224.1	1946.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS34	3500.4	3063.3	3127.8	3380.7	3422.4	3444.2	3195.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS35	3480.4	3065.4	3171.6	3495.0	3622.7	3825.0	3689.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS36	3462.2	3053.3	3167.4	3510.7	3669.3	3936.6	3860.2	1334.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS37	3402.6	3006.0	3135.2	3529.9	3776.4	4230.3	4340.7	2102.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS38	3467.4	3045.5	3129.6	3423.4	3522.9	3665.7	3515.2	3565.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS39	3313.5	2967.8	3092.0	3444.0	3617.9	3900.1	3868.5	4098.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS40	3414.3	3009.1	3114.5	3463.2	3648.7	3973.1	3989.4	4301.7	1393.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS41	3358.4	2956.8	3059.0	3430.1	3670.1	4111.1	4275.8	4833.3	2165.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS42	3358.4	2956.8	3059.0	3430.1	3670.1	4111.1	4275.8	4833.3	2165.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS43	3432.2	3021.0	3112.5	3429.1	3567.4	3792.0	3725.0	3907.5	3751.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS44	3398.5	2993.1	3089.5	3429.1	3610.3	3925.7	3956.2	4296.1	4314.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS45	3371.9	2971.7	3066.5	3411.2	3607.1	3953.0	4027.7	4441.7	4556.2	1463.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS46	3309.3	2915.1	2999.2	3348.7	3574.9	3984.3	4168.6	4769.5	5142.8	2211.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS47	3393.1	2989.3	3080.0	3408.2	3574.9	3859.2	3870.3	4181.8	4189.1	3862.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS48	3351.6	2954.6	3042.9	3381.0	3574.5	3914.6	4003.1	4443.8	4615.7	4412.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS49	3330.4	2935.9	3019.8	3357.5	3558.1	3913.3	4033.6	4529.4	4781.6	4654.6	1513.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS50	3281.4	2888.3	2956.4	3287.0	3499.7	3880.3	4075.3	4703.7	5160.7	5244.1	2250.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS51	3281.4	2888.3	2956.4	3287.0	3499.7	3880.3	4075.3	4703.7	5160.7	5244.1	2250.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS52	3347.2	2953.0	3038.7	3369.7	3553.2	3871.4	3943.7	4359.7	4514.2	4319.4	3958.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS53	3312.7	2921.5	2999.7	3331.0	3528.1	3875.1	4004.0	4517.8	4812.1	4746.5	4507.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS54	3295.3	2905.6	2978.2	3305.8	3505.0	3856.2	4006.6	4559.5	4917.6	4922.1	4758.7	1583.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS55	3260.6	2869.4	2925.4	3239.9	3438.9	3789.9	3984.8	4620.7	5124.9	5302.8	5336.8	2358.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS56	3309.7	2922.2	3000.1	3327.3	3517.3	3848.4	3962.2	4452.1	4722.4	4649.5	4416.8	4160.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS57	3283.9	2897.1	2965.7	3287.6	3481.8	3821.8	3971.9	4527.1	4902.3	4942.2	4830.0	4754.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS58	3271.0	2884.9	2947.9	3264.6	3457.4	3794.1	3956.3	4534.9	4954.7	5051.6	5007.1	5036.4	1629.4	0.0	0.0	0.0	0.0
CS59	3269.8	2880.9	2938.1	3246.7	3431.4	3751.6	3908.5	4481.7	4910.4	5038.8	5043.8	5156.6	1786.9	0.0	0.0	0.0	0.0
CS60	3269.8	2880.9	2938.1	3246.7	3431.4	3751.6	3908.5	4481.7	4910.4	5038.8	5043.8	5156.6	1786.9	0.0	0.0	0.0	0.0
CS61	3301.1	2917.9	2995.6	3321.7	3510.4	3838.1	3951.6	4441.6	4716.1	4653.0	4435.4	4207.8	3592.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS62	3282.5	2898.7	2967.0	3284.9	3471.9	3795.8	3930.3	4460.5	4809.5	4839.4	4730.2	4670.1	4171.5	0.0	0.0	0.0	0.0
CS63	3288.3	2897.3	2958.1	3268.9	3451.2	3767.5	3906.4	4447.7	4824.4	4896.3	4841.4	4866.8	4444.1	1703.9	0.0	0.0	0.0
CS64	3273.9	2879.9	2927.6	3223.1	3394.3	3687.4	3832.8	4392.4	4826.8	4996.5	5072.3	5308.9	5088.8	2442.3	0.0	0.0	0.0
CS65	3295.3	2907.9	2975.3	3291.4	3474.4	3791.7	3916.1	4429.7	4757.1	4769.7	4647.4	4570.7	4085.4	4478.7	0.0	0.0	0.0
CS66	3548.6	3028.8	3051.8	3337.8	3500.0	3809.6	3926.9	4439.0	4767.2	4781.3	4665.8	4589.7	4107.7	4504.8	0.0	0.0	0.0
CS67	3544.1	3026.7	3050.5	3337.1	3499.6	3809.3	3926.8	4438.8	4767.1	4781.2	4665.7	4589.5	4107.5	4504.6	0.0	0.0	0.0
CS68	3250.7	2860.5	2897.1	3177.3	3335.2	3599.5	3744.8	4312.6	4794.2	5057.6	5266.1	5725.3	5745.2	6662.6	0.0	0.0	0.0
CS69	3307.5	2893.7	2929.1	3212.7	3373.8	3651.8	3794.1	4354.4	4806.8	5016.4	5152.1	5489.2	5386.9	6171.0	1176.7	0.0	0.0
CS70	3206.8	2838.4	2879.2	3159.4	3315.2	3569.2	3710.5	4272.1	4755.3	5035.3	5271.9	5781.2	5866.6	6865.3	1803.2	0.0	0.0
CS71	3206.8	2838.4	2879.2	3159.4	3315.2	3569.2	3710.5	4272.1	4755.3	5035.3	5271.9	5781.2	5866.6	6865.3	1803.2	0.0	0.0
CS72	3326.4	2907.5	2944.7	3230.8	3392.4	3673.4	3808.7	4355.3	4780.2	4953.0	5044.7	5311.4	5154.6	5888.1	3880.3	0.0	0.0
CS73	3252.8	2867.2	2909.1	3194.4	3354.6	3623.3	3761.8	4315.5	4767.9	4991.5	5151.8	5533.6	5492.3	6351.8	4452.1	0.0	0.0
CS74	3205.1	2842.7	2889.0	3174.5	3333.2	3592.6	3729.1	4280.3	4739.6	4984.9	5178.3	5617.5	5643.4	6583.1	4765.2	1672.5	0.0
CS75	3127.3	2801.8	2853.9	3137.1	3290.3	3527.6	3656.4	4196.7	4662.9	4947.4	5204.0	5755.8	5923.0	7036.5	5409.1	2414.1	0.0
CS76	3230.4	2859.4	2906.8	3195.8	3357.2	3625.5	3759.9	4305.4	4744.8	4954.7	5100.8	5460.9	5409.4	6265.3	4386.0	4690.1	0.0
CS77	3168.8	2826.9	2879.5	3168.2	3327.6	3583.3	3715.7	4259.1	4709.7	4951.1	5143.8	5585.0	5626.2	6591.4	4822.0	5329.3	0.0
CS78	3160.2	2823.3	2877.1	3166.2	3325.3	3579.5	3710.7	4252.1	4701.2	4943.2	5138.1	5583.5	5632.5	6608.7	4853.0	5385.2	1503.2
CS79	3113.2	2799.8	2858.7	3147.0	3302.4	3541.9	3664.5	4191.9	4634.0	4887.9	5108.7	5603.9	5729.7	6808.5	5176.5	5936.5	1926.3
CS80	3113.2	2799.8	2858.7	3147.0	3302.4	3541.9	3664.5	4191.9	4634.0	4887.9	5108.7	5603.9	5729.7	6808.5	5176.5	5936.5	1926.3
CS81	3213.1	2852.6	2903.1	3193.9	3356.3	3624.5	3758.6	4303.2	4741.5	4951.0	5097.2	5457.4	5408.0	6267.0	4398.4	4723.7	4537.7
CS82	3159.1	2825.3	2881.7	3173.0	3333.5	3590.4	3719.8	4257.0	4696.0	4922.9	5098.5	5512.5	5534.1	6482.8	4713.0	5220.4	5159.7
CS83	3213.4	2852.8	2903.3	3194.1	3356.5	3624.9	3759.0	4303.7	4741.9	4951.0	5096.8	5456.1	5405.9	6264.0	4396.0	4723.6	4542.3
CS84	3191.6	2841.1	2893.6	3184.9	3347.9	3614.5	3750.5	4298.6	4745.2	4967.1	5129.1	5515.3	5489.3	6371.8	4521.7	4883.0	4697.8
CS85	3191.6	2841.1	2893.6	3184.9	3347.9	3614.5	3750.5	4298.6	4745.2	4967.1	5129.1	5515.3	5489.3	6371.8	4521.7	4883.0	4697.8



Gambar 4.8 Gaya Kabel SC (Forward – Non Komposit)



Gambar 4.9 Gaya Kabel MC (Forward – Non Komposit)

### b. Lenturan Gelagar Jembatan

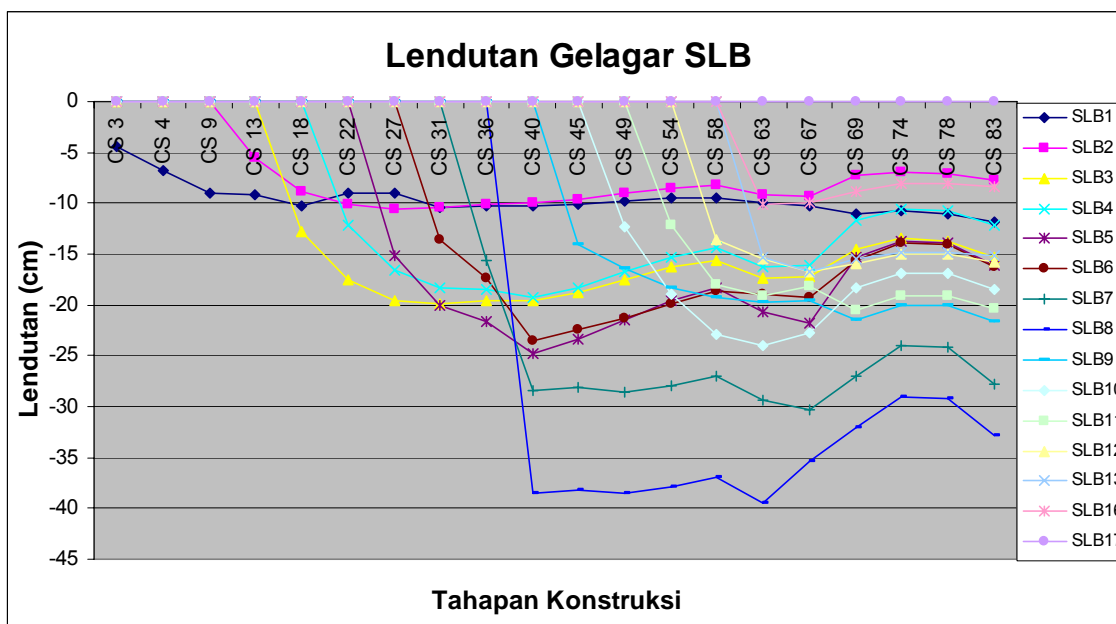
Lenturan gelagar jembatan bertahap untuk bentang samping dan tengah di tunjukkan pada gambar di bawah ini. Nilai lenturan terbesar pada gelagar bentang tengah nomor 11 (MLB11) dengan nilai 123,70 cm

Tabel 4.9 Lendutan Gelagar SLB (Forward – Non Komposit)

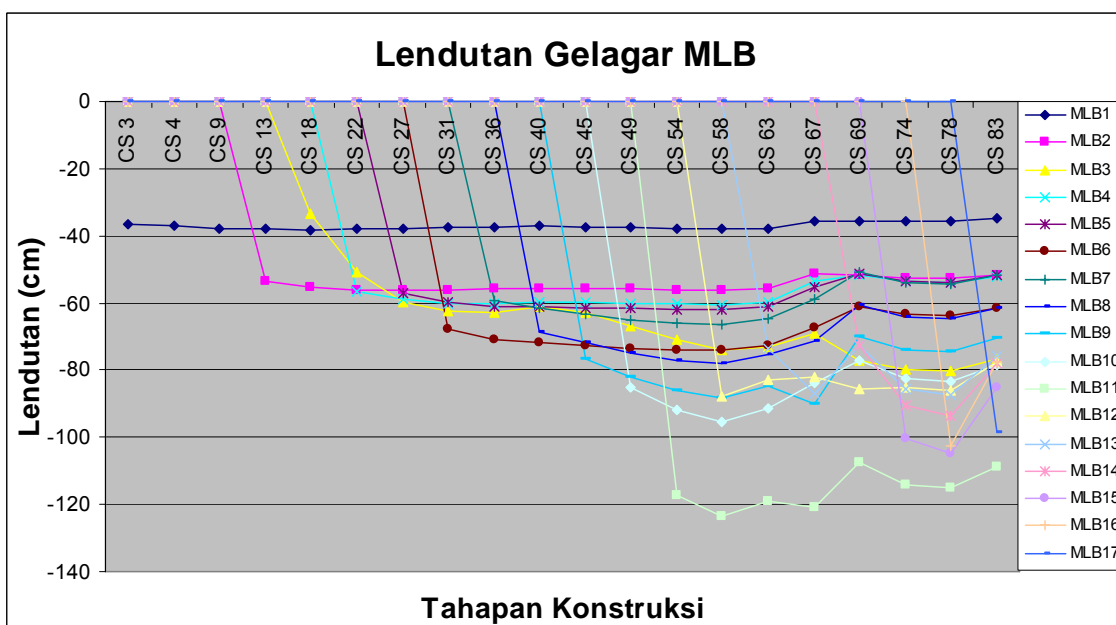
Tahapan Konstruksi	Lendutan Gelagar (cm)														
	SLB1	SLB2	SLB3	SLB4	SLB5	SLB6	SLB7	SLB8	SLB9	SLB10	SLB11	SLB12	SLB13	SLB16	SLB17
CS 3	-4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 4	-6.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 9	-9.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 13	-9.09	-5.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 18	-10.21	-8.81	-12.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 22	-9.05	-10.15	-17.51	-12.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 27	-9.04	-10.51	-19.52	-16.58	-15.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 31	-10.41	-10.38	-19.89	-18.26	-20.01	-13.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 36	-10.3	-10.13	-19.57	-18.41	-21.59	-17.4	-15.58	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 40	-10.19	-9.97	-19.62	-19.33	-24.81	-23.57	-28.46	-38.46	0	0	0	0	0	0	0
CS 45	-10.04	-9.62	-18.79	-18.28	-23.4	-22.49	-28.16	-38.16	-14.11	0	0	0	0	0	0
CS 49	-9.74	-8.99	-17.45	-16.74	-21.55	-21.36	-28.51	-38.51	-16.48	-12.31	0	0	0	0	0
CS 54	-9.5	-8.46	-16.26	-15.28	-19.59	-19.85	-27.94	-37.94	-18.27	-18.9	-12.09	0	0	0	0
CS 58	-9.41	-8.22	-15.62	-14.39	-18.25	-18.61	-26.99	-36.99	-19.2	-22.93	-17.98	-13.54	0	0	0
CS 63	-9.93	-9.1	-17.29	-16.21	-20.62	-19	-29.4	-39.4	-19.76	-24	-19.13	-15.43	-15.28	-10.06	0
CS 67	-10.21	-9.31	-17.21	-16.11	-21.83	-19.2	-30.33	-35.33	-19.61	-22.73	-18.14	-16.81	-16.71	-9.88	0
CS 69	-11.04	-7.26	-14.48	-11.61	-15.31	-15.61	-26.98	-31.98	-21.48	-18.38	-20.49	-15.95	-15.49	-8.92	0
CS 74	-10.79	-6.88	-13.48	-10.57	-13.71	-13.87	-24.05	-29.05	-20.06	-16.92	-19.09	-15.03	-14.81	-8.11	0
CS 78	-11.12	-7.04	-13.7	-10.71	-13.86	-13.99	-24.2	-29.2	-20.09	-16.93	-19.07	-15	-14.77	-8.01	0
CS 83	-11.92	-7.75	-15.26	-12.21	-16.03	-16.25	-27.85	-32.85	-21.67	-18.42	-20.36	-15.74	-15.22	-8.39	0

Tabel 4.10 Lendutan Gelagar MLB (Forward – Non Komposit)

Tahapan Konstruksi	Lendutan Gelagar (cm)																
	MLB1	MLB2	MLB3	MLB4	MLB5	MLB6	MLB7	MLB8	MLB9	MLB10	MLB11	MLB12	MLB13	MLB14	MLB15	MLB16	MLB17
CS 3	-36.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 4	-37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 9	-37.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 13	-38.02	-53.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 18	-38.16	-55.29	-33.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 22	-37.96	-56.11	-50.93	-56.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 27	-37.69	-56.28	-59.59	-58.99	-57.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 31	-37.44	-56.14	-62.63	-59.97	-59.8	-67.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 36	-37.26	-55.88	-62.91	-60.21	-61.08	-71.05	-59.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 40	-37.2	-55.68	-60.98	-59.94	-61.14	-71.96	-61.66	-68.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 45	-37.54	-55.72	-62.94	-59.95	-61.31	-72.61	-63.3	-71.9	-76.71	0	0	0	0	0	0	0	0
CS 49	-37.66	-55.9	-66.8	-60.18	-61.68	-73.37	-64.89	-74.95	-82.07	-84.98	0	0	0	0	0	0	0
CS 54	-37.78	-56.09	-70.81	-60.36	-61.92	-73.82	-65.89	-77.03	-86	-91.64	-117.11	0	0	0	0	0	0
CS 58	-37.86	-56.25	-73.97	-60.48	-62	-73.95	-66.24	-77.96	-88.06	-95.56	-123.72	-87.89	0	0	0	0	0
CS 63	-37.71	-55.95	-73.14	-59.84	-61.09	-72.66	-64.43	-75.48	-84.78	-91.48	-118.99	-82.91	-73.76	0	0	0	0
CS 67	-35.55	-51.07	-69.32	-53.47	-55.42	-67.12	-58.76	-71.35	-90.02	-83.71	-121	-82.25	-86.8	0	0	0	0
CS 69	-35.74	-51.66	-77	-51.9	-51.22	-60.88	-50.97	-60.83	-69.8	-77.35	-107.25	-85.42	-72.49	-72.6	0	0	0
CS 74	-35.89	-52.42	-79.6	-53.62	-53.35	-63.4	-53.89	-64.25	-73.95	-82.66	-114.33	-85.09	-85.8	-90.71	-100.51	0	0
CS 78	-35.58	-52.45	-80.22	-53.9	-53.75	-63.88	-54.43	-64.81	-74.55	-83.32	-115.15	-86.26	-87.6	-93.55	-104.96	-102.68	0
CS 83	-34.96	-51.56	-76.62	-52.19	-51.67	-61.46	-51.63	-61.54	-70.59	-78.33	-108.65	-77.59	-76.01	-78.2	-85.05	-77.62	-98.32



Gambar 4.10 Lendutan Gelagar SLB (Forward – Non Komposit)



Gambar 4.11 Lendutan Gelagar MLB (Forward – Non Komposit)

#### **4.5.1.B Pemodelan struktur pelat dan gelagar satu kesatuan (komposit)**

Pada pemodelan ini antara gelagar baja dan pelat beton merupakan suatu struktur yang komposit. Dari hasil output akan diperoleh hasil berupa gaya kabel dan lendutan gelagar tiap tahapan konstruksi.

##### **a. Gaya Kabel**

Nilai gaya tarik kabel analisa konstruksi jembatan bertahap di setiap tahapan konstruksi dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini. Berdasarkan hasil tabel di bawah ini, nilai gaya kabel terbesar untuk kabel bentang tepi adalah pada kabel nomor 14 (SC14) dengan nilai gaya kabel sebesar 5724.4 kN. Sedangkan untuk kabel bentang tengah nilai terbesar pada kabel nomor 14 (MC14) dengan nilai gaya kabel yaitu 5819.2 kN.



Tabel 4.11 Gaya Kabel SC (Forward – Komposit)

Tahapan Konstruksi	Gaya Kabel (kN)																
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
CS2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS4	566.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS5	661.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS6	1400.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS7	1637.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS8	1860.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS9	1977.6	704.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS10	2229.8	1043.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS11	1824.1	1815.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS12	2038.4	2045.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS13	2142.1	2173.1	779.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS14	2337.6	2448.9	1242.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS15	2555.2	2433.5	1234.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS16	2245.5	2084.2	1873.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS17	2381.2	2246.5	2141.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS18	2479.4	2361.0	2303.6	833.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS19	2605.6	2550.5	2658.4	1341.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS20	2380.2	2259.3	2162.8	2099.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS21	2481.7	2396.4	2404.6	2435.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS22	2461.1	2394.5	2439.0	2512.0	891.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS23	2543.8	2526.6	2681.8	2897.2	1495.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS24	2562.8	2800.0	2972.0	2918.8	1506.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS25	2449.9	2608.5	2609.5	2414.0	2263.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS26	2430.8	2624.1	2707.9	2587.1	2602.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS27	2541.8	2760.1	2875.0	2779.7	2866.2	985.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS28	2433.1	2680.7	2860.5	2858.9	3147.1	1543.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS29	2403.4	2594.7	2660.2	2535.4	2539.7	2404.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS30	2458.5	2681.7	2803.5	2735.6	2876.3	2879.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS31	2432.9	2665.5	2801.6	2756.9	2947.2	3017.2	1009.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS32	2409.2	2666.0	2838.5	2858.7	3196.0	3475.3	1601.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS33	2340.8	2590.4	2758.0	3361.0	3415.9	3376.8	1555.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS34	2423.8	2639.8	2738.4	3211.1	3027.5	2730.7	2682.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS35	2387.3	2619.6	2749.3	3280.4	3202.6	3020.5	3070.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS36	2364.1	2602.6	2738.0	3284.8	3240.7	3105.2	3206.4	1077.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS37	2281.3	2526.1	2669.1	3247.5	3293.1	3293.8	3552.6	1683.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS38	2394.4	2636.6	2773.0	3326.7	3287.1	3165.1	3297.5	2101.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS39	2501.1	2688.6	2805.5	3355.8	3321.3	3215.4	3371.7	2198.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS40	2345.7	2598.6	2747.5	3335.8	3372.1	3353.7	3597.2	2566.0	1368.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS41	2243.3	2492.3	2632.9	3219.8	3301.3	3373.7	3734.8	2924.5	1965.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS42	2352.1	2613.2	2760.7	3376.0	3461.5	3891.2	4307.7	3066.4	2061.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS43	2347.6	2593.0	2730.3	3284.1	3260.1	3477.8	3648.0	2166.0	3344.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS44	2295.1	2542.2	2680.5	3245.0	3262.3	3553.8	3811.9	2452.1	3767.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS45	2335.3	2586.9	2724.8	3303.2	3331.3	3656.7	3961.6	2626.0	4056.1	1163.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS46	2300.2	2541.9	2664.6	3235.9	3280.4	3662.8	4067.4	2879.6	4530.6	1708.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS47	2355.1	2609.9	2746.0	3318.5	3325.4	3618.5	3891.3	2508.7	3904.9	2935.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS48	2291.2	2537.1	2664.5	3228.7	3255.3	3591.2	3929.7	2668.8	4180.6	3279.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS49	2253.7	2495.8	2617.8	3172.4	3200.1	3542.3	3898.1	2685.0	4229.9	3371.5	1281.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS50	2289.2	2528.2	2636.1	3191.0	3217.3	3595.9	4031.0	2896.7	4664.6	3909.0	1890.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS51	2306.2	2547.1	2655.8	3214.8	3241.2	3622.7	4061.0	3210.2	5169.2	3938.1	1904.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS52	2304.4	2553.5	2677.7	3239.4	3255.9	3584.4	3924.5	2924.1	4620.5	3327.4	3022.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS53	2234.4	2472.9	2585.0	3128.6	3150.1	3498.0	3882.5	2995.0	4786.9	3567.8	3365.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS54	2334.6	2584.1	2697.2	3262.8	3282.9	3652.1	4070.9	3168.8	5096.6	3845.9	3680.9	1569.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS55	2244.4	2478.2	2571.7	3102.5	3109.1	3472.1	3919.0	3123.8	5133.7	4017.9	4013.4	2280.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS56	2240.9	2482.9	2593.4	3134.9	3148.1	3487.1	3866.8	2966.8	4766.7	3564.1	3386.0	3674.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS57	2279.6	2522.6	2626.0	3171.0	3180.9	3538.8	3961.9	3103.9	5050.4	3875.2	3790.6	4212.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS58	2264.3	2506.3	2605.3	3143.6	3148.8	3504.6	3934.7	3097.0	5069.9	3926.1	3883.4	4408.1	1415.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS59	2289.2	2531.7	2627.2	3164.0	3158.1	3505.0	3934.4	3082.7	5085.5	3961.4	3956.9	4516.3	1564.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS60	2246.9	2484.9	2578.7	3105.5	3099.6	3440.2	3861.7	3025.6	4991.4	4277.0	4272.1	4516.3	1535.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS61	2257.3	2503.7	2613.5	3157.5	3167.2	3507.0	3893.1	2990.1	4823.5	3988.3	3817.8	3780.7	2766.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS62	2219.7	2459.4	2558.9	3086.1	3086.9	3422.5	3823.3	2969.8	4853.2	4097.4	4023.2	4203.6	3185.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS63	2256.9	2509.9	2610.7	3147.5	3142.8	3482.9	3897.7	3031.5	4985.8	4241.8	4207.4	4357.4	3455.4	1502.7	0.0	0.0	0.0	0.0
CS64	2266.1	2516.9	2607.5	3133.0	3109.2	3436.1	3859.2	3004.3	5027.8	4359.8	4435.8	4744.6	3979.6	2163.3	0.0	0.0	0.0	0.0
CS65	2251.0	2507.6	2613.9	3154.5	3154.4	3491.7	3891.4	3002.6	4902.3	4119.8	4029.5	4101	3173.4	3701.1	0.0	0.0	0.0	0.0
CS66	1973.4	2335.8	2470.8	3011.1	3012.5	3340.5	3739.9	2884.6	4774.5	4067.4	4049.5	4349.6	3403.2	4076.9	0.0	0.0	0.0	0.0
CS67	2073.6	2451.3	2592.0	3157.6	3157.7	3499.9	3917.1	3018.0	4997.6	4257.1	4239.7	4345.8	3570.7	4287.4	0.0	0.0	0.0	0.0
CS68	2210.0	2454.5	2536.2	3044.3	3016.8	3343.1	3780.7	2983.8	5038.3	4439.5	4590.8	5120	4288.0	5269.5	0.0	0.0	0.0	0.0
CS69	2146.5	2414.3	2507.4	3019.2	2997.9	3321.1	3744.7	2935.9	4933.2	4310.0	4416.6	4915.6	4030.0	4930.0	1117.0	0.0	0.0	0.0

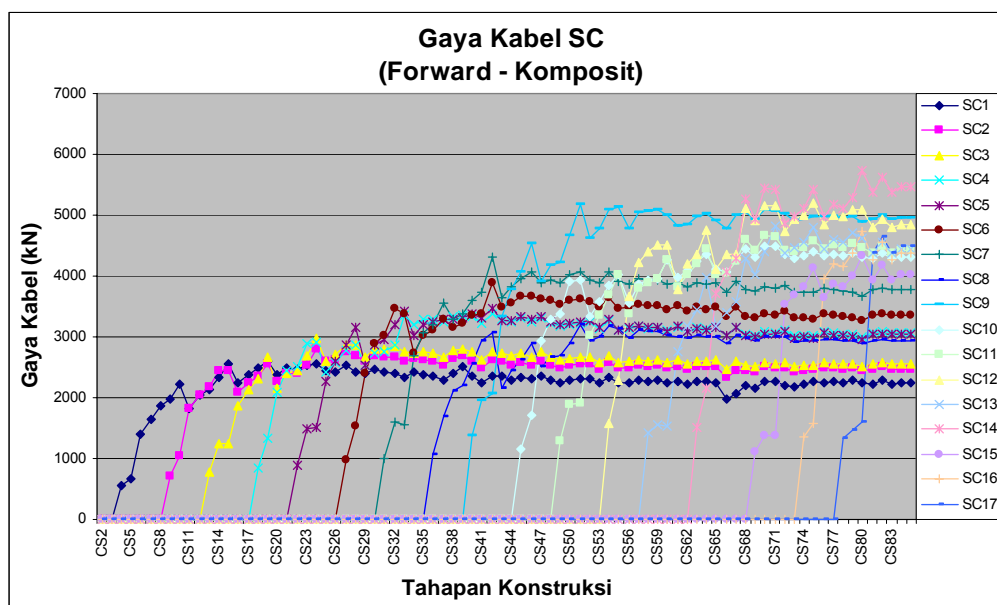
CS70	2270.0	2500.3	2575.7	3084.5	3051.3	3376.9	3818.1	3010.8	5094.9	4498.0	4664.7	5158.8	4398.8	5433.5	1375.9	0.0	0.0
CS71	2261.6	2490.9	2566.1	3073.0	3039.9	3364.3	3803.8	2999.6	5075.9	4481.2	4647.4	5158.8	4820.6	5413.3	1370.8	0.0	0.0
CS72	2198.8	2485.6	2587.3	3118.6	3097.8	3426.3	3850.8	2995.5	5018.4	4353.3	4430.8	4743	4379.7	4874.4	3525.0	0.0	0.0
CS73	2179.6	2426.8	2511.6	3015.9	2988.6	3304.4	3722.4	2911.0	4900.6	4285.2	4400.7	4926.4	4456.2	4987.9	3687.1	0.0	0.0
CS74	2222.6	2453.3	2531.0	3032.4	3000.9	3316.5	3738.7	2928.9	4940.4	4333.3	4466.1	4997.3	4564.7	5122.1	3818.5	1356.5	0.0
CS75	2276.6	2473.6	2535.8	3025.5	2985.8	3298.5	3728.0	2937.3	4981.4	4407.1	4585.5	5201.8	4802.6	5419.9	4127.4	1572.2	0.0
CS76	2235.3	2484.1	2570.4	3085.2	3057.2	3377.3	3798.2	2960.3	4973.7	4333.1	4433.7	4838.6	4446.4	4970.7	3649.0	3961.6	0.0
CS77	2265.8	2486.9	2560.9	3063.9	3029.8	3345.9	3770.0	2951.1	4978.3	4365.7	4500.1	4990.9	4601.9	5168.4	3860.8	4207.7	0.0
CS78	2254.5	2473.2	2546.4	3046.1	3012.0	3325.9	3746.7	2931.9	4944.5	4334.3	4465.8	4980.9	4561.1	5121.2	3821.7	4164.5	1342.6
CS79	2290.4	2488.3	2552.0	3044.8	3005.7	3317.9	3743.0	2938.5	4971.3	4379.6	4538.1	5098.5	4702.1	5297.7	4004.2	4376.2	1456.3
CS80	2249.8	2444.2	2506.8	2990.9	2952.5	3259.2	3676.8	2886.5	4883.3	4302.1	4457.7	5098.5	4618.9	5724.4	4326.7	4728.6	1601.9
CS81	2224.4	2471.6	2557.9	3069.8	3042.3	3359.9	3775.8	2939.2	4932.7	4289.8	4381.2	4798.4	4370.9	5368.5	3927.1	4261.1	4383.3
CS82	2278.4	2503.9	2580.1	3087.7	3054.3	3372.0	3795.5	2965.4	4994.1	4368.1	4490.1	4929.2	4557.0	5620.3	4175.7	4547.0	4647.7
CS83	2224.1	2471.5	2557.8	3069.8	3042.3	3359.9	3775.8	2939.1	4932.5	4289.5	4380.7	4797.7	4370.2	5367.6	3927.3	4261.7	4383.8
CS84	2238.7	2477.5	2559.8	3068.9	3039.2	3356.2	3774.3	2942.6	4945.6	4311.3	4414.9	4853.1	4436.7	5458.8	4020.1	4368.6	4493.1
CS85	2238.7	2477.5	2559.8	3068.9	3039.2	3356.2	3774.3	2942.6	4945.6	4311.3	4414.9	4853.1	4436.7	5458.8	4020.1	4368.6	4493.1

Tabel 4.12 Gaya Kabel MC (Forward – Komposit)

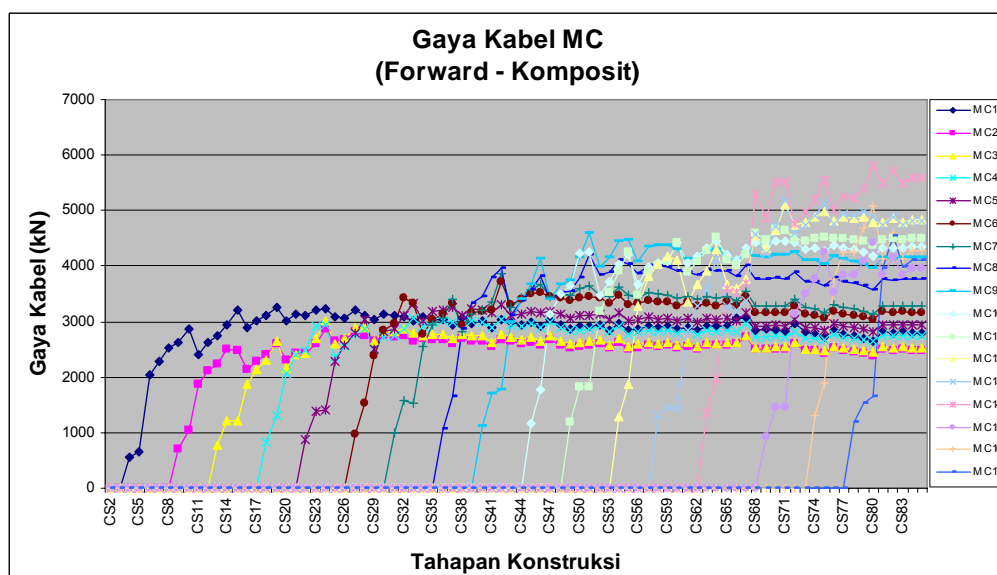
Tahapan Konstruksi	Gaya Kabel (kN)																
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10	MC11	MC12	MC13	MC14	MC15	MC16	MC17
CS2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS4	565.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS5	661.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS6	2049.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS7	2294.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS8	2528.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS9	2633.3	716.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS10	2861.5	1055.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS11	2413.3	1874.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS12	2626.4	2105.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS13	2739.3	2231.3	770.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS14	2931.9	2503.9	1225.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS15	3204.9	2488.2	1217.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS16	2881.1	2126.7	1875.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS17	3005.5	2287.2	2140.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS18	3120.4	2402.3	2300.2	825.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS19	3255.2	2592.3	2649.6	1322.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS20	3023.5	2303.3	2164.1	2074.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS21	3126.5	2440.3	2402.9	2405.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS22	3103.4	2442.0	2442.4	2488.9	866.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS23	3215.6	2589.9	2709.9	2910.4	1393.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS24	3239.6	2870.2	3003.1	2932.1	1404.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS25	3098.8	2650.7	2592.2	2360.9	2279.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS26	3072.9	2676.2	2709.8	2560.9	2565.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS27	3220.4	2819.3	2883.1	2759.8	2806.9	979.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS28	3099.0	2749.2	2887.9	2867.2	3045.6	1524.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS29	3049.8	2646.5	2660.0	2505.9	2515.0	2379.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS30	3126.1	2743.0	2818.0	2726.3	2818.1	2843.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS31	3102.6	2730.4	2821.3	2754.0	2879.6	2975.2	1001.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS32	3091.5	2738.6	2871.6	2875.7	3108.9	3425.7	1578.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS33	3003.8	2660.9	2790.1	3073.6	3322.8	3328.6	1534.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS34	3084.2	2699.1	2755.9	2921.2	3015.4	2758.8	2559.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS35	3047.4	2684.1	2777.0	3001.1	3172.0	3044.7	2937.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS36	3027.7	2670.1	2769.9	3010.8	3208.8	3129.6	3068.9	1061.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS37	2938.2	2595.7	2707.3	2989.2	3260.9	3320.8	3407.5	1650.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS38	3070.4	2696.8	2771.3	2972.8	3119.5	2950.9	2829.7	2870.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS39	2956.0	2647.6	2758.4	3013.0	3227.5	3163.0	3137.4	3323.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS40	3012.1	2654.6	2747.6	2996.2	3218.9	3186.4	3199.5	3450.0	1117.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS41	2892.6	2546.7	2634.7	2897.2	3161.0	3219.0	3347.9	3784.5	1695.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS42	3033.0	2670.3	2762.6	3037.8	3314.5	3712.7	3861.5	3968.2	1777.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS43	3001.4	2641.9	2721.9	2940.7	3119.7	3316.1	3257.5	3106.4	2982.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS44	2942.1	2591.1	2674.6	2911.2	3125.4	3398.5	3424.9	3381.0	3395.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS45	2985.9	2631.4	2715.4	2962.2	3194.1	3500.4	3566.5	3575.5	3667.7	1178.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS46	2919.5	2571.7	2645.9	2897.1	3153.7	3514.9	3677.5	3825.1	4124.6	1773.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS47	3027.0	2666.8	2747.6	2981.7	3189.2	3442.8	3452.7	3391.4	3397.3	3132.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS48	2931.0	2583.8	2661.0	2899.5	3125.9	3423.4	3500.7	3532.8	3669.5	3508.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS49	2875.8	2535.2	2607.6	2843.1	3072.4	3379.1	3483.0	3555.6	3753.6	3653.9	1188.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS50	2905.7	2557.6	2617.9	2854.3	3099.0	3436.0	3608.7	3786.5	4154.4	4221.5	1811.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS51	2927.3	2576.6	2637.4	2875.6	3122.1	3461.6	3635.6	4196.2	4603.9	4253.0	1825.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS52	2952.9	2605.2	2680.7	2915.3	3134.6	3415.4	3479.1	3846.1	3982.4	3464.1	3174.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS53	2853.2	2516.3	2583.7	2813.5	3038.8	3337.6	3448.6	3891.2	4144.7	3716.5	3529.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS54	2976.0	2624.0	2689.6	2927.7	3165.4	3482.6	3618.4	4117.7	4441.0	4041.0	3906.9	1299.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS55	2851.4	2509.3	2558.2	2778.5	3007.3	3314.3	3484.7	4040.8	4481.7	4215.7	4242.8	1874.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS56	2865.2	2529.7	2597.2	2824.8	3044.9	3331.5	3430.0	3854.1	4088.2	3659.1	3476.0	3274.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS57	2907.9	2565.3	2626.2	2854.9	3083.2	3384.2	3517.1	4008.8	4341.0	3978.4	3888.1	3827.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS58	2885.6	2545.0	2600.7	2824.4	3050.1	3347.2	3490.2	4000.7	4371.0	4051.4	4015.7	4039.2	1306.8	0.0	0.0	0.0	0.0
CS59	2917.0	2570.1	2621.0	2840.4	3061.2	3346.8	3486.7	3998.2	4380.6	4086.4	4090.5	4182.0	1449.1	0.0	0.0	0.0	0.0
CS60	2863.0	2522.6	2572.6	2787.8	3004.5	3284.9	3422.2	3924.2	4299.6	4411.9	4416.3	4104.6	1422.3	0.0	0.0	0.0	0.0
CS61	2886.8	2551.7	2619.6	2848.7	3069.9	3356.4	3455.6	3884.2	4124.2	4069.1	3878.7	3345.2	2855.6	0.0	0.0	0.0	0.0
CS62	2834.4	2503.0	2562.0	2781.7	2998.0	3277.7	3393.8	3851.6	4153.0	4178.8	4084.5	3666.0	3274.6	0.0	0.0	0.0	0.0
CS63	2911.8	2565.5	2619.4	2838.7	3056.1	3336.1	3459.1	3938.4	4272.0	4335.6	4287.1	3917.8	3577.5	1371.6	0.0	0.0	0.0
CS64	2920.7	2569.1	2611.7	2819.8	3028.1	3289.5	3419.2	3918.4	4306.0	4457.4	4525.0	4305.5	4127.0	1980.7	0.0	0.0	0.0
CS65	2907.1	2565.3	2624.8	2847.5	3065.2	3345.1	3454.8	3907.9	4196.7	4207.9	4100.0	3665.7	3276.5	3592.0	0.0	0.0	0.0
CS66	3056.4	2608.7	2628.5	2819.3	3014.6	3281.2	3382.3	3823.3	4106.0	4118.2	4018.7	3593.7	3216.3	3527.3	0.0	0.0	0.0
CS67	3072.0	2733.4	2754.9	2955.4	3160.5	3440.2	3546.3	4008.7	4305.2	4317.9	4213.6	3768.0	3372.2	3698.2	0.0	0.0	0.0
CS68	2842.8	2501.5	2533.5	2724.9	2916.7	3147.8	3274.9	3771.3	4192.5	4422.9	4605.2	4551.6	4567.4	5296.8	0.0	0.0	0.0
CS69	2863.3	2505.1	2535.7	2727.4	2920.7	3161.3	3284.6	3769.6	4161.3	4342.7	4460.1	4320.0	4239.5	4856.5	926.0	0.0	0.0
CS70	2839.6	2513.4	2549.5	2743.6	2935.6	3160.6	3285.6	3782.9	4210.8	4458.8	4668.2	4653.9	4722.6	5526.5	1451.6	0.0	0.0
CS71	2829.1	2504.0	2540.0	2733.4	2924.7	3148.8	3273.4	3768.8	4195.1	4442.2	4650.8	5100.2	5175.5	5505.9	1446.2	0.0	0.0
CS72	2967.5	2593.8	2627.0	2826.4	3026.3	3277.1	3397.7	3885.4	4264.4	4418.5	4500.4	4738.3	4598.4	4775.2	3147.0	0.0	0.0
CS73	2808.8	2475.8	2512.0	2705.0	2896.7	3128.7	3248.3	3726.4	4117.1	4310.1	4448.5	4778.3	4742.6	4986.2	3494.9	0.0	0.0
CS74	2781.7	2467.2	2507.3	2701.8	2892.9	3118.1	3236.5	3714.9	4113.5	4326.4	4494.2	4875.4	4897.9	5194.1	3759.8	1319.6	0.0
CS75	2710.7	2428.6	2473.7	2666.7	2852.0	3057.8	3169.4	3637.7	4041.8	4288.4	4510.9	4989.1	5134.0	5544.7	4262.4	1902.3	0.0
CS76	2846.3	2519.4	2561.2	2761.3	2958.1	3194.4	3312.8	3793.5	4180.6	4365.6	4494.3	4811.6	4766.2	5018.5	3513.2	3756.8	0.0
CS77	2774.6	2475.3	2521.3	2720.4	2913.6	3137.6	3253.5	3729.3	4123.8	4335.2	4503.9	4890.2	4926.3	5246.7	3838.3	4242.1	0.0
CS78	2749.7	2456.5	2503.4	2701.6	2893.3	3114.5	3228.7	3699.8	4090.5	4301.1	4470.7	4858.2	4900.9	5227.4	3838.7	4259.7	1189.0
CS79	2708.8	2436.1	2487.3	2685.3	2873.4	3081.8	3188.4	3647.4	4032.0	4253.0	4445.1	4875.9	4985.4	5385.5	4094.6	4695.8	1523.7
CS80	2660.9	2393.0	2443.3	2637.7	2822.6	3027.3	3132.0	3582.8	3960.7	4177.7	4366.4	4789.6	4897.1	5819.2	4424.4	5074.0	1646.4
CS81	2813.4	2497.7	2541.9	2742.5	2938.7	3173.6	3291.0	3767.9	4151.7	4335.1	4463.1	4778.5	4735.2	5487.4	3851.2	4136.0	3973.2
CS82	2783.5	2489.3	2539.0	2741.7	2937.2	3163.5	3277.5	3750.9	4137.7	4337.5	4492.3	4857.1	4876.1	5712.0	4152.6	4599.7	4546.2
CS83	2813.7	2497.9	2542.1	2742.7	2939.0	3174.0	3291.4	3768.3	4152.0	4335.1	4462.7	4777.4	4733.4	5484.8	3849.2	4136.0	3977.2
CS84	2794.6	2487.7	2533.6	2734.8	2931.4	3164.9	3284.0	3763.9	4154.9	4349.2	4491.0	4829.2	4806.4	5579.2	3959.2	4275.6	4113.4
CS85	2794.6	2487.7	2533.6	2734.8	2931.4	3164.9	3284.0	3763.9	4154.9	4349.2	4491.0	4829.2	4806.4	5579.2	3959.2	4275.6	4113.4



Gambar 4.12 Gaya Kabel SC (Forward – Komposit)



Gambar 4.13 Gaya Kabel MC (Forward – Komposit)

#### b. Lendutan Gelagar

Lendutan gelagar jembatan bertahap untuk bentang samping dan tengah di tunjukkan pada gambar di bawah ini. Nilai lendutan terbesar pada gelagar bentang tengah nomor 15 (MLB15) dengan nilai -123.72 cm

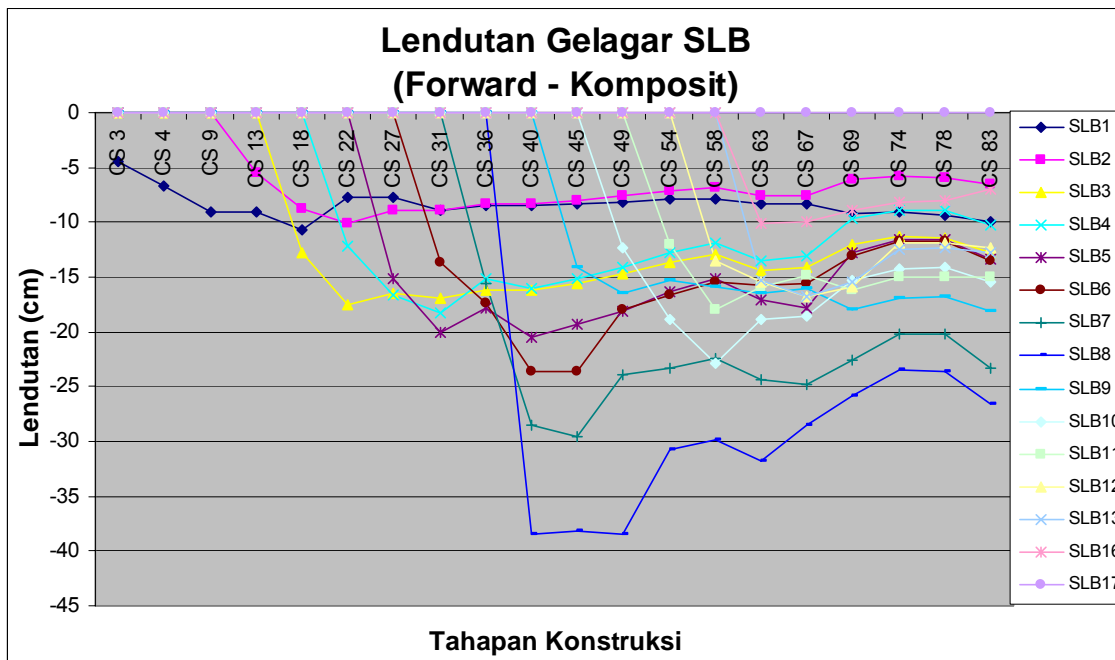
Tabel 4.13 Lendutan Gelagar SLB (Forward – Komposit)

Tahapan Konstruksi	Lendutan gelagar (cm)														
	SLB1	SLB2	SLB3	SLB4	SLB5	SLB6	SLB7	SLB8	SLB9	SLB10	SLB11	SLB12	SLB13	SLB16	SLB17
CS 3	-4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 4	-6.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 9	-9.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 13	-9.09	-5.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 18	-10.72	-8.81	-12.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 22	-7.72	-10.15	-17.51	-12.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 27	-7.67	-8.91	-16.56	-16.58	-15.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 31	-8.89	-8.86	-16.98	-18.26	-20.01	-13.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 36	-8.49	-8.35	-16.13	-15.18	-17.80	-17.40	-15.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 40	-8.44	-8.26	-16.26	-16.02	-20.56	-23.57	-28.46	-38.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 45	-8.31	-7.96	-15.55	-15.13	-19.36	-23.62	-29.57	-38.16	-14.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 49	-8.19	-7.56	-14.68	-14.08	-18.12	-17.97	-23.98	-38.51	-16.48	-12.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 54	-7.94	-7.07	-13.59	-12.77	-16.38	-16.59	-23.35	-30.67	-15.27	-18.90	-12.09	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 58	-7.82	-6.83	-12.97	-11.95	-15.16	-15.46	-22.42	-29.91	-15.95	-22.93	-17.98	-13.54	0.00	0.00	0.00
CS 63	-8.25	-7.56	-14.36	-13.46	-17.13	-15.78	-24.42	-31.86	-16.41	-18.90	-15.89	-15.43	-15.28	-10.06	0.00
CS 67	-8.33	-7.60	-14.04	-13.14	-17.81	-15.66	-24.75	-28.57	-16.00	-18.54	-14.80	-16.81	-16.71	-9.88	0.00
CS 69	-9.23	-6.07	-12.10	-9.71	-12.79	-13.04	-22.55	-25.86	-17.96	-15.36	-16.13	-15.95	-15.49	-8.92	0.00
CS 74	-9.08	-5.79	-11.34	-8.89	-11.53	-11.67	-20.23	-23.49	-16.87	-14.23	-15.03	-11.84	-12.45	-8.11	0.00
CS 78	-9.29	-5.89	-11.45	-8.95	-11.59	-11.69	-20.23	-23.61	-16.79	-14.15	-15.02	-11.81	-12.34	-8.01	0.00
CS 83	-9.95	-6.47	-12.74	-10.19	-13.38	-13.56	-23.24	-26.56	-18.09	-15.37	-14.96	-12.39	-12.70	-7.01	0.00

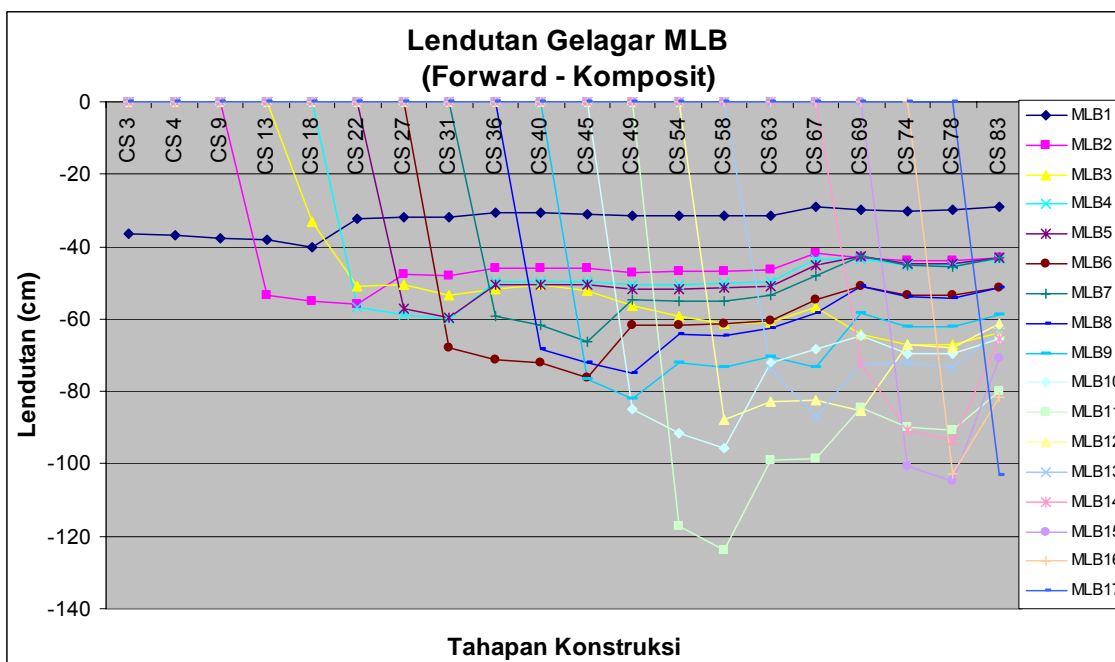
Tabel 4.14 Lendutan Gelagar MLB (Forward – Komposit)

Tahapan Konstruksi	Lendutan gelagar (cm)																
	MLB1	MLB2	MLB3	MLB4	MLB5	MLB6	MLB7	MLB8	MLB9	MLB10	MLB11	MLB12	MLB13	MLB14	MLB15	MLB16	MLB17
CS 3	-36.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 4	-37.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 9	-37.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 13	-38.02	-53.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 18	-40.07	-55.29	-33.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 22	-32.37	-56.11	-50.93	-56.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 27	-31.97	-47.75	-50.55	-58.99	-57.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 31	-31.96	-47.93	-53.46	-59.97	-59.80	-67.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 36	-30.71	-46.06	-51.85	-49.63	-50.34	-71.05	-59.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 40	-30.82	-46.13	-50.52	-49.66	-50.65	-71.96	-61.66	-68.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 45	-31.06	-46.10	-52.08	-49.60	-50.73	-76.24	-66.47	-71.90	-76.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 49	-31.67	-47.02	-56.18	-50.61	-51.88	-61.71	-54.57	-74.95	-82.07	-84.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 54	-31.58	-46.88	-59.19	-50.45	-51.75	-61.70	-55.07	-64.39	-71.88	-91.64	-117.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 58	-31.44	-46.72	-61.44	-50.23	-51.50	-61.42	-55.02	-64.75	-73.14	-95.56	-123.72	-87.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 63	-31.32	-46.47	-60.75	-49.70	-50.74	-60.35	-53.51	-62.69	-70.42	-72.04	-98.83	-82.91	-73.76	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 67	-29.01	-41.67	-56.56	-43.62	-45.21	-54.76	-47.94	-58.21	-73.44	-68.29	-98.72	-82.25	-86.80	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 69	-29.88	-43.18	-64.35	-43.38	-42.81	-50.88	-42.60	-50.84	-58.34	-64.65	-84.46	-85.42	-72.49	-72.60	0.00	0.00	0.00
CS 74	-30.19	-44.09	-66.95	-45.10	-44.87	-53.33	-45.32	-54.04	-62.20	-69.52	-90.03	-67.01	-72.16	-90.71	-100.51	0.00	0.00
CS 78	-29.74	-43.83	-67.05	-45.05	-44.92	-53.39	-45.49	-54.17	-62.31	-69.64	-90.68	-67.93	-73.21	-93.55	-104.96	-102.68	0.00
CS 83	-29.19	-43.04	-63.96	-43.56	-43.13	-51.30	-43.10	-51.37	-58.93	-65.39	-79.86	-61.11	-63.45	-65.28	-71.00	-81.50	-103.24





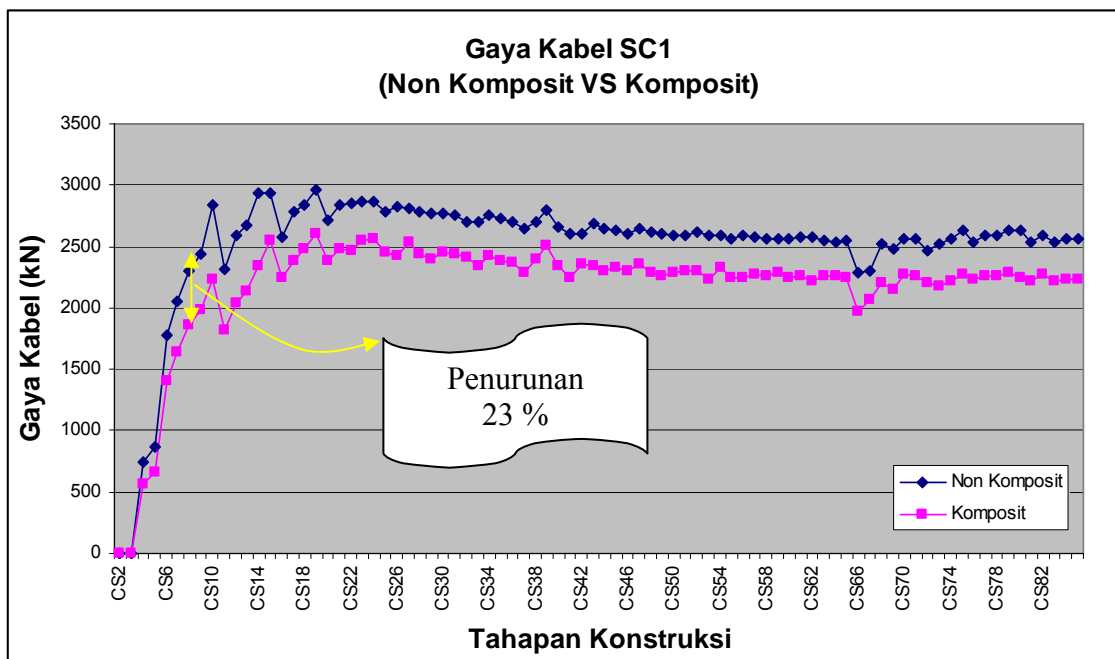
Gambar 4.14 Lendutan Gelagar SLB (Forward – Komposit)

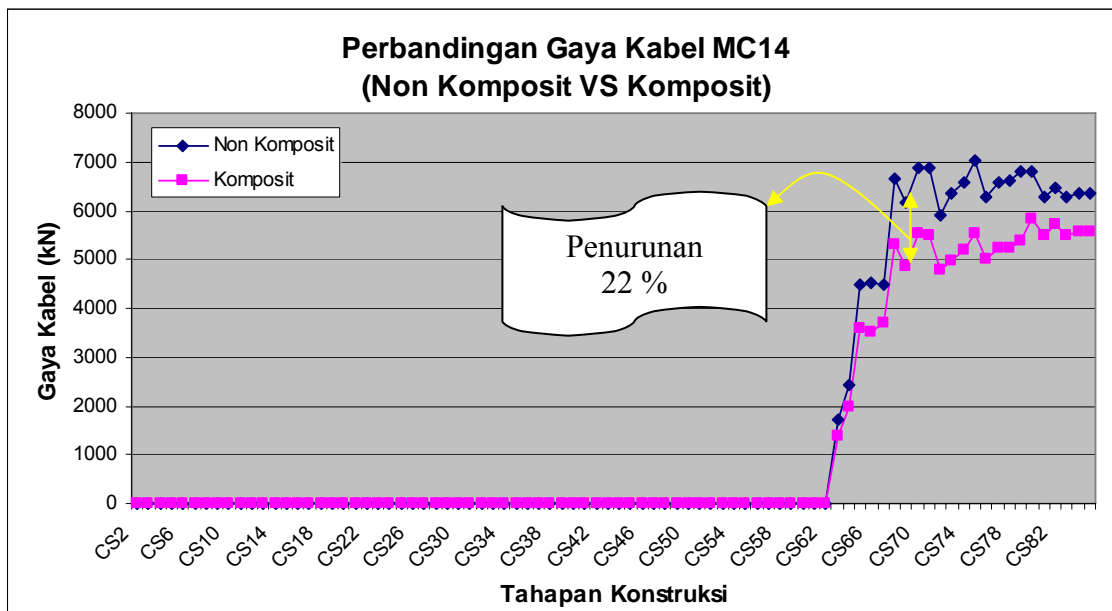


Gambar 4.15 Lendutan Gelagar MLB (Forward – Komposit)

#### 4.5.1.C Analisa Hasil Perbandingan (Non Komposit VS Komposit)

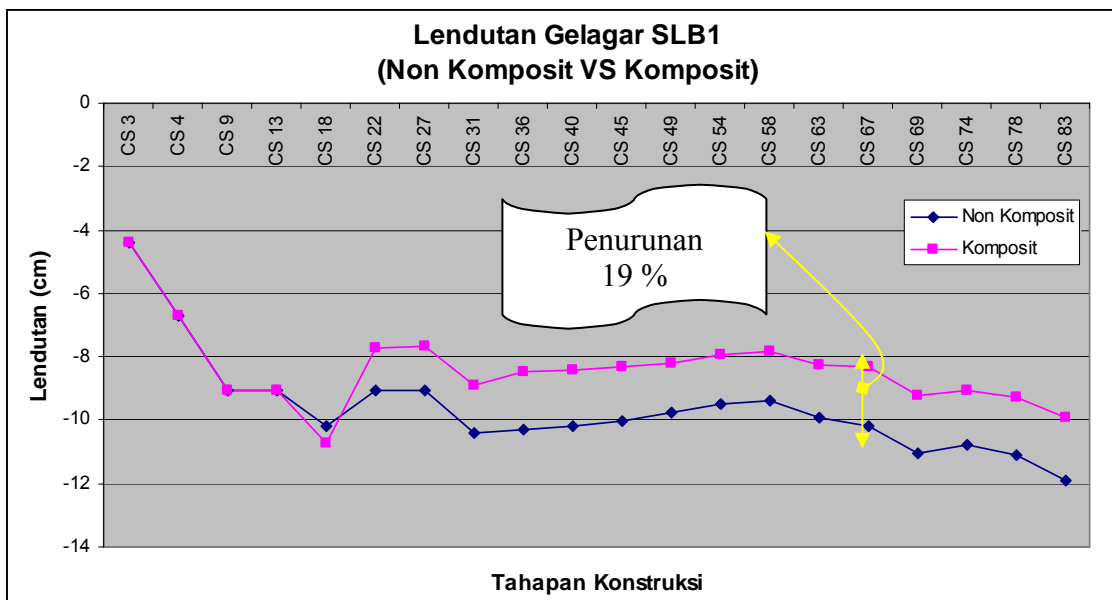
Setelah dilakukan analisa perhitungan pada sub bab 4.5.1.A dan 4.5.1.B, selanjutnya akan diperbandingkan hasil pengaruh nilai gaya kabel dan lendutan gelagar arah melintang dari asumsi pelat dimodelkan sebagai beban luar dan pelat beton dan gelagar baja sebagai struktur komposit. Perbandingan nilai-nilai tersebut akan di contohkan berdasarkan nilai terbesar dan nilai terkecil dari gaya kabel dan lendutan gelagar yang terjadi. Berdasarkan gambar di atas gaya kabel terbesar ada pada gaya kabel no.14 bentang tengah (MC14) dan lendutan gelagar terbesar ada pada gelagar 11 bentang tengah (MLB11). Sedangkan nilai gaya kabel terkecil pada kabel 1 bentang tepi (SC1) dan nilai lendutan gelagar terkecil pada gelagar 1 bentang tepi (SLB1). Hasil perbandingan gaya kabel dan lendutan gelagar non komposit dan komposit seperti di tunjukkan pada gambar di bawah ini.

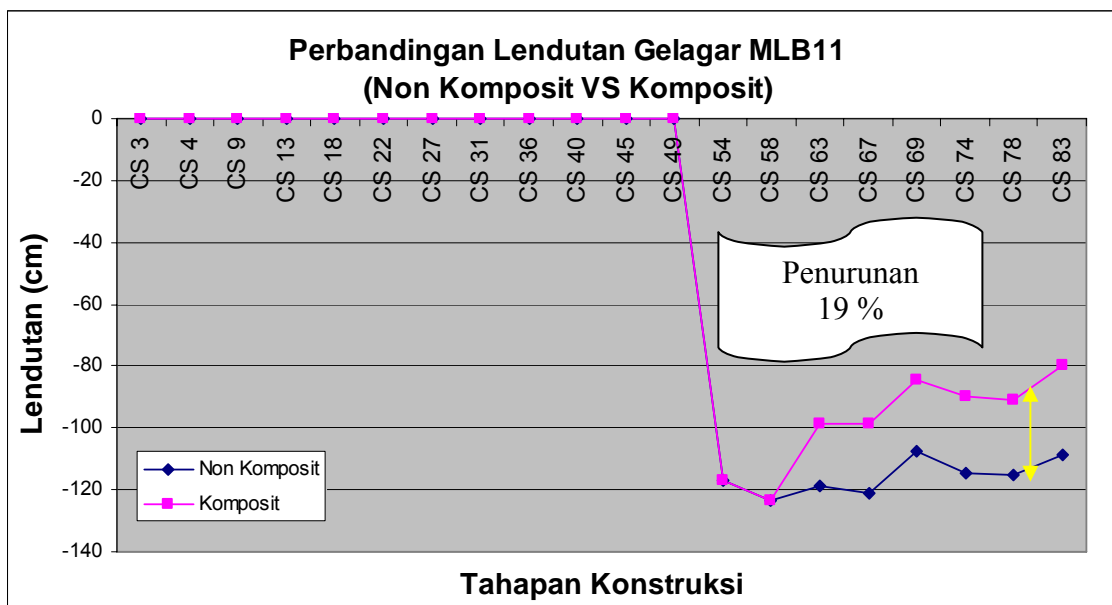




Gambar 4.16 Perbandingan Gaya Kabel (Non Komposit VS Komposit)

Dari perbandingan gaya kabel di atas diperoleh bahwa terjadi penurunan besaran gaya kabel sebesar  $\pm 22\%$  dari asumsi pelat dimodelkan sebagai beban luar menjadi pemodelan struktur komposit.



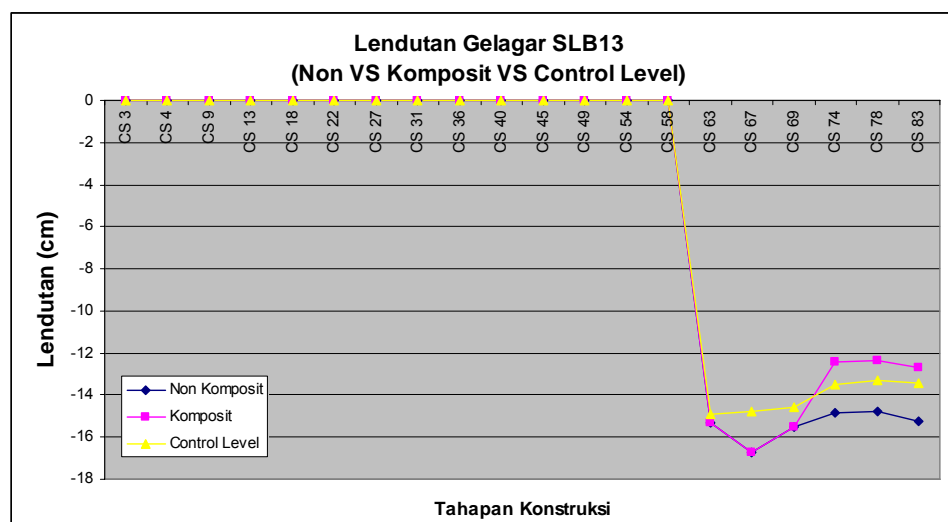
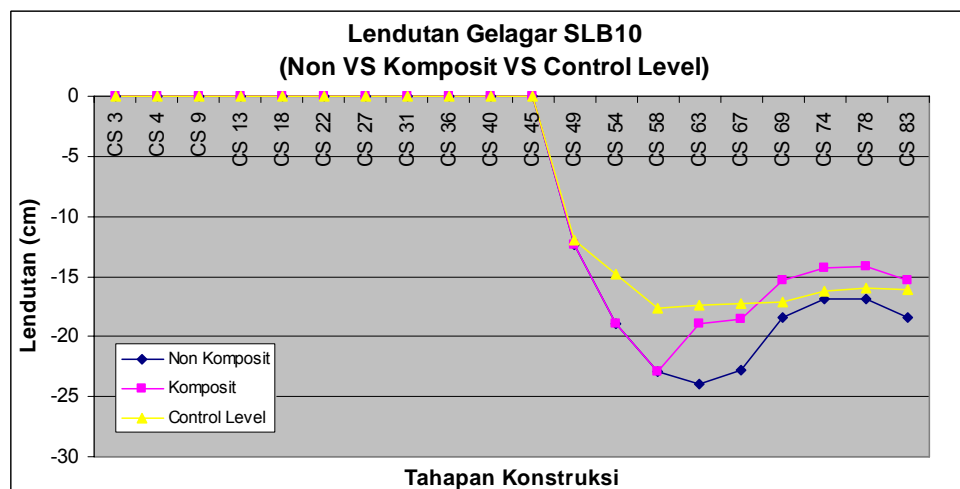
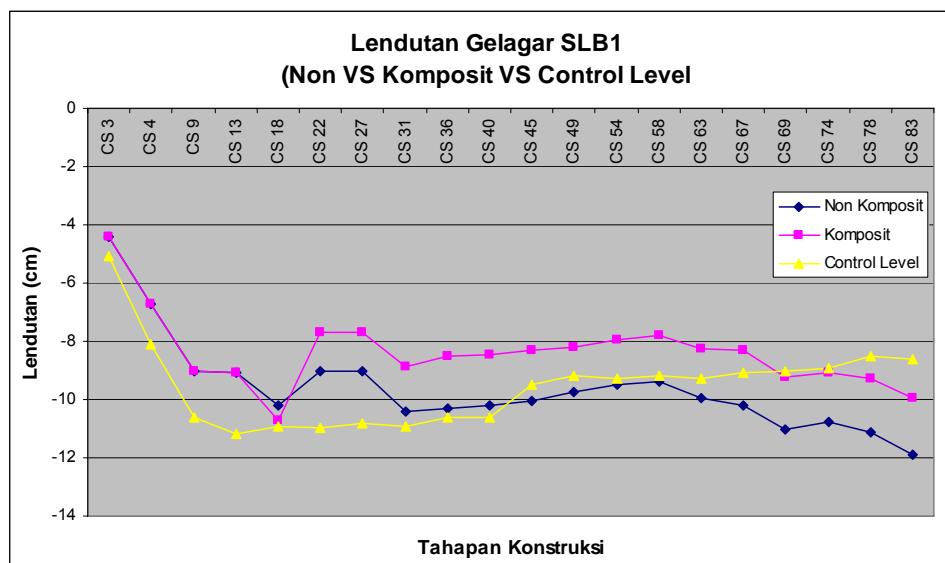


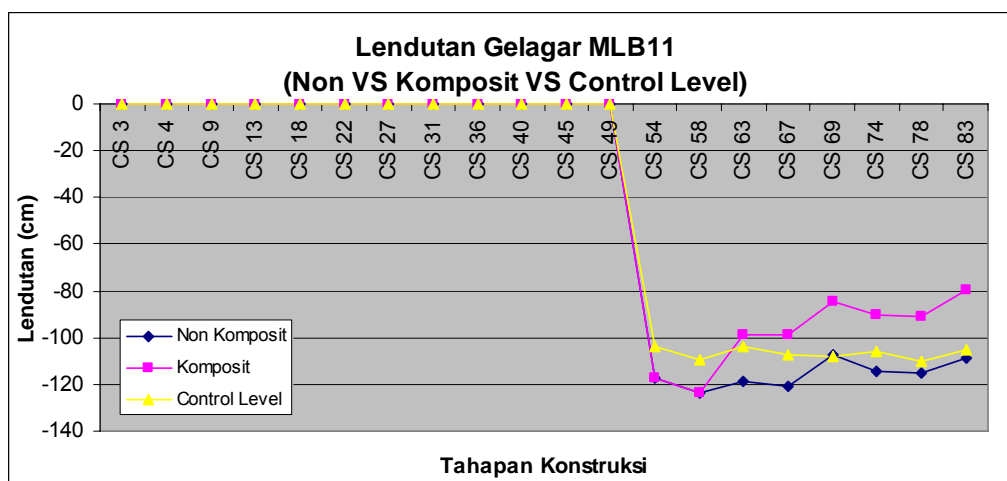
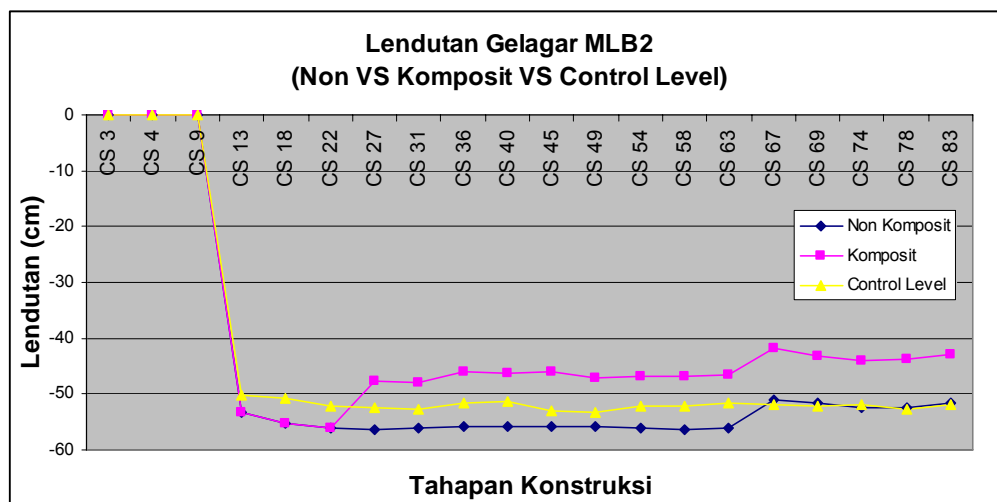
Gambar 4.17 Perbandingan Lendutan Gelagar (Non Komposit VS Komposit)

Dari perbandingan lendutan gelagar di atas diperoleh bahwa terjadi penurunan besaran lendutan gelagar sebesar 19 % dari asumsi pelat dimodelkan sebagai beban luar menjadi pemodelan struktur komposit.

#### 4.5.1.D Perbandingan Nilai Lendutan Dengan Hasil Control Level

Untuk mengevaluasi hasil analisa pada sub bab 4.5.1.C, perlu juga dilakukan perbandingan dengan hasil yang ada di lapangan. Data hasil lapangan merupakan data control level in construction dari Consortium Contractor China. Gambar di bawah ini merupakan contoh hasil perbandingan tersebut.





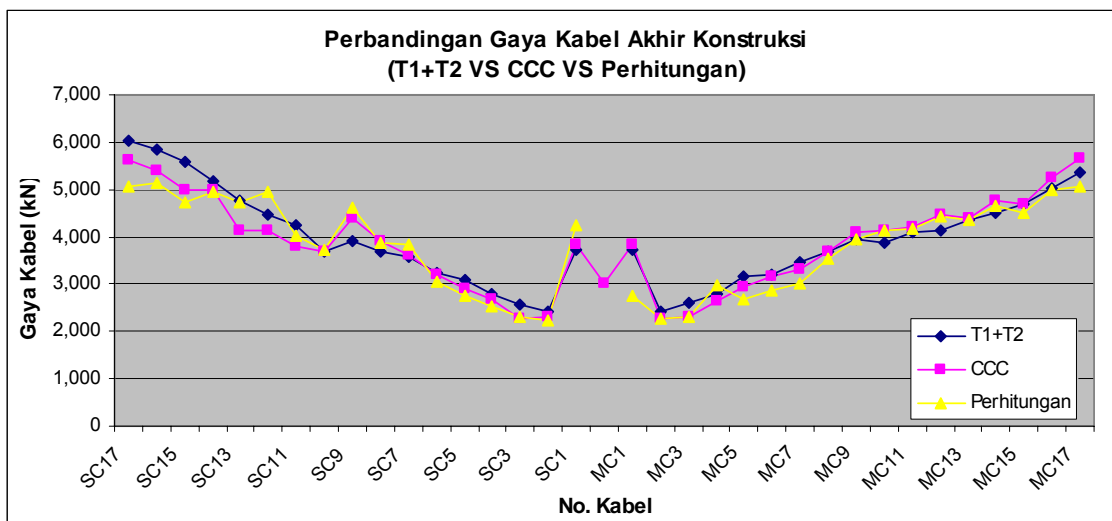
Gambar 4.18 Perbandingan Lendutan Gelagar (Non VS Komposit VS Control Level)

#### 4.5.1.E Hasil Pada Akhir Konstruksi

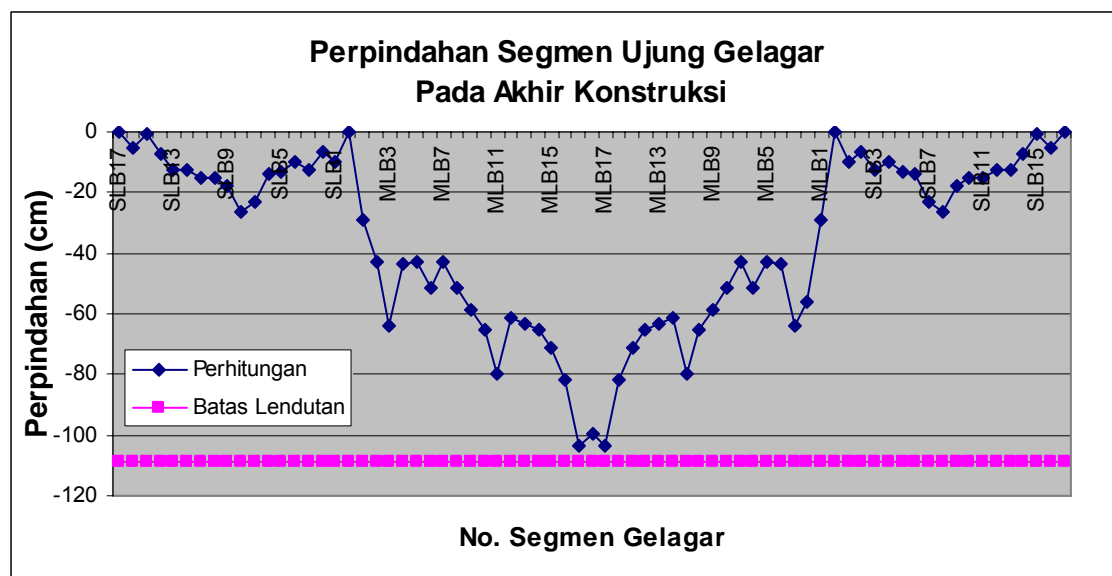
Langkah selanjutnya adalah merangkum hasil dari gaya kabel dan lendutan gelagar yang terjadi pada tahap akhir konstruksi. Rangkuman data gaya kabel dan lendutan gelagar dapat di lihat pada gambar di bawah ini. Untuk data gaya kabel pada akhir konstruksi akan memperlihatkan perbandingan nilai gaya tarik kabel pada tension 1 dan 2, nilai gaya kabel pada akhir konstruksi (data Consortium Contractors China), dan nilai gaya kabel pada akhir konstruksi (perhitungan).

Tabel 4.15 Gaya Kabel Akhir Konstruksi

No. Kabel	Gaya Kabel (kN)						
	Tension 1 (T1)	Tension 2 (T2)	T1 +T2	Completion (CCC)	Loss	Completion (Perhitungan)	Loss
SC17	1,744.20	4,301.20	6,045.40	5,603.78	441.62	5,053.67	991.73
SC16	1,684.80	4,143.90	5,828.70	5,417.20	411.50	5,145.78	682.92
SC15	1,613.80	3,989.30	5,603.10	4,992.29	610.81	4,729.52	873.58
SC14	1,651.40	3,542.40	5,193.80	4,997.79	196.01	5,458.80	-265.00
SC13	1,600.50	3,183.60	4,784.10	4,144.04	640.06	4,436.74	347.36
SC12	1,543.30	2,933.70	4,477.00	4,129.65	347.35	4,853.10	-376.10
SC11	1,481.40	2,777.80	4,259.20	3,814.58	444.62	4,414.92	-155.72
SC10	1,248.40	2,424.50	3,672.90	3,684.21	-11.31	4,311.31	-638.41
SC9	1,195.90	2,726.60	3,922.50	4,385.17	-462.67	4,626.98	-704.48
SC8	1,127.50	2,574.00	3,701.50	3,922.26	-220.76	2,942.60	758.90
SC7	1,068.70	2,522.00	3,590.70	3,596.41	-5.71	3,774.27	-183.57
SC6	998.70	2,222.90	3,221.60	3,212.55	9.05	3,356.16	-134.56
SC5	937.00	2,168.00	3,105.00	2,903.42	201.58	3,039.18	65.82
SC4	876.50	1,918.60	2,795.10	2,671.65	123.45	3,068.87	-273.77
SC3	814.20	1,762.40	2,576.60	2,288.46	288.14	2,559.79	16.81
SC2	764.60	1,664.40	2,429.00	2,303.41	125.59	2,477.46	-48.46
SC1	1,091.70	2,622.70	3,714.40	3,833.66	-119.26	4,239.02	-524.62
C0	1,976.80			3,013.46			0.00
MC1	1,086.70	2,622.50	3,709.20	3,821.22	-112.02	2,794.60	914.60
MC2	759.60	1,664.30	2,423.90	2,276.90	147.00	2,487.69	-63.79
MC3	809.10	1,812.00	2,621.10	2,326.56	294.54	2,533.60	87.50
MC4	871.40	1,918.30	2,789.70	2,637.77	151.93	2,734.82	54.88
MC5	931.80	2,217.50	3,149.30	2,934.72	214.58	2,931.39	217.91
MC6	993.50	2,222.50	3,216.00	3,157.05	58.95	3,164.87	51.13
MC7	1,058.50	2,421.90	3,480.40	3,318.38	162.02	3,283.97	196.43
MC8	1,117.30	2,573.50	3,690.80	3,668.23	22.57	3,763.90	-73.10
MC9	1,185.50	2,775.80	3,961.30	4,105.53	-144.23	4,154.88	-193.58
MC10	1,244.30	2,628.20	3,872.50	4,121.85	-249.35	4,349.23	-476.73
MC11	1,299.70	2,777.90	4,077.60	4,191.87	-114.27	4,491.00	-413.40
MC12	1,363.00	2,784.10	4,147.10	4,479.41	-332.31	4,829.19	-682.09
MC13	1,418.50	2,934.00	4,352.50	4,400.16	-47.66	4,806.39	-453.89
MC14	1,474.40	3,042.20	4,516.60	4,782.78	-266.18	4,668.80	-152.20
MC15	1,432.00	3,241.90	4,673.90	4,696.46	-22.56	3,959.22	714.68
MC16	1,481.40	3,543.70	5,025.10	5,244.69	-219.59	4,275.60	749.50
MC17	1,527.00	3,847.70	5,374.70	5,641.84	-267.14	5,066.42	308.28



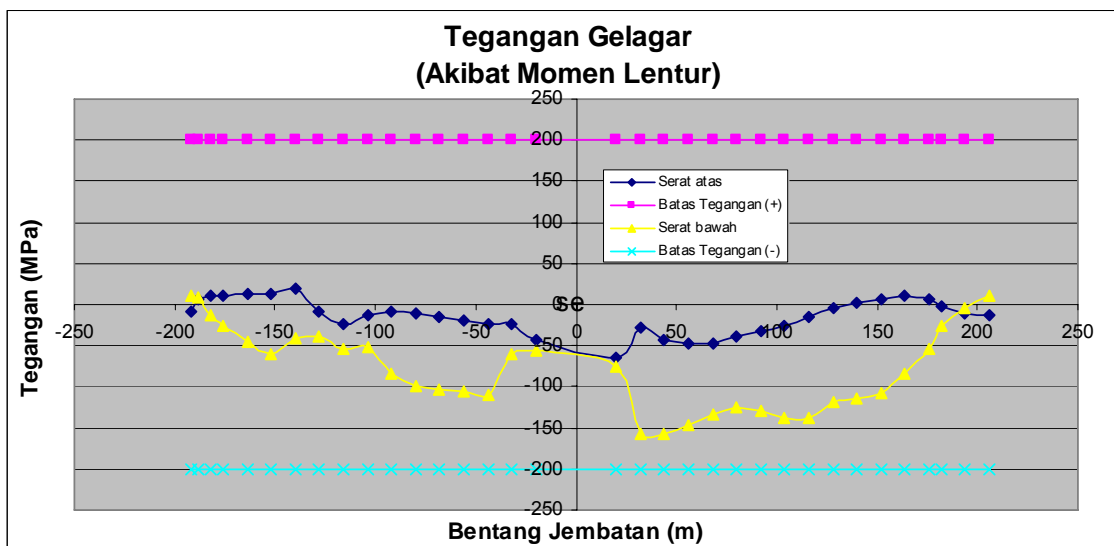
Gambar 4.19 Gaya Kabel Akhir Konstruksi



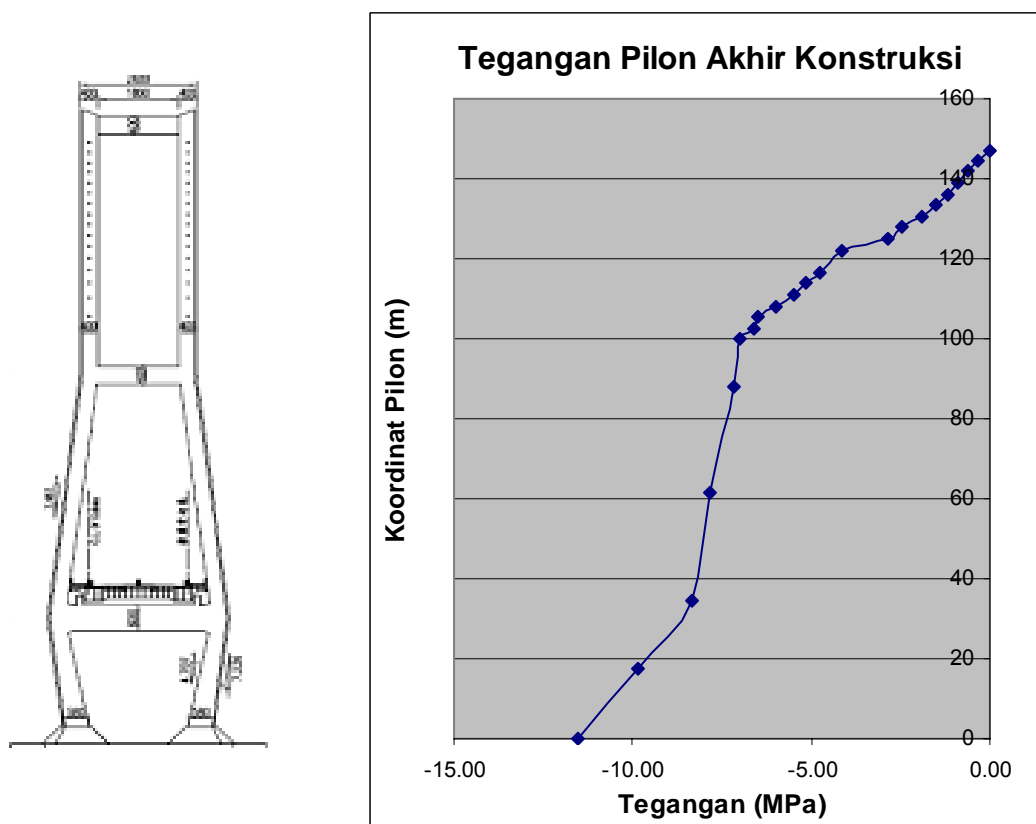
Gambar 4.20 Lendutan Gelagar Akhir Konstruksi

Kemudian di analisa apakah tegangan dari gelagar, kabel, dan pilon jembatan masih memenuhi persyaratan dari batas tegangannya. Evaluasi batas tegangan struktur utama jembatan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

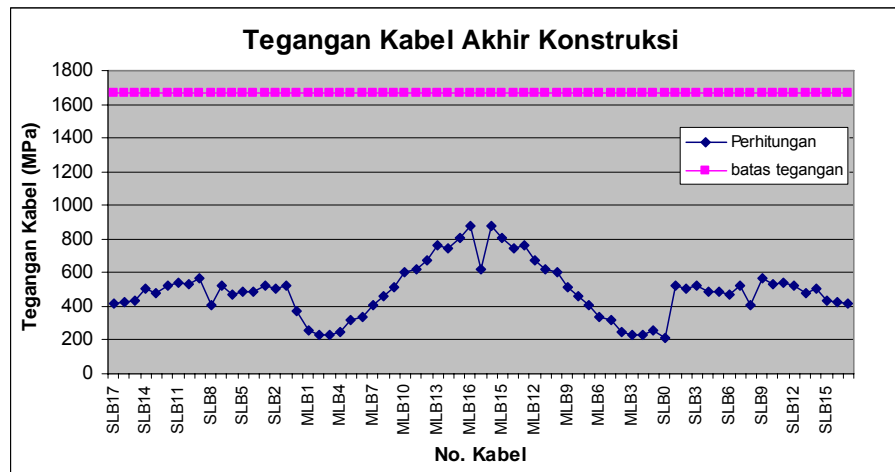




Gambar 4.21 Tegangan Gelagar Akhir Konstruksi



Gambar 4.22 Tegangan Pilon Akhir Konstruksi



Gambar 4.23 Tegangan Kabel Akhir Konstruksi

#### 4.5.2 Backward Disassemblage Analysis

Adapun langkah penganalisaan ataupun pekerjaan konstruksi terdiri dari 37 langkah. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan program Midas/Civil untuk analisa konstruksi jembatan bertahap diperoleh hasil berupa gaya tarik kabel, lendutan gelagar. Secara umum pemodelan geometri untuk analisa ini adalah sebagai berikut :

1. Menginput standar perencanaan yang berlaku
2. Menghilangkan beban-beban sekunder seperti perkerasan jalan, trotoar dan pembatas jembatan.
3. Mengaplikasikan traveler dan beban-beban primer beserta pendukungnya/perletakkannya.
4. Lepaskan segmen pusat untuk menganalisa semi struktur secara terpisah.
5. Pindahkan alat *traveler* secara urutan mundur.
6. Hilangkan beban dari beton dari segmen-segmen yang dihubungkan.
7. Lepaskan kabel pendukungnya
8. Hilangkan hubungan elemen-elemen perbagian

##### A. Gaya Tarik Kabel

Nilai gaya tarik kabel analisa konstruksi jembatan bertahap di setiap tahapan konstruksi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Tabel 4.16 Gaya Kabel SC (Backward)

Tahapan Konstruksi	Gaya Kabel (kN)																
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
CS2	2350.7	2601.3	2687.8	3222.3	3191.1	3524.0	3963.0	3089.7	5192.9	4526.9	4635.7	5095.8	4658.6	5731.7	4221.2	4587.0	4717.8
CS3	2328.3	2576.6	2662.2	3191.6	3160.8	3490.4	3925.2	3060.3	5143.4	4483.8	4591.5	5047.2	4614.2	5677.1	4181.0	4543.3	4672.8
CS4	2290.8	2545.7	2634.5	3161.9	3133.6	3460.7	3889.1	3027.3	5080.4	4418.2	4512.1	4941.6	4501.3	5528.6	4045.1	4389.5	4515.3
CS5	2369.5	2604.1	2683.3	3211.2	3176.5	3506.9	3947.4	3084.0	5193.9	4542.8	4669.7	5126.4	4739.3	5845.1	4342.7	4728.9	4833.6
CS6	2291.1	2545.8	2634.6	3161.9	3133.5	3460.7	3889.1	3027.4	5080.7	4418.5	4512.6	4942.4	4502.1	5529.6	4044.9	4388.9	4514.8
CS7	2362.3	2566.5	2632.1	3140.5	3100.2	3422.1	3860.6	3030.8	5127.5	4517.2	4680.6	5353.4	4849.8	6010.6	4543.0	4965.0	1682.0
CS8	2382.0	2587.8	2654.0	3166.6	3126.0	3450.6	3892.7	3056.0	5170.1	4554.8	4719.6	5302.4	4890.2	5509.6	4164.4	4551.2	1514.5
CS9	2344.7	2572.1	2648.3	3167.9	3132.5	3458.9	3896.5	3049.1	5142.3	4507.7	4644.5	5180.1	4743.5	5326.0	3974.6	4331.0	1396.3
CS10	2333.8	2561.5	2637.7	3155.8	3120.7	3446.3	3883.1	3039.6	5127.6	4496.7	4635.1	5140.6	4740.0	5323.5	3976.6	4333.9	0.0
CS11	2347.1	2608.3	2698.9	3239.5	3210.0	3546.2	3988.1	3108.4	5222.4	4549.8	4655.4	5080.5	4668.7	5219.3	3831.4	4159.6	0.0
CS12	2367.6	2572.5	2637.2	3146.5	3105.2	3430.4	3877.1	3054.8	5180.7	4583.3	4768.9	5409.9	4994.7	5636.7	4292.5	1635.1	0.0
CS13	2289.3	2526.9	2606.9	3123.4	3090.9	3416.0	3850.8	3016.7	5088.6	4463.3	4600.0	5147.2	4701.6	5275.8	3933.0	1397.1	0.0
CS14	2266.8	2523.9	2612.1	3136.5	3108.1	3436.6	3871.3	3027.4	5096.6	4456.6	4576.8	5123.5	4634.4	5187.4	3834.6	0.0	0.0
CS15	2264.8	2560.1	2664.9	3212.1	3190.7	3529.1	3966.3	3085.3	5168.9	4483.9	4563.7	4885.3	4511.1	5020.6	3630.7	0.0	0.0
CS16	2374.6	2615.5	2694.4	3226.6	3191.9	3532.5	3994.0	3149.6	5329.7	4705.3	4879.7	5416.7	5061.7	5684.0	1439.4	0.0	0.0
CS17	2360.8	2600.3	2678.7	3207.8	3173.3	3511.9	3970.8	3131.2	5298.6	4677.9	4851.3	5365.2	4574.7	5650.9	1431.0	0.0	0.0
CS18	2232.3	2510.9	2607.6	3139.9	3117.8	3454.0	3894.5	3053.3	5130.5	4482.4	4593.3	5112.2	4191.2	5127.2	1161.7	0.0	0.0
CS19	2276.3	2528.1	2612.3	3135.6	3107.3	3443.4	3894.1	3073.3	5189.5	4572.7	4728.5	5273.6	4416.6	5427.6	0.0	0.0	0.0
CS20	2177.3	2573.8	2721.6	3315.4	3315.6	3674.9	4113.0	3168.9	5247.5	4469.9	4451.6	4563.1	3749.3	4501.8	0.0	0.0	0.0
CS21	2052.3	2429.2	2569.7	3131.6	3133.0	3474.1	3889.5	3000.0	4965.5	4230.1	4211.5	4523.6	3539.4	4240.0	0.0	0.0	0.0
CS22	2318.5	2582.9	2692.3	3249.1	3249.0	3596.4	4008.1	3092.7	5049.4	4243.4	4150.3	4224.0	3268.6	3812.2	0.0	0.0	0.0
CS23	2356.7	2617.6	2711.8	3258.3	3233.5	3573.5	4013.6	3124.5	5228.9	4534.2	4613.2	4934.4	4138.8	2249.8	0.0	0.0	0.0
CS24	2324.6	2585.2	2689.0	3241.9	3237.1	3587.4	4014.6	3122.4	5135.4	4369.0	4333.6	4488.1	3559.1	1547.8	0.0	0.0	0.0
CS25	2330.7	2582.3	2686.8	3240.4	3241.2	3593.6	4014.4	3118.3	5095.8	4302.3	4224.3	4413.8	3344.5	0.0	0.0	0.0	0.0
CS26	2347.6	2603.9	2718.1	3283.8	3293.8	3647.3	4048.9	3109.7	5016.4	4147.9	3970.6	3931.9	2877.3	0.0	0.0	0.0	0.0
CS27	2336.7	2584.3	2681.8	3229.7	3223.6	3577.8	4016.1	3146.7	5191.1	4448.0	4443.0	4697.0	1596.7	0.0	0.0	0.0	0.0
CS28	2357.9	2607.7	2706.1	3258.9	3252.8	3610.2	4052.5	3175.1	5238.0	4080.3	4075.6	4651.8	1611.1	0.0	0.0	0.0	0.0
CS29	2377.6	2631.6	2735.6	3300.7	3306.2	3679.8	4131.4	3251.8	5323.4	4122.4	4077.6	4628.5	1486.7	0.0	0.0	0.0	0.0
CS30	2370.8	2623.5	2731.0	3297.9	3308.1	3680.3	4120.4	3228.1	5252.4	4030.2	3942.2	4380.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS31	2308.1	2557.4	2671.2	3228.9	3242.6	3591.7	3982.8	3055.8	4909.7	3671.0	3487.6	3784.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS32	2334.1	2577.4	2674.5	3226.6	3233.5	3610.9	4075.7	3248.8	5339.1	4178.6	4174.0	2372.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS33	2404.7	2661.6	2778.1	3360.7	3381.4	3761.7	4193.0	3263.9	5249.5	3961.3	3791.4	1616.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS34	2346.1	2596.5	2714.3	3285.0	3307.6	3673.0	4076.6	3144.8	5026.2	3746.2	3533.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS35	2396.6	2655.7	2784.8	3369.0	3386.1	3727.8	4081.5	3041.1	4805.4	3460.5	3143.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS36	2398.5	2649.0	2762.0	3343.4	3370.9	3767.6	4223.4	3338.6	5376.0	4095.7	1981.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS37	2357.8	2604.1	2715.2	3286.8	3313.8	3703.7	4151.9	2983.7	4804.5	4026.3	1947.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS38	2366.4	2620.6	2748.7	3331.0	3360.1	3719.4	4093.0	2819.3	4441.4	3540.1	1345.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS39	2382.8	2638.6	2771.1	3357.8	3385.5	3734.9	4086.9	2775.5	4347.8	3411.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS40	2425.8	2688.2	2828.3	3418.1	3425.2	3727.0	4008.1	2584.0	4022.1	3023.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS41	2392.2	2643.6	2771.2	3365.4	3411.6	3809.3	4230.1	2994.8	4711.8	1777.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS42	2405.4	2664.5	2806.5	3402.3	3431.2	3766.4	4080.5	2704.8	4177.8	1198.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS43	2409.8	2669.3	2814.6	3407.3	3425.4	3731.5	4002.4	2574.7	3956.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS44	2441.5	2696.7	2839.5	3415.4	3390.5	3616.9	3793.9	2252.7	3477.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS45	2446.2	2717.7	2871.1	3511.1	3600.0	4046.8	4480.0	3189.1	2143.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS46	2310.6	2567.0	2711.9	3316.4	3400.4	3474.9	3846.9	3012.3	2024.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS47	2463.0	2728.5	2884.9	3502.6	3540.7	3521.4	3777.1	2694.3	1436.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS48	2601.1	2796.2	2917.7	3490.0	3454.1	3344.0	3506.6	2286.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS49	2466.2	2715.7	2856.2	3426.5	3385.7	3260.1	3396.4	2164.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS50	2372.5	2627.2	2775.8	3377.4	3424.9	3425.5	3694.7	1750.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS51	2435.0	2680.7	2820.2	3383.3	3338.0	3198.3	3302.6	1109.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS52	2506.6	2750.6	2886.7	3444.4	3362.7	3171.5	3223.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS53	2520.8	2745.3	2847.9	3339.5	3148.6	2840.0	2790.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS54	2434.5	2694.0	2868.3	3495.4	3552.5	3511.8	1618.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS55	2481.4	2746.0	2923.6	2944.5	3291.9	3579.6	1649.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS56	2554.5	2798.8	2941.7	2894.8	3094.5	3168.1	1060.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS57	2556.9	2789.0	2915.6	2845.1	2991.3	2994.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS58	2475.5	2672.5	2740.0	2611.4	2615.9	2477.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS59	2530.4	2787.9	2974.9	2973.2	3273.0	1605.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS60	2618.1	2842.9	2961.3	2863.1	2952.2	1015.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS61	2552.3	2755.3	2843.3	2716.5	2732.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS62	2547.9	2712.8	2713.8	2510.6	2354.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS63	2665.3	2912.0	3090.9	3035.6	1566.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS64	2620.1	2602.4	2762.3	2984.1	1540.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS65	2584.2	2514.3	2560.9	2637.6	936.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS66	2581.0	2492.2	2500.8	2532.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS67	2451.6	2327.1	2227.7	2162.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS68	2709.8	2652.5	2764.7	1394.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS69	2553.8	2431.8	2372.7	858.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS70	2500.2	2358.8	2248.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS71	2335.4	2167.6	1948.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS72	2657.4	2530.8	1284.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS73	2407.7	2522.3	1280.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS74	2249.2	2281.7	818.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS75	2120.0	2127.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS76	1878.8	1869.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS77	2319.0	1085.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS78	2037.0	725.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS79	1953.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS80	1702.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS81	1456.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS82	681.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS83	594.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabel 4.17 Gaya Kabel MC (Backward)

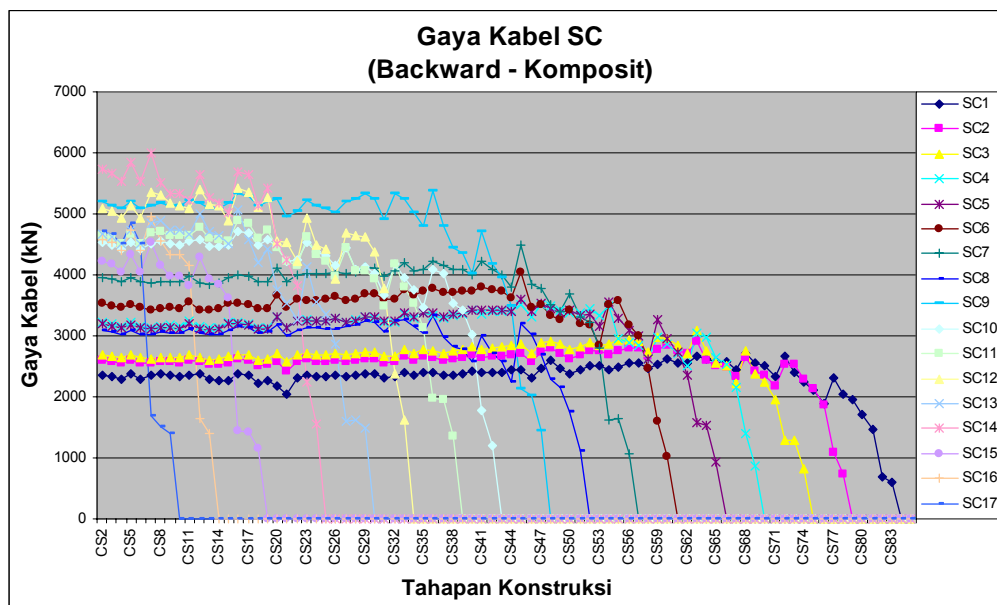
Tahapan Konstruksi	Gaya Kabel (kN)																
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10	MC11	MC12	MC13	MC14	MC15	MC16	MC17
CS2	2934.3	2612.1	2660.3	2871.6	3078.0	3323.1	3448.2	3952.1	4362.6	4566.7	4715.5	5070.6	5046.7	5858.1	4157.2	4489.4	4319.1
CS3	2906.4	2587.2	2634.9	2844.2	3048.6	3291.5	3415.3	3914.5	4321.1	4523.2	4670.6	5022.4	4998.6	5802.3	4117.6	4446.6	4277.9
CS4	2898.1	2572.8	2618.4	2825.0	3027.2	3269.2	3390.1	3881.4	4276.6	4465.2	4596.6	4920.7	4875.4	5649.3	3964.6	4260.1	4096.5
CS5	2894.8	2588.9	2640.6	2851.4	3054.7	3290.0	3408.6	3900.9	4303.2	4511.0	4671.9	5051.4	5071.1	5940.4	4318.7	4783.7	4728.1
CS6	2897.8	2572.6	2618.2	2824.7	3026.9	3268.8	3389.7	3881.0	4276.2	4465.2	4597.0	4921.8	4877.3	5652.0	3966.8	4260.1	4092.4
CS7	2793.9	2512.7	2565.5	2769.6	2963.7	3178.7	3288.6	3762.0	4158.7	4386.6	4584.7	5029.1	5142.0	6110.2	4645.6	5327.7	1728.7
CS8	2817.2	2533.6	2586.8	2792.7	2988.3	3205.1	3316.0	3793.3	4193.3	4423.1	4622.9	5071.0	5184.8	5600.9	4258.4	4883.6	1584.6
CS9	2859.7	2554.8	2603.5	2809.7	3009.1	3239.1	3357.8	3847.8	4254.2	4473.2	4649.5	5052.5	5096.9	5436.5	3992.3	4430.1	1236.6
CS10	2857.8	2549.5	2597.0	2802.0	3001.0	3231.7	3351.1	3841.1	4247.5	4465.2	4639.0	5036.9	5074.1	5404.1	3953.4	4369.4	0.0
CS11	2988.6	2645.4	2689.3	2899.4	3106.0	3354.2	3478.5	3983.2	4389.6	4583.9	4719.0	5052.1	5004.5	5269.4	3688.8	3944.6	0.0

CS12	2819.1	2525.7	2572.7	2773.3	2966.1	3180.1	3296.2	3783.2	4203.5	4459.9	4691.3	5188.7	5339.4	5766.5	4432.9	1978.4	0.0
CS13	2865.1	2541.2	2582.6	2782.9	2979.7	3211.6	3333.6	3826.3	4236.9	4456.2	4629.1	5021.7	5044.8	5349.9	3872.5	1359.2	0.0
CS14	2921.1	2574.8	2612.4	2813.2	3012.5	3253.9	3378.2	3875.5	4281.7	4482.5	4626.5	4969.4	4932.3	5185.6	3634.7	0.0	0.0
CS15	3056.5	2671.6	2705.8	2911.2	3117.1	3375.4	3499.6	4001.9	4392.3	4551.1	4635.4	4880.5	4736.3	4918.5	3241.4	0.0	0.0
CS16	2970.5	2629.2	2667.0	2870.0	3070.9	3306.2	3437.1	3957.2	4404.9	4664.3	4883.4	5355.2	5434.3	5781.2	1518.5	0.0	0.0
CS17	2953.2	2613.9	2651.5	2853.3	3053.1	3287.0	3417.1	3934.2	4379.2	4637.1	4855.0	4840.0	4911.5	5747.6	1509.7	0.0	0.0
CS18	2977.9	2605.3	2637.1	2836.5	3037.5	3287.8	3416.0	3920.4	4327.7	4516.4	4638.5	4492.8	4409.1	5050.8	963.1	0.0	0.0
CS19	2928.1	2576.5	2609.5	2806.6	3004.2	3242.2	3373.1	3884.5	4318.3	4555.6	4743.3	4688.2	4704.4	5455.7	0.0	0.0	0.0
CS20	3225.6	2870.1	2892.6	3103.2	3318.5	3612.2	3723.6	4209.2	4520.4	4533.8	4424.2	3956.4	3540.8	3883.1	0.0	0.0	0.0
CS21	3178.6	2713.1	2733.6	2932.1	3135.2	3412.5	3517.6	3976.2	4270.2	4282.9	4179.4	3737.5	3345.0	3668.4	0.0	0.0	0.0
CS22	2994.3	2642.3	2703.6	2933.0	3157.1	3445.4	3558.4	4025.2	4322.6	4334.1	4223.0	3775.7	3374.8	3699.7	0.0	0.0	0.0
CS23	3037.5	2671.9	2716.1	2932.6	3149.2	3421.1	3556.0	4075.2	4478.3	4635.7	4706.0	4477.7	4292.1	2060.0	0.0	0.0	0.0
CS24	2999.1	2642.5	2698.0	2923.8	3147.7	3436.2	3562.9	4056.6	4400.1	4465.7	4415.7	4035.3	3684.8	1412.8	0.0	0.0	0.0
CS25	2976.2	2628.2	2690.1	2920.8	3147.8	3441.6	3563.5	4044.2	4360.7	4387.7	4288.8	3849.3	3438.4	0.0	0.0	0.0	0.0
CS26	3002.3	2653.8	2724.4	2962.6	3192.7	3490.7	3593.9	4039.5	4289.2	4231.8	4033.9	3479.0	2969.8	0.0	0.0	0.0	0.0
CS27	2977.6	2623.5	2675.5	2899.3	3124.7	3416.3	3559.1	4081.2	4471.6	4588.4	4593.0	4268.8	1479.2	0.0	0.0	0.0	0.0
CS28	3004.5	2647.2	2699.7	2925.6	3153.0	3447.2	3591.3	4118.1	4512.0	4209.0	4213.2	4307.5	1492.6	0.0	0.0	0.0	0.0
CS29	3029.9	2672.3	2730.7	2965.6	3202.6	3514.5	3664.7	4200.7	4589.6	4254.0	4216.5	4241.2	1372.1	0.0	0.0	0.0	0.0
CS30	3024.2	2668.0	2731.2	2969.1	3206.5	3519.6	3657.8	4169.1	4514.6	4137.6	4043.7	3980.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS31	2951.2	2605.6	2675.1	2909.5	3136.3	3431.5	3532.9	3969.8	4210.9	3768.9	3580.3	3372.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS32	2965.4	2609.6	2660.6	2889.6	3127.6	3446.9	3624.1	4202.5	4661.0	4384.4	4412.5	1949.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS33	3065.3	2702.7	2770.3	3015.6	3260.3	3587.0	3726.9	4241.2	4574.3	4162.2	4024.1	1338.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS34	2995.9	2642.1	2712.9	2954.2	3190.7	3504.5	3621.0	4085.7	4351.9	3902.3	3705.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS35	3071.0	2709.4	2788.0	3031.9	3260.0	3552.0	3618.3	4000.0	4141.7	3602.7	3301.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS36	3044.4	2679.7	2742.9	2990.6	3247.0	3600.1	3781.0	4364.0	4788.0	4423.1	1898.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS37	2992.9	2634.3	2696.4	2940.0	3192.0	3539.1	3717.0	3900.1	4279.0	4348.1	1866.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS38	3019.5	2661.9	2738.0	2985.3	3226.1	3548.1	3657.1	3733.4	3941.2	3836.6	1247.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS39	3048.2	2687.1	2767.5	3015.5	3250.9	3560.3	3640.8	3674.1	3816.3	3648.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS40	3117.8	2746.8	2830.1	3071.1	3284.9	3546.1	3556.2	3493.1	3499.3	3226.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS41	3036.2	2674.6	2751.7	3013.0	3279.9	3655.5	3824.6	3978.1	4289.5	1844.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS42	3075.4	2710.4	2796.9	3051.1	3289.9	3605.4	3673.5	3682.8	3777.8	1213.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS43	3089.2	2720.7	2808.3	3056.8	3281.7	3568.4	3596.1	3550.1	3565.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS44	3121.5	2747.5	2830.8	3058.4	3244.5	3448.7	3387.8	3230.7	3102.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS45	3154.3	2777.1	2873.1	3159.3	3447.0	3861.2	4015.9	4126.9	1848.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

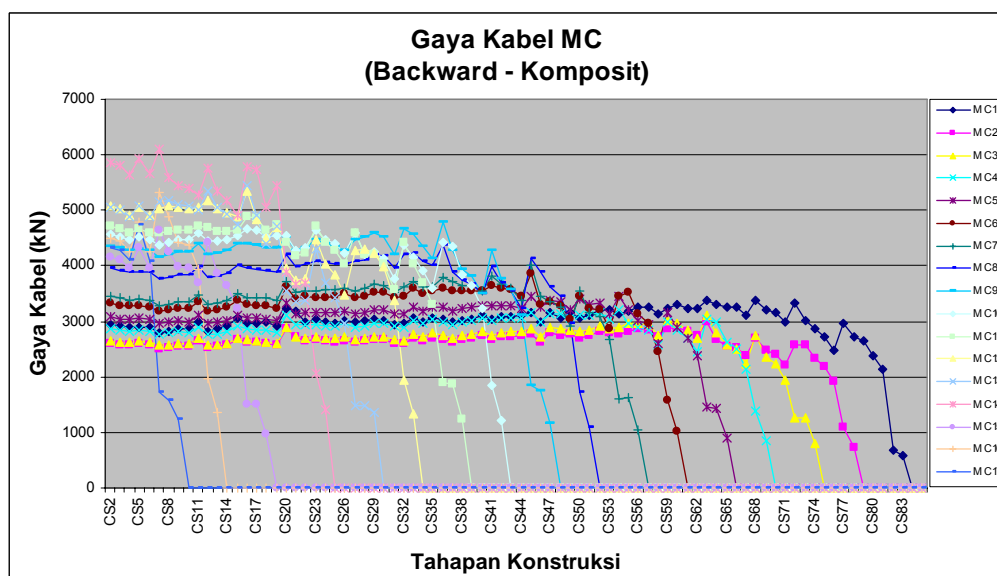
CS46	2979.4	2623.1	2713.8	2984.1	3255.9	3315.5	3448.4	3898.0	1746.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS47	3162.7	2787.3	2885.0	3146.0	3379.9	3345.7	3359.4	3622.5	1173.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS48	3074.3	2753.5	2868.7	3133.5	3356.6	3289.5	3262.9	3456.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS49	3162.5	2777.7	2854.4	3062.0	3213.1	3039.4	2914.6	2956.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS50	3055.7	2699.5	2815.6	3108.7	3391.4	3453.6	3543.8	1716.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS51	3118.5	2750.2	2853.0	3101.1	3305.0	3223.5	3160.9	1093.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS52	3199.8	2818.3	2915.9	3151.1	3330.6	3196.9	3084.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS53	3207.6	2807.0	2866.2	3038.0	3136.1	2869.2	2661.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS54	3123.9	2767.4	2901.7	3196.5	3455.7	3461.7	1595.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS55	3184.2	2820.8	2957.7	2962.0	3202.2	3528.5	1626.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS56	3257.8	2867.0	2962.3	2891.7	3023.6	3124.0	1051.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS57	3251.1	2852.7	2930.7	2835.3	2930.9	2957.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS58	3141.3	2725.9	2739.8	2581.0	2590.5	2450.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS59	3222.9	2859.1	3003.4	2981.9	3167.5	1585.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS60	3317.0	2903.8	2969.6	2842.5	2891.2	1009.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS61	3226.6	2810.0	2845.3	2689.0	2694.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS62	3222.7	2756.7	2695.9	2455.3	2370.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS63	3369.2	2985.0	3123.2	3049.4	1460.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS64	3312.1	2667.6	2791.2	2997.7	1435.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS65	3258.5	2564.1	2564.6	2613.3	909.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS66	3251.6	2538.0	2499.0	2501.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS67	3114.3	2372.4	2229.0	2136.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS68	3385.4	2696.0	2755.6	1375.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS69	3214.0	2474.4	2369.2	850.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS70	3155.8	2401.6	2247.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS71	2996.3	2211.8	1950.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS72	3333.1	2587.7	1266.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS73	3019.9	2579.0	1262.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS74	2876.3	2342.9	809.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS75	2731.4	2189.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS76	2485.7	1930.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS77	2976.0	1098.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS78	2712.3	738.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS79	2654.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CS80	2385.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS81	2131.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS82	681.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS83	594.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0





Gambar 4.24 Gaya Kabel SC (Backward)



Gambar 4.25 Gaya Kabel MC (Backward)

## B. Lendutan Gelagar

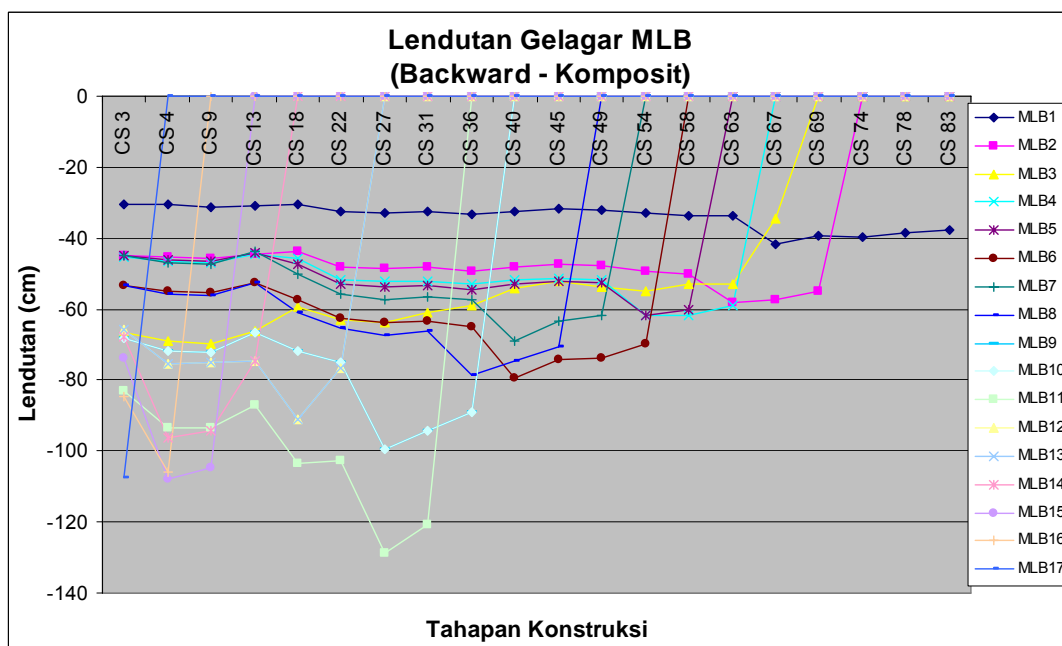
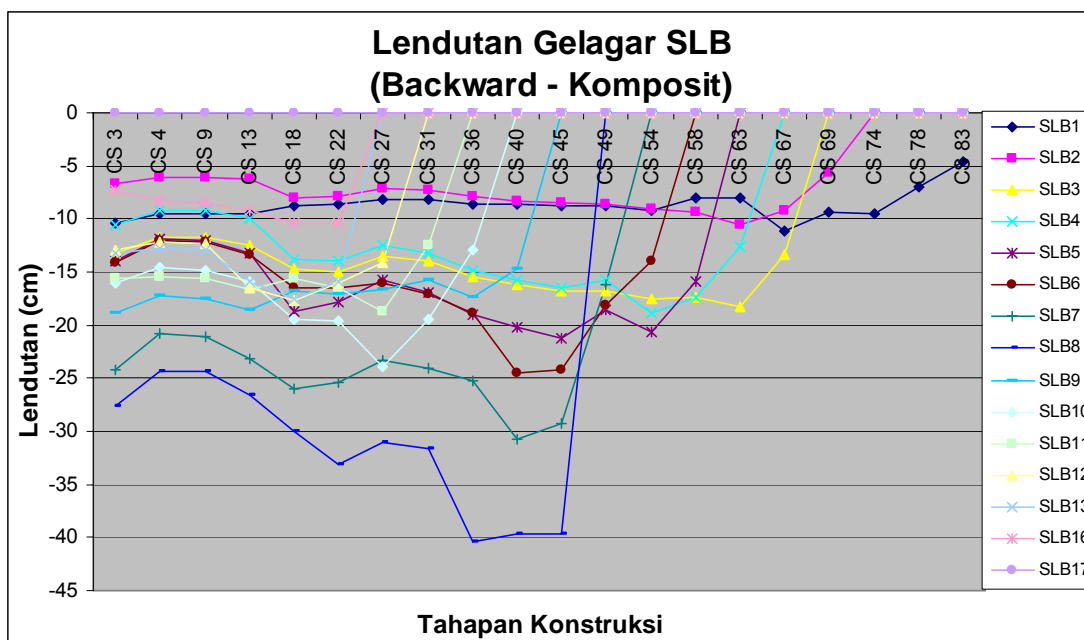
Lendutan gelagar jembatan bertahap untuk bentang samping dan tengah di tunjukkan pada gambar di bawah ini.

Tabel 4.18 Lendutan Gelagar SLB

Tahapan Konstruksi	Lendutan gelagar (cm)														
	SLB1	SLB2	SLB3	SLB4	SLB5	SLB6	SLB7	SLB8	SLB9	SLB10	SLB11	SLB12	SLB13	SLB16	SLB17
CS 3	-10.34	-6.73	-13.25	-10.60	-13.91	-14.10	-24.17	-27.62	-18.81	-15.99	-15.56	-12.89	-13.21	-7.29	0.00
CS 4	-9.57	-6.06	-11.79	-9.22	-11.94	-12.04	-20.83	-24.32	-17.29	-14.57	-15.47	-12.17	-12.71	-8.25	0.00
CS 9	-9.44	-6.02	-11.79	-9.25	-12.00	-12.13	-21.04	-24.43	-17.54	-14.80	-15.63	-12.31	-12.95	-8.43	0.00
CS 13	-9.51	-6.25	-12.46	-10.00	-13.18	-13.43	-23.23	-26.63	-18.50	-15.82	-16.62	-16.43	-15.95	-9.19	0.00
CS 18	-8.75	-7.98	-14.74	-13.80	-18.70	-16.45	-25.98	-29.99	-16.80	-19.47	-15.54	-17.65	-17.55	-10.37	0.00
CS 22	-8.58	-7.86	-14.93	-14.00	-17.81	-16.41	-25.40	-33.13	-17.07	-19.65	-16.52	-16.05	-15.89	-10.46	0.00
CS 27	-8.13	-7.10	-13.49	-12.43	-15.77	-16.08	-23.31	-31.10	-16.58	-23.85	-18.70	-14.08	0.00	0.00	0.00
CS 31	-8.18	-7.29	-14.00	-13.15	-16.87	-17.09	-24.05	-31.59	-15.73	-19.47	-12.45	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 36	-8.60	-7.94	-15.41	-14.79	-19.03	-18.87	-25.18	-40.44	-17.30	-12.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 40	-8.64	-8.27	-16.17	-15.73	-20.14	-24.56	-30.75	-39.69	-14.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 45	-8.69	-8.50	-16.75	-16.50	-21.17	-24.28	-29.31	-39.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 49	-8.83	-8.68	-16.77	-15.78	-18.51	-18.10	-16.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 54	-9.15	-9.12	-17.49	-18.81	-20.61	-14.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 58	-8.05	-9.36	-17.38	-17.41	-15.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 63	-8.02	-10.56	-18.21	-12.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 67	-11.15	-9.16	-13.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 69	-9.36	-5.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 74	-9.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 78	-7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 83	-4.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 4.19 Lendutan Gelagar MLB

Tahapan Konstruksi	Lendutan Gelagar (cm)																
	MLB1	MLB2	MLB3	MLB4	MLB5	MLB6	MLB7	MLB8	MLB9	MLB10	MLB11	MLB12	MLB13	MLB14	MLB15	MLB16	MLB17
CS 3	-30.35	-44.76	-66.51	-45.31	-44.86	-53.35	-44.82	-53.43	-68.01	-68.01	-83.05	-65.98	-65.98	-67.89	-73.84	-84.76	-107.37
CS 4	-30.63	-45.15	-69.06	-46.40	-46.27	-55.00	-46.85	-55.80	-71.73	-71.73	-93.40	-75.41	-75.41	-96.36	-108.11	-105.76	0.00
CS 9	-31.39	-45.85	-69.63	-46.90	-46.67	-55.46	-47.14	-56.20	-72.30	-72.30	-93.63	-75.05	-75.05	-94.34	-104.53	0.00	0.00
CS 13	-30.77	-44.47	-66.28	-44.68	-44.09	-52.41	-43.88	-52.37	-66.59	-66.59	-86.99	-74.66	-74.66	-74.78	0.00	0.00	0.00
CS 18	-30.46	-43.75	-59.39	-45.80	-47.47	-57.50	-50.33	-61.12	-71.71	-71.71	-103.65	-91.14	-91.14	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 22	-32.57	-48.33	-63.18	-51.69	-52.77	-62.76	-55.65	-65.20	-74.92	-74.92	-102.78	-76.71	-76.71	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 27	-32.70	-48.59	-63.89	-52.24	-53.56	-63.87	-57.22	-67.34	-99.38	-99.38	-128.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 31	-32.53	-48.29	-60.96	-51.96	-53.30	-63.55	-56.72	-66.32	-94.39	-94.39	-120.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 36	-33.26	-49.37	-58.99	-53.14	-54.47	-64.79	-57.30	-78.70	-89.23	-89.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 40	-32.30	-47.95	-54.16	-51.59	-52.76	-79.29	-69.13	-74.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 45	-31.74	-47.51	-52.03	-51.15	-52.17	-74.12	-63.51	-70.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 49	-31.94	-47.91	-53.92	-51.62	-52.35	-73.89	-61.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 54	-32.92	-49.36	-55.07	-61.77	-61.59	-69.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 58	-33.57	-50.13	-53.08	-61.94	-60.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 63	-33.66	-58.35	-52.97	-58.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 67	-41.67	-57.50	-34.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 69	-39.16	-54.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 74	-39.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 78	-38.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 83	-37.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

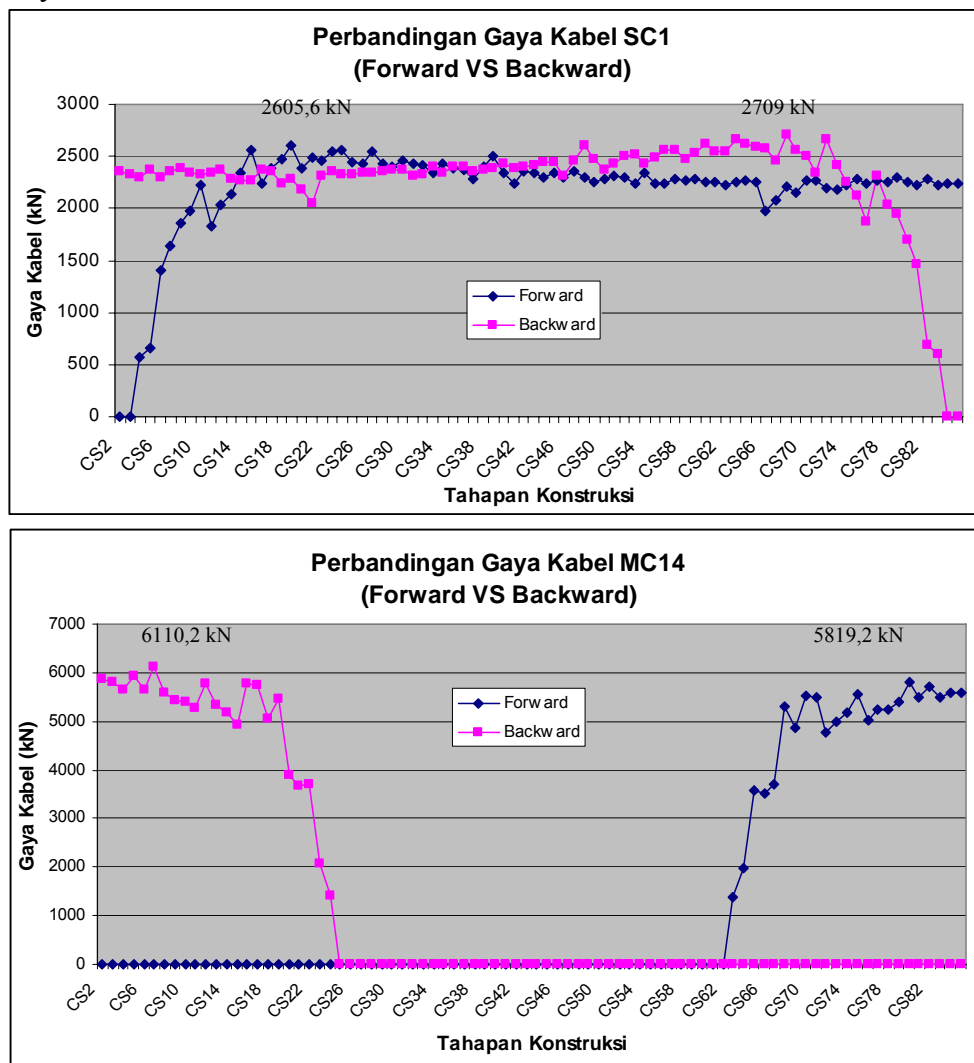


Gambar 4.26 Lendutan Gelagar (Backward)

### 4.5.3 Perbandingan *Forward Assemblage Analysis* dan *Backward Disassemblage Analysis*

Berikut ini akan diperlihatkan perbandingan hasil perhitungan gaya kabel dan lendutan gelagar berdasarkan dua metode analisis yaitu *Forward Assemblage Analysis* dan *Backward Disassemblage Analysis*.

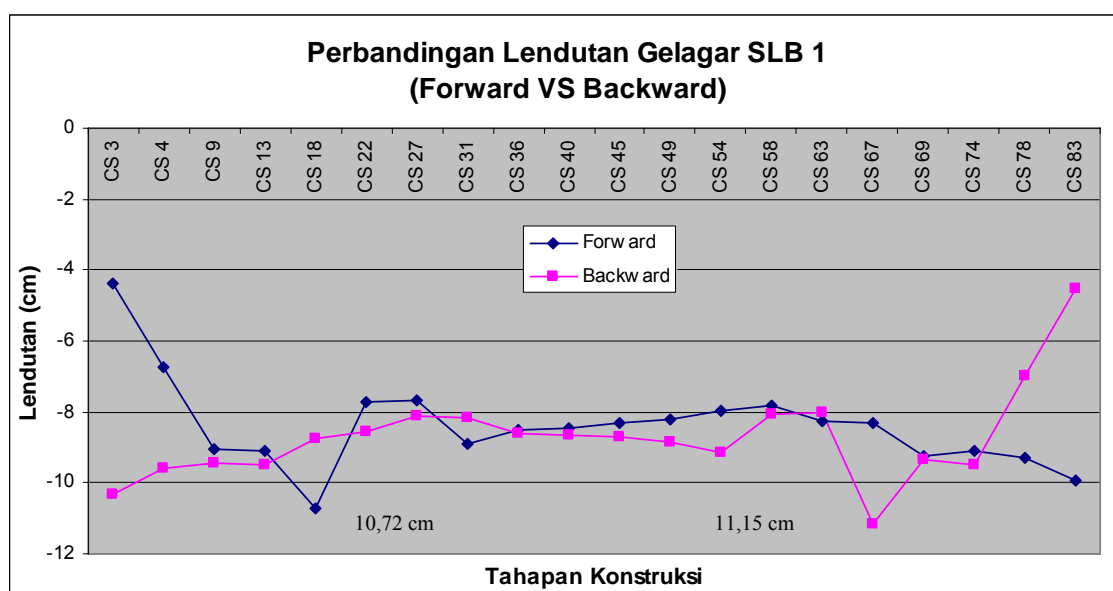
#### A. Gaya Kabel

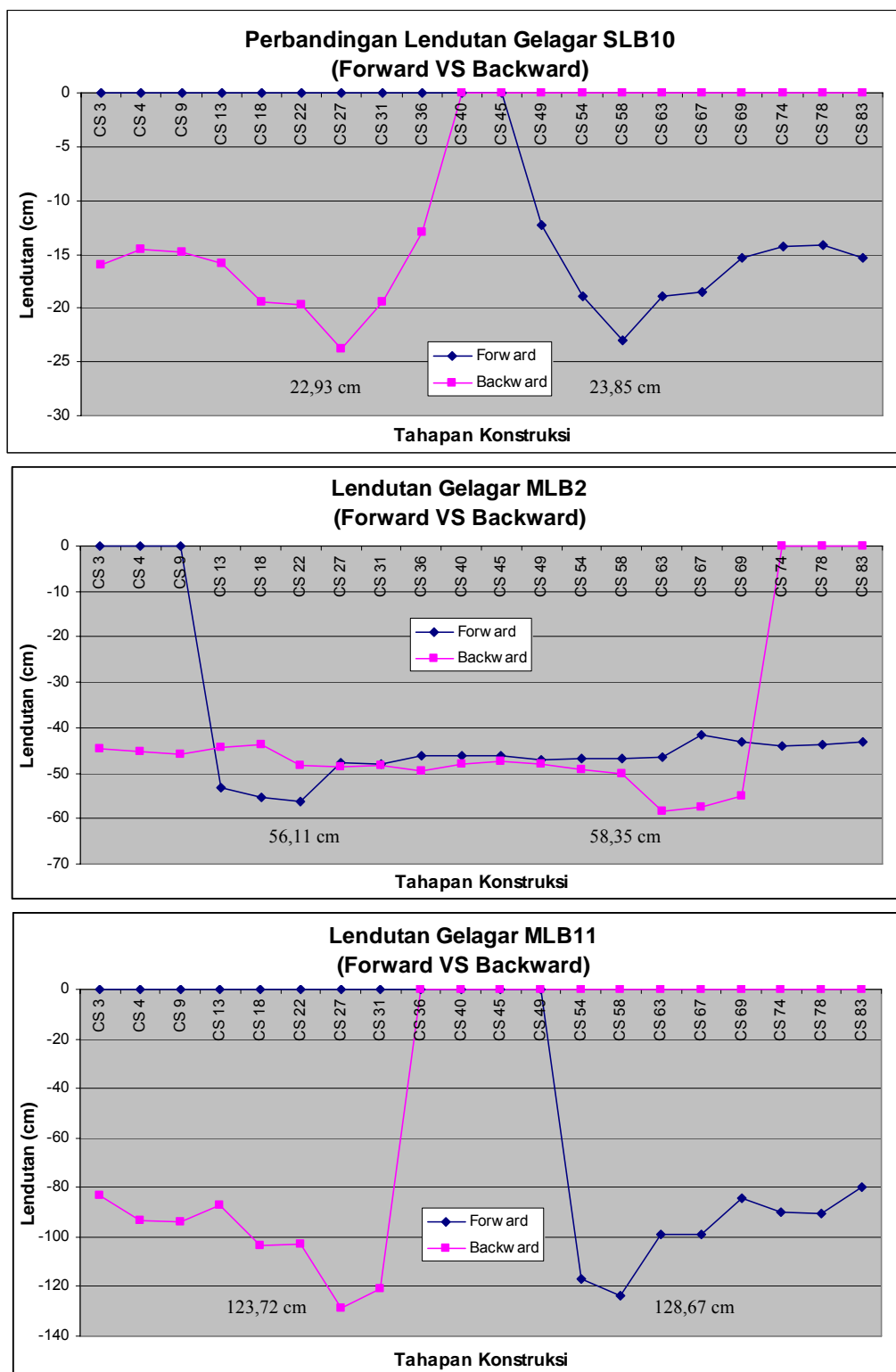


Gambar 4.27 Gaya Kabel (*Forward Assemblage Analysis* dan *Backward Disassemblage Analysis*)

Dari perbandingan gambar di atas diperoleh bahwa nilai gaya kabel SC1 terbesar untuk analisa forward adalah 2605,6 kN dan backward senilai 2709 kN pada lokasi peninjauan yang sama. Hasil ini memberikan perbedaan dalam skala persentase sebesar 4 %. Sedangkan untuk kabel bentang tengah, peninjauan dilakukan pada kabel MC14 dengan nilai gaya kabel untuk forward adalah 6110,2 kN dan backward senilai 5766,5 kN. Terjadi perbedaan hasil sebesar 1 %.

## B. Lendutan Gelagar





Gambar 4.28 Lendutan Gelagar (*Forward Assemblage Analysis* dan *Backward Disassemblage Analysis*)

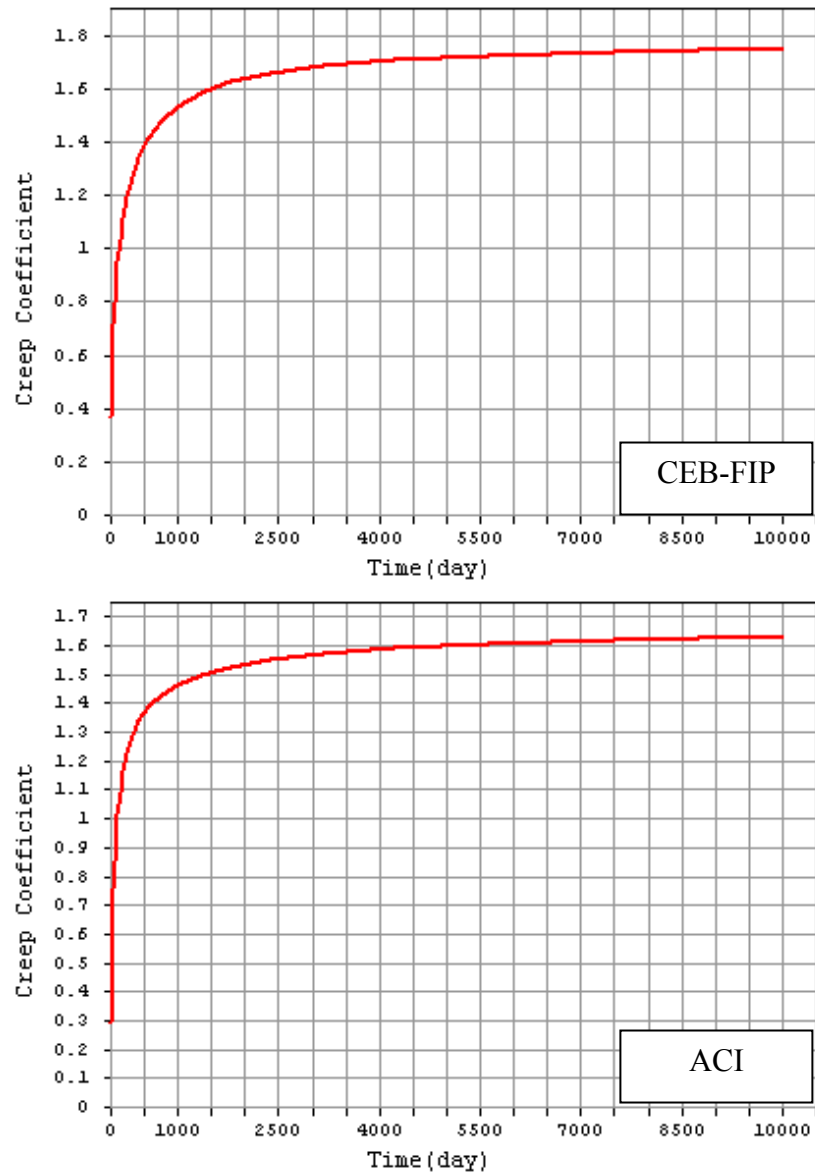
Dari perbandingan gambar di atas diperoleh bahwa nilai lendutan gelagar yang ditinjau adalah gelagar bentang tepi dan tengah jembatan. Untuk bentang tepi segmen gelagar yang dipilih yaitu gelagar 1 (SLB1) dan gelagar 10 (SLB10). Perbandingan nilai lendutan gelagar SLB1 untuk forward sebesar 10,72 cm dan bacward senilai 11,15 cm. Terjadi perbedaan nilai lendutan sebesar 3 %. Perbandingan nilai lendutan gelagar SLB10 untuk forward sebesar 22,93 cm dan bacward senilai 23,85 cm. Terjadi perbedaan nilai lendutan sebesar 3 %. Untuk bentang tengah gelagar yang ditinjau adalah gelagar 2 (MLB2) dan gelagar 11 (MLB11). Perbandingan nilai lendutan gelagar MLB2 untuk forward sebesar 56,11 cm dan bacward senilai 58,35 cm. Terjadi perbedaan nilai lendutan sebesar 3 %. Perbandingan nilai lendutan gelagar MLB11 untuk forward sebesar 123,72 cm dan bacward senilai 128,67 cm. Terjadi perbedaan nilai lendutan sebesar 3 %

#### **4.5.4 Perbandingan Nilai Lendutan Gelagar Dengan Menggunakan ACI dan CEB-FIP**

Pada sub bab ini akan dilakukan penganalisaan struktur gelagar komposit menggunakan 2 peraturan yang berlaku yaitu CEB-FIP dan ACI. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh lendutan gelagar yang terjadi jika analisa dilakukan menggunakan dua peraturan tersebut. Adapun nilai koefisien rangkak dan *compressive strength* nya adalah seperti gambar di bawah ini.

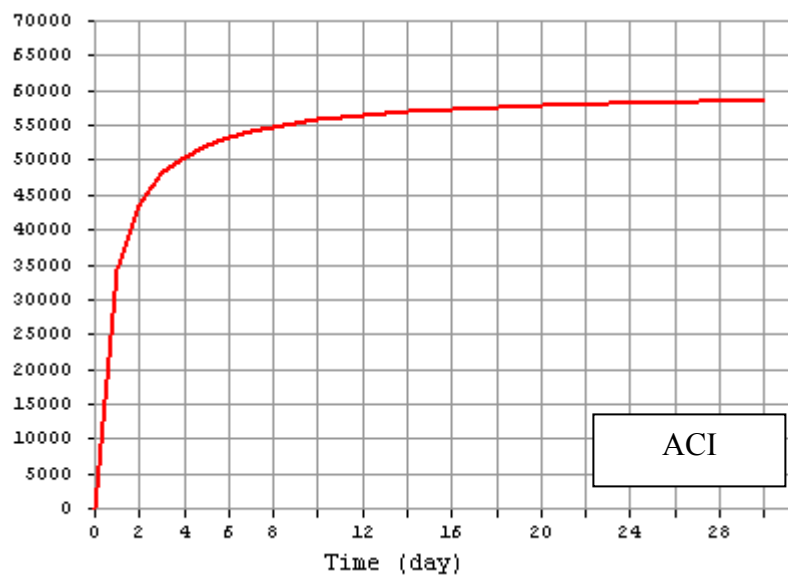
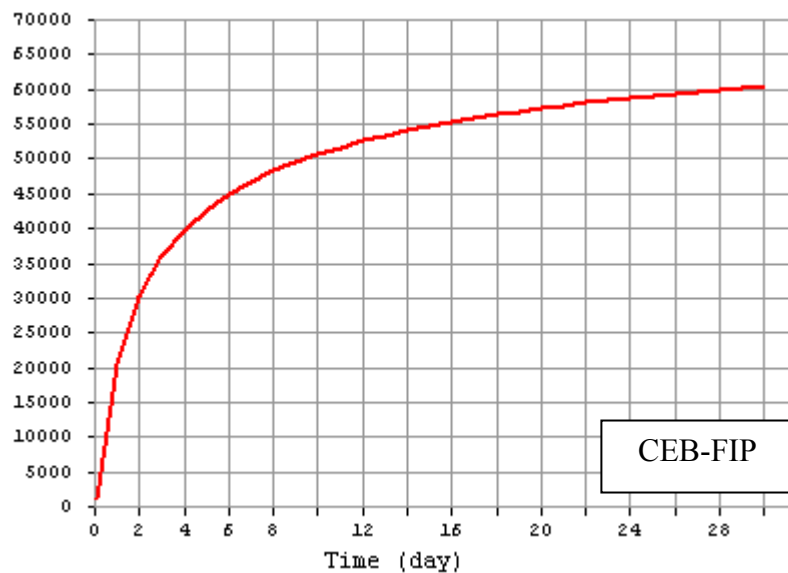


## A. Koefisien Rangkak



Gambar 4.29 Koefisien Rangkak

## B. Compressive Strength



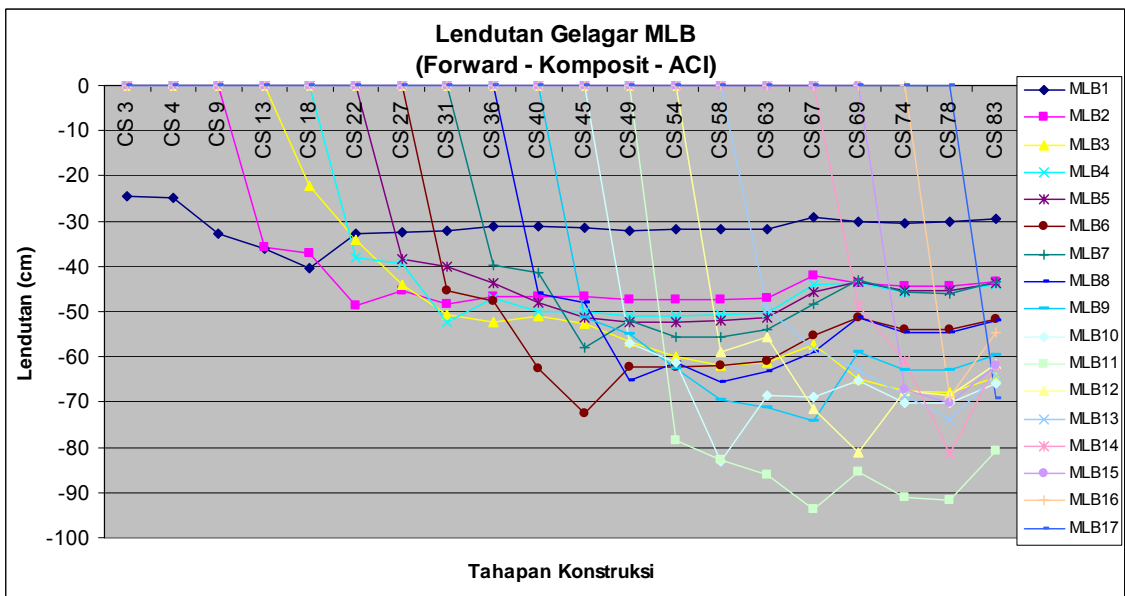
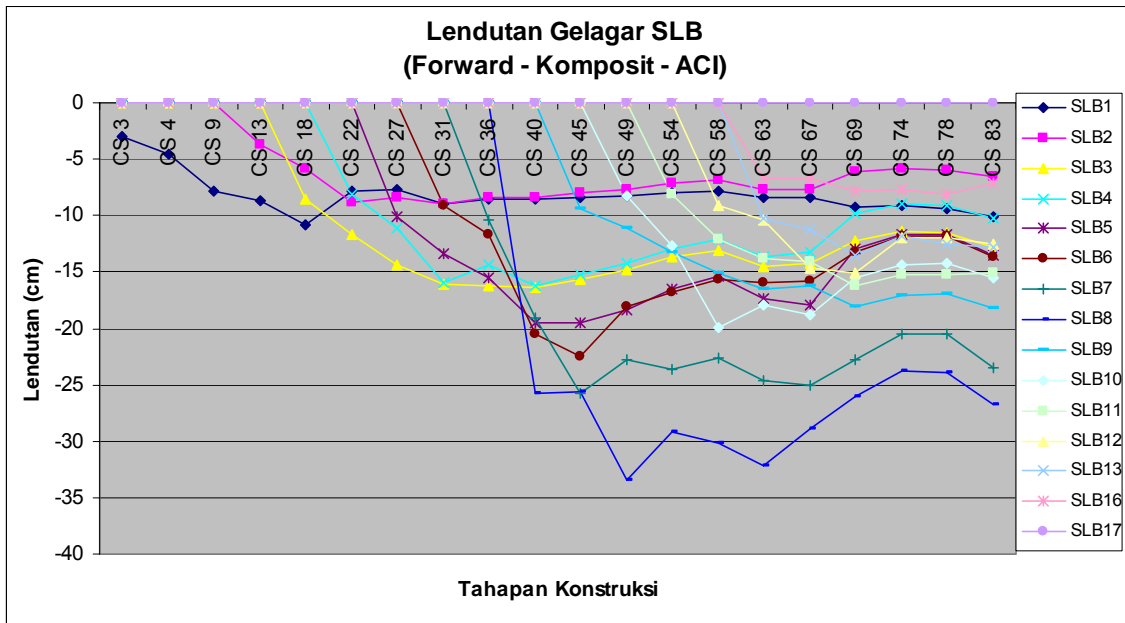
Gambar 4.30 *Compressive Strength*

Tabel 4.20 Lendutan Gelagar SLB (Forward – Komposit – ACI)

Tahapan Konstruksi	Lendutan gelagar (cm)														
	SLB1	SLB2	SLB3	SLB4	SLB5	SLB6	SLB7	SLB8	SLB9	SLB10	SLB11	SLB12	SLB13	SLB16	SLB17
CS 3	-2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 4	-4.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 9	-7.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 13	-8.64	-3.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 18	-10.83	-5.90	-8.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 22	-7.79	-8.83	-11.73	-8.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 27	-7.75	-8.47	-14.40	-11.11	-10.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 31	-8.98	-8.95	-16.13	-15.89	-13.41	-9.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 36	-8.57	-8.43	-16.29	-14.42	-15.48	-11.66	-10.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 40	-8.52	-8.34	-16.42	-16.18	-19.53	-20.51	-19.07	-25.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 45	-8.39	-8.04	-15.70	-15.28	-19.56	-22.44	-25.72	-25.57	-9.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 49	-8.28	-7.64	-14.82	-14.22	-18.30	-18.15	-22.78	-33.50	-11.04	-8.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 54	-8.02	-7.14	-13.73	-12.90	-16.54	-16.76	-23.58	-29.14	-13.29	-12.66	-8.10	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 58	-7.90	-6.89	-13.10	-12.07	-15.31	-15.61	-22.64	-30.21	-15.15	-19.95	-12.05	-9.07	0.00	0.00	0.00
CS 63	-8.33	-7.63	-14.50	-13.60	-17.30	-15.94	-24.66	-32.17	-16.58	-17.95	-13.82	-10.34	-10.24	-6.74	0.00
CS 67	-8.41	-7.67	-14.18	-13.27	-17.99	-15.82	-24.99	-28.85	-16.16	-18.73	-14.06	-14.62	-11.20	-6.62	0.00
CS 69	-9.32	-6.13	-12.22	-9.80	-12.92	-13.17	-22.78	-26.11	-18.14	-15.52	-16.29	-15.15	-13.48	-7.76	0.00
CS 74	-9.17	-5.85	-11.45	-8.98	-11.65	-11.78	-20.43	-23.72	-17.04	-14.37	-15.18	-11.96	-11.83	-7.70	0.00
CS 78	-9.39	-5.95	-11.57	-9.04	-11.70	-11.81	-20.43	-23.85	-16.96	-14.29	-15.17	-11.93	-12.47	-8.09	0.00
CS 83	-10.05	-6.54	-12.87	-10.29	-13.51	-13.70	-23.48	-26.82	-18.27	-15.53	-15.11	-12.52	-12.83	-7.08	0.00

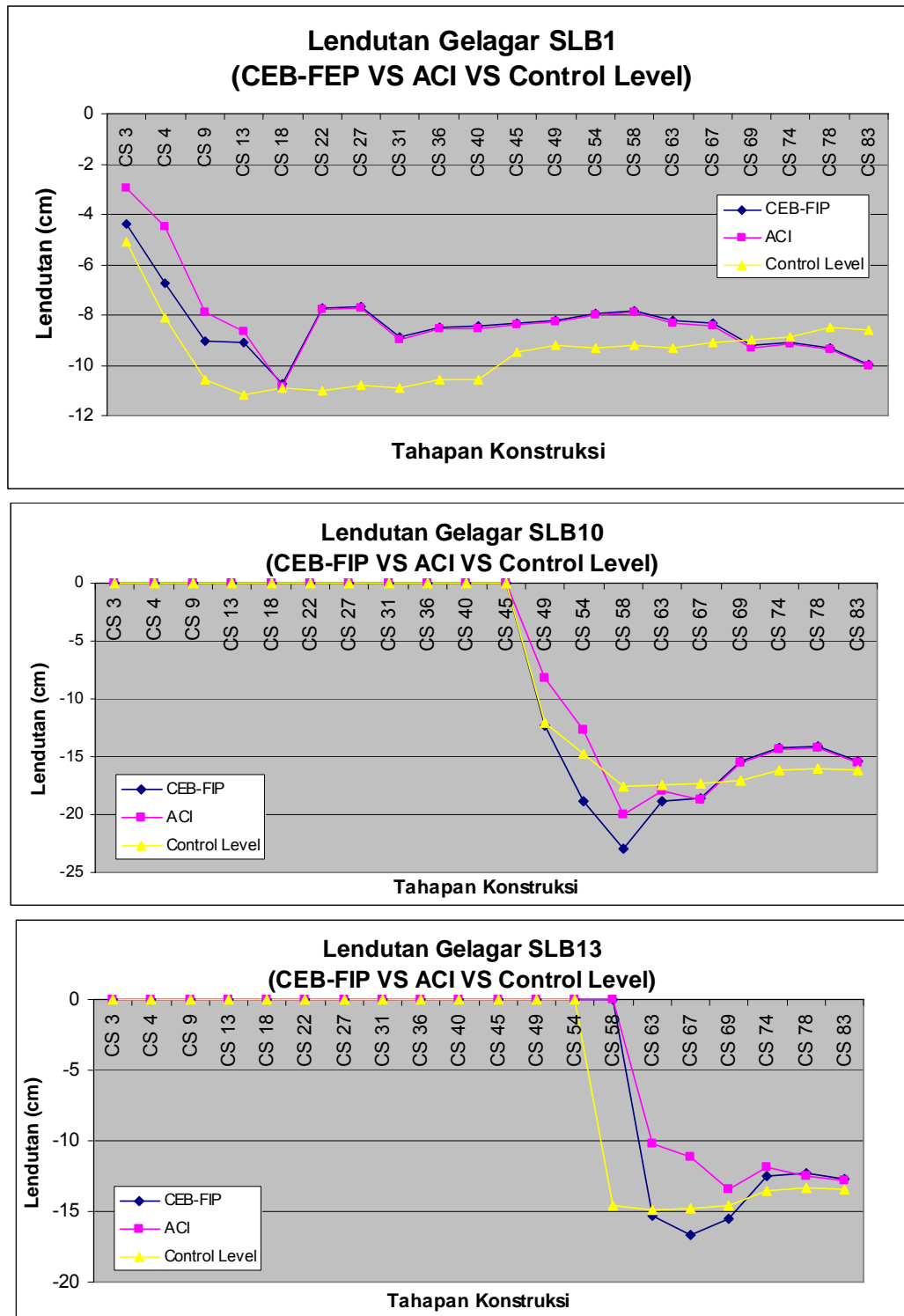
Tabel 4.21 Lendutan Gelagar MLB (Forward – Komposit – ACI)

Tahapan Konstruksi	Lendutan Kabel (cm)																
	MLB1	MLB2	MLB3	MLB4	MLB5	MLB6	MLB7	MLB8	MLB9	MLB10	MLB11	MLB12	MLB13	MLB14	MLB15	MLB16	MLB17
CS 3	-24.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 4	-24.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 9	-32.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 13	-36.12	-35.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 18	-40.47	-37.04	-22.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 22	-32.69	-48.82	-34.12	-37.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 27	-32.29	-45.36	-43.98	-39.52	-38.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 31	-32.28	-48.41	-50.79	-52.17	-40.07	-45.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 36	-31.02	-46.52	-52.37	-47.15	-43.80	-47.60	-39.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 40	-31.13	-46.59	-51.02	-50.16	-48.12	-62.61	-41.31	-45.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 45	-31.37	-46.56	-52.60	-50.10	-51.24	-72.43	-57.83	-48.17	-51.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 49	-31.99	-47.49	-56.74	-51.12	-52.40	-62.33	-51.85	-65.21	-54.99	-56.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 54	-31.90	-47.35	-59.78	-50.95	-52.27	-62.32	-55.62	-61.17	-62.53	-61.40	-78.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 58	-31.76	-47.19	-62.05	-50.73	-52.01	-62.03	-55.57	-65.40	-69.48	-83.14	-82.89	-58.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 63	-31.63	-46.93	-61.35	-50.20	-51.25	-60.95	-54.05	-63.32	-71.12	-68.44	-85.98	-55.55	-49.42	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 67	-29.30	-42.08	-57.12	-44.06	-45.66	-55.31	-48.42	-58.79	-74.18	-68.98	-93.78	-71.56	-58.16	0.00	0.00	0.00	0.00
CS 69	-30.17	-43.61	-65.00	-43.81	-43.23	-51.39	-43.03	-51.35	-58.92	-65.29	-85.31	-81.15	-63.07	-48.64	0.00	0.00	0.00
CS 74	-30.49	-44.53	-67.62	-45.55	-45.32	-53.86	-45.78	-54.58	-62.82	-70.22	-90.93	-67.68	-68.55	-60.78	-67.34	0.00	0.00
CS 78	-30.04	-44.27	-67.72	-45.50	-45.37	-53.93	-45.94	-54.71	-62.93	-70.34	-91.59	-68.61	-73.95	-81.39	-70.32	-68.80	0.00
CS 83	-29.48	-43.47	-64.60	-44.00	-43.56	-51.81	-43.53	-51.89	-59.52	-66.04	-80.65	-61.72	-64.08	-62.01	-61.77	-54.60	-69.17

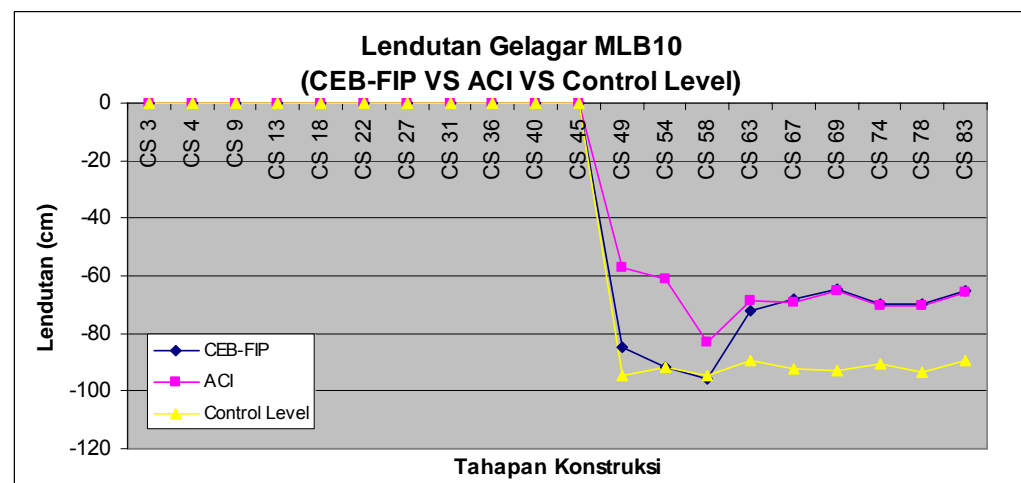
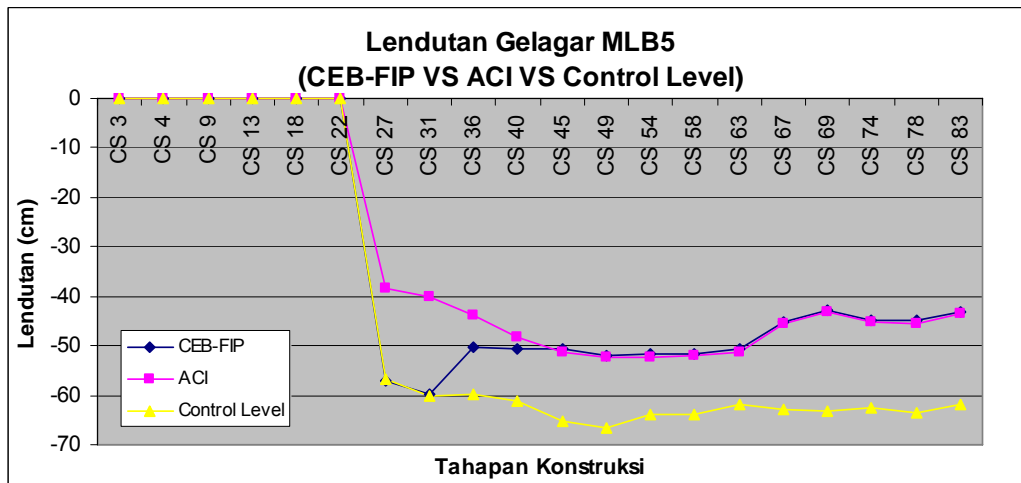
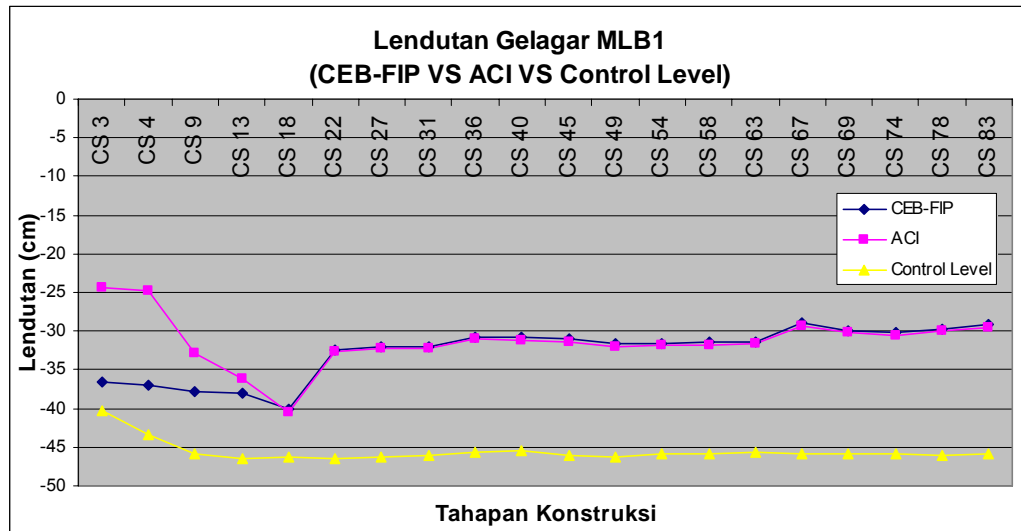


Gambar 4.31 Lendutan Gelagar (Code :ACI)

Perbandingan Nilai CEB-FIP VS ACI



Gambar 4.32 Perbandingan Lendutan Gelagar SLB (CEB-FIP VS ACI)



Gambar 4.33 Perbandingan Lendutan Gelagar MLB (CEB-FIP VS ACI)

Berdasarkan dari hasil gambar nilai lendutan gelagar untuk gelagar bentang tepi dan tengah menggunakan code CEB-FIP dan ACI diperoleh hasil bahwa nilai lendutan pada awal penempatan pelat (sudah terjadi struktur yang komposit) lebih kecil jika menggunakan code ACI. Hal ini disebabkan karena efek ACI pada awal terjadi struktur yang komposit memberikan nilai efek kekuatan material yang lebih besar dibandingkan dengan CEB-FIP (lihat gambar 4.31). Sedangkan pada akhir-akhir pelaksanaan konstruksi nilai lendutan gelagar menggunakan CEB-FIP memperoleh hasil yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan ACI.



# **BAB 5**

## **KESIMPULAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa antara jembatan konstruksi jembatan bertahap diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. Berdasarkan hasil asumsi pemodelan pelat diperoleh hasil bahwa terjadi pengurangan besaran gaya kabel rata-rata sebesar 22 % setelah 10 hari pengecoran pelat dilakukan (sudah terjadi efek struktur komposit) dari asumsi pelat dimodelkan sebagai beban luar menjadi pemodelan struktur komposit.
- b. Berdasarkan hasil asumsi pemodelan pelat mengenai perbandingan lendutan gelagar, terjadi pengurangan besaran lendutan gelagar sebesar 19 % setelah 10 hari pengecoran pelat dilakukan (sudah terjadi efek struktur komposit), dari asumsi pelat dimodelkan sebagai beban luar menjadi pemodelan struktur komposit.

Hasil pada butir a dan b merupakan gambaran bahwa efek struktur komposit dapat menambah nilai inersia penampang dan luas penampang efektif gelagar sehingga dapat mengurangi nilai lendutan dari gelagar jembatan, dimana sebelum terjadi efek komposit profil gelagar box adalah 2,3 m x 2,8 m (lebar x tinggi), dan setelah terjadi efek komposit, tinggi dari struktur gelagar menjadi 3,07 m (ditambah dengan tebal pelat 0,27 m).

- c. Pada tahap akhir konstruksi dilakukan suatu analisa perhitungan batas tegangan dan lendutan dari masing-masing elemen struktur. Untuk tegangan gelagar serat atas nilai tegangan terbesar yang terjadi sebesar 65,06 MPa dan tegangan serat bawah yang terjadi sebesar 157,60 Mpa dengan batas tegangan lentur sebesar 200,7 Mpa.

- d. Untuk tegangan pilon pada akhir konstruksi diperoleh hasil bahwa tegangan pilon terbesar terjadi pada pilon bagian paling bawah (dasar) sebesar 11,51 Mpa dengan batas tegangan 25,92 Mpa.
- e. Sedangkan untuk nilai lendutan gelagar pada akhir konstruksi (gambar 4.20) diperoleh hasil bahwa nilai lendutan terbesar pada segmen gelagar bentang tengah nomor 17 (MLB 17) sebesar 103,24 cm dengan batas lendutan adalah 108,5 cm.
- f. Dari point d,e, dan f merupakan hasil dari nilai tegangan dan lendutan pada akhir konstruksi untuk analisa *forward assemblage analysis* dengan pemodelan struktur komposit. Hasil ini memperlihatkan bahwa struktur jembatan telah memenuhi kriteria ASD (*Allowable Stress Design*) dan kriteria SLS (*Service Limit State*)
- g. Berdasarkan dari hasil gambar nilai lendutan gelagar untuk gelagar bentang tepi dan tengah menggunakan code CEB-FIP dan ACI diperoleh hasil bahwa nilai lendutan pada awal penempatan pelat (sudah terjadi struktur yang komposit) lebih kecil jika menggunakan code ACI. Hal ini disebabkan karena efek ACI pada awal terjadi struktur yang komposit memberikan nilai efek kekuatan material yang lebih besar dibandingkan dengan CEB-FIP (lihat gambar 4.31). Sedangkan pada akhir-akhir pelaksanaan konstruksi nilai lendutan gelagar menggunakan CEB-FIP memperoleh hasil yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan ACI.
- h. Hasil perbandingan analisa antara *forward assemblage analysis* dan *backward disassemblage analysis* menggambarkan bahwa untuk nilai lendutan gelagar, terjadi perbedaan hasil rata-rata sebesar 3 % sedangkan untuk nilai gaya kabel terjadi variasi perbedaan antara 1 – 4 %. Dimana nilai untuk analisa *backward disassemblage analysis* lebih tinggi dibanding dengan *forward assemblage analysis*.

## 5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat dilakukan untuk penelitian yang berikutnya adalah :

- a. Pemodelan untuk beban angin dan suhu perlu dipertimbangkan di tiap tahapan konstruksi untuk memperlihatkan apakah ada pengaruh beban angin pada proses pelaksanaan konstruksi
- b. Perlu adanya pemodelan yang terpisah antara pelat cor di tempat dengan pracetak, mengingat pada penelitian ini pelat di anggap sebagai pracetak untuk arah memanjang dan melintang.
- c. Perlu adanya pertimbangan adanya analisa pengurangan/penambahan gaya kabel di tiap-tiap tahapan konstruksi.
- d. Simulasi penempatan titik sambungan antara gelagar dan kabel, untuk dicari nilai yang paling menghasilkan gaya kabel dan lendutan terkecil pada pelaksanaan konstruksi.

## DAFTAR REFERENSI

- (1) Barker, R. M., Puckett, J. A. (1997): *Design of Highway Bridges: Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- (2) Bishara, A. G., Papakonstantinou, N. G. (1990). "Analysis of Cast-in-Place Concrete Segmental Cantilever Bridges." *Journal of Structural Engineering*, ASCE.
- (3) Bellevue, L., Towell, P. L. *Creep and Shrinkage Effects In Segmental Bridges*. Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc.
- (4) Casas, J. R. (1997). "Reliability-Based Partial Safety Factors in Cantilever Construction of Concrete Bridges." *Journal of Structural Engineering*, ASCE.
- (5) Chen, W. F., and Duan, L. *Bridge Engineering Handbook*. CRC Press
- (6) Dajian, H., Cheng, Su (2002). *Construction Control of The Yamen Cable Stayed Bridge*. Departement of Civil Engineering, South Cina University of Technology, Guangzhou.
- (7) Fletcher, M. S. (1984). "In-Situ Free Cantilever Concrete Bridges." *Highways and Transportation*
- (8) Goñi, J. J. (1995). "The Chesapeake & Delaware Canal Bridge." *Concrete International*
- (9) Han, D., Yan, Q. *Cable Forces Adjustment and Construction Control*. South China University of Technology.
- (10) Hegab, H. I., Tawfik, O. M., Nemir, M. T., Eldeen, H. E. N. *Time Dependent Analysis of Prestressed Concrete Cable Stayed Bridges*.
- (11) Hegab, H. I., Tawfik, O. M., Nemir, M. T., Eldeen, H. E. N. *Staged Construction Analysis of Segmental Prestressed Concrete Cable Stayed Bridges*.
- (12) *Indonesian Suramadu Bridge "Detailed Design of Main Bridge"* (2005). Consortium of China Contractors.
- (13) *Indonesian Suramadu Bridge "General Construction Methods of Main Bridge"* (2005). Consortium of China Contractors.

- (14) Jang, D., Mibelli, C., Pan, A., Chen, M (2005). *Construction Engineering of The Hongkong Shenzhen Cable Stayed Bridge*. T.Y Lin International.
- (15) Levintov, B. (1995). “*Construction Equipment for Concrete Box Girder Bridges.*” Concrete International
- (16) Liebenberg, A. C. (1992). *Concrete Bridges: Design and Construction*. Longman Scientific & Technical, Longman Group UK Limited, Burnt Mill, Harlow, Great Britain
- (17) MacGregor, J. G. (1997). “*Reinforced Concrete: Mechanics and Design.*” Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- (18) Mathivat, J. (1983). *The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc, New York, NY.
- (19) Marchetti, M., Boudon, R., Monneire, J., Bouve. P., Dupuis, D., Dadoun, F., Baechler, G., Olsfors, J (2004). *Adjustment of The Rion Antrion Cable Stayed Bridge : An Innovative Multidiciplinary Response to a Construction Challenge*. 1<sup>st</sup> FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, Nottingham United Kingdom.
- (20) Menn, C. (1990). *Prestressed Concrete Bridges*. (Original title: Stahlbetonbrücken.) Birkhäuser Verlag AG, Basel, Switzerland.
- (21) Muller, J. M., McCallister, L. F. (1988). “*Esthetics and Concrete Segmental Bridges in the United States.*” Concrete International
- (22) Podolny, W., Muller, J. M. (1982). *Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- (23) Sauvageot, G. *Segmental Concrete Bridge*. I. Muller International
- (24) Shiu, K.-N., Russell, H. G. (1987). “*Effects of time-dependent concrete properties on prestress losses.*” Canadian Journal of Civil Engineering
- (25) Suangga, M (2007). *Konsep Desain Jembatan Cable Stayed Suramadu*.
- (26) Tang, M. C. *Cable Stayed Bridge*. T.Y Lin International
- (27) Troitsky, M. S. (1994). *Planning and Design of Bridges*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.

- (28) Tukendorf, A. *Selection of Erection Technologies For Cable Stayed Bridges in the Aspect of Further Behaviour During Exploitation*. Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland.
- (29) Wang, P. H., Tang, T. Y., Zheng, H. N (2004). *Analysis of Cable Stayed Bridges During Construction by Cantilever Method*. Departement of Civil Engineering, Chung Yuan University, Chung Li, Taiwan.
- (30) (1999). Kao Ping Hsi Bridge. British Consulting Engineers, Taiwan
- (31) Schlaich, M (2001). *Erection of Cable Stayed Bridges Having Composite Decks With Precast Concrete Slabs*. Journal of Bridge Engineering, Vol. 6, No.5, September /October 2010
- (32) (2005) Design Criteria for Suramadu Bridge. Consortium of China Contractors.



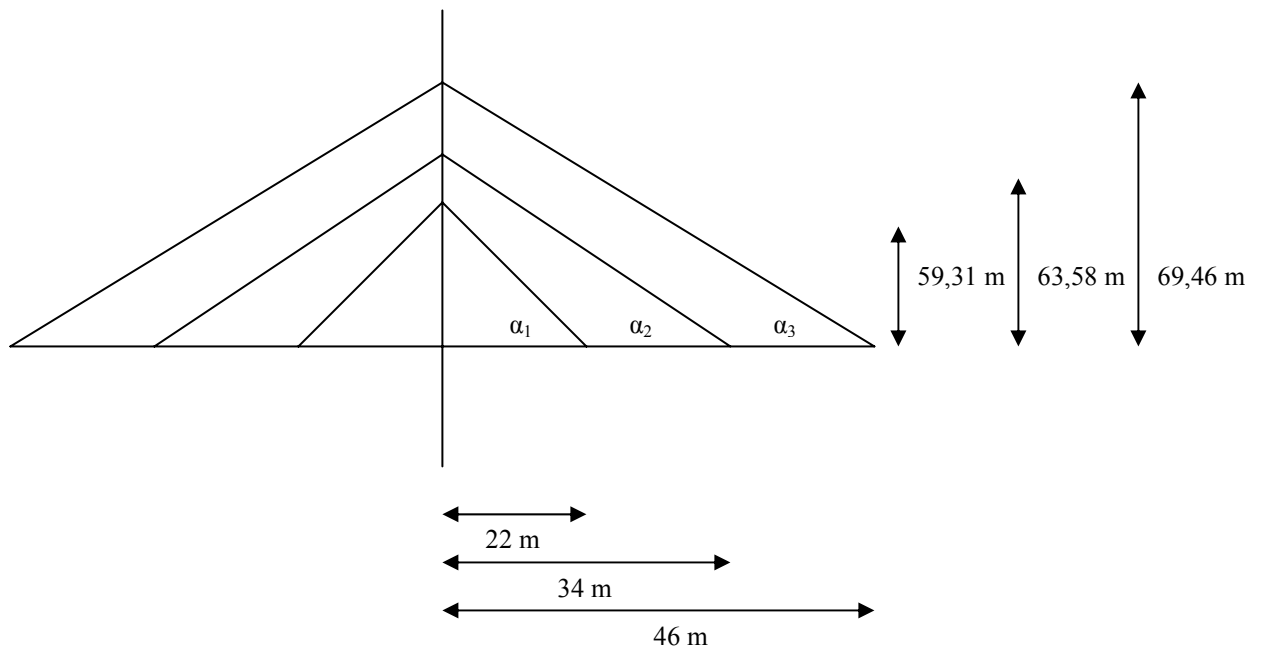
**Lampiran 1 Perhitungan Gaya Kabel (Manual)**

## Lampiran 1 Perhitungan Gaya Kabel Manual

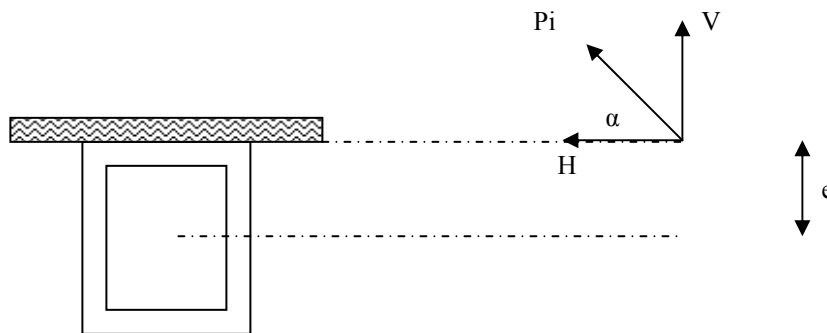
### Perhitungan Gaya Kabel (Manual)

Dari Referensi dengan Judul “*Erection of Cable Stayed Bridges Having Composite Decks With Precast Concrete Slabs*” oleh M. Schaich

### Geometri Jembatan



### Rumus Perhitungan Gaya Kabel



$$P_i = \frac{w.l^2}{6 \left( \sin \alpha \cdot \frac{1}{2} + \cos \alpha \cdot e \right)}$$



## Lampiran 1 Perhitungan Gaya Kabel Manual (lanjutan)

### Perhitungan Gaya Kabel Akibat Berat Sendiri

Gaya Kabel 1 ( $MC_1$ )

- Nilai beban merata ( $w$ )

$w = \text{total luas penampang} \times \text{berat jenis baja}$

$$= 1,895 \text{ m}^2 \times 78,5 \text{ kN/m}^3$$

$$= 148,757 \text{ kN /m}$$

- Gaya Kabel 1 ( $MC_1$ )

$$P_1 = \frac{(148,757) \cdot 22^2}{6 \left( \sin 69,64 \cdot \frac{22}{2} + \cos 69,64 \cdot (1,4) \right)} = 1111,10 \text{ kN}$$

- Gaya Kabel 2 ( $MC_2$ )

$$P_2 = \frac{(148,757) \cdot 34^2}{6 \left( \sin 61,86 \cdot \frac{34}{2} + \cos 61,86 \cdot (1,4) \right)} = 1813,34 \text{ kN}$$

Nilai gaya  $MC_2 = P_2 - P_1$

$$= 1813,34 \text{ kN} - 1111,10 \text{ kN} = 720,24 \text{ kN}$$

- Gaya Kabel 3 ( $MC_3$ )

$$P_3 = \frac{(148,757) \cdot 46^2}{6 \left( \sin 56,48 \cdot \frac{46}{2} + \cos 56,48 \cdot (1,4) \right)} = 2629,92 \text{ kN}$$

Nilai gaya  $MC_3 = P_3 - P_2$

$$= 2629,92 \text{ kN} - 1813,34 \text{ kN} = 798,57 \text{ kN}$$

## Lampiran 1 Perhitungan Gaya Kabel Manual (lanjutan)

### **Perhitungan Gaya Kabel Akibat Berat Sendiri + beban mati tambahan + beban pelat**

- Nilai beban merata (w)

$$W_{\text{pelat}} = 25 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,27 \text{ m} \times 22 \text{ m}) = 148,5 \text{ kN/m}$$

$$W_{\text{sendiri}} = 148,757 \text{ kN/m}$$

$$W_{\text{mati}} = 52,51 \text{ kN/m}$$

$$W_{\text{total}} = w_{\text{pelat}} + w_{\text{sendiri}} + w_{\text{mati}} = 349,767 \text{ kN/m}$$

- Gaya Kabel 1 (MC<sub>1</sub>)

$$P_3 = \frac{(349,767) \cdot 22^2}{6 \left( \sin 69,64 \cdot \frac{22}{2} + \cos 69,64 \cdot (1,4) \right)} = 2612,49 \text{ kN}$$

- Gaya Kabel 2 (MC<sub>2</sub>)

$$P_2 = \frac{(349,767) \cdot 34^2}{6 \left( \sin 61,86 \cdot \frac{34}{2} + \cos 61,86 \cdot (1,4) \right)} = 4305,97 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai gaya MC}_2 &= P_2 - P_1 \\ &= 4305,97 \text{ kN} - 2612,49 \text{ kN} = 1693,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

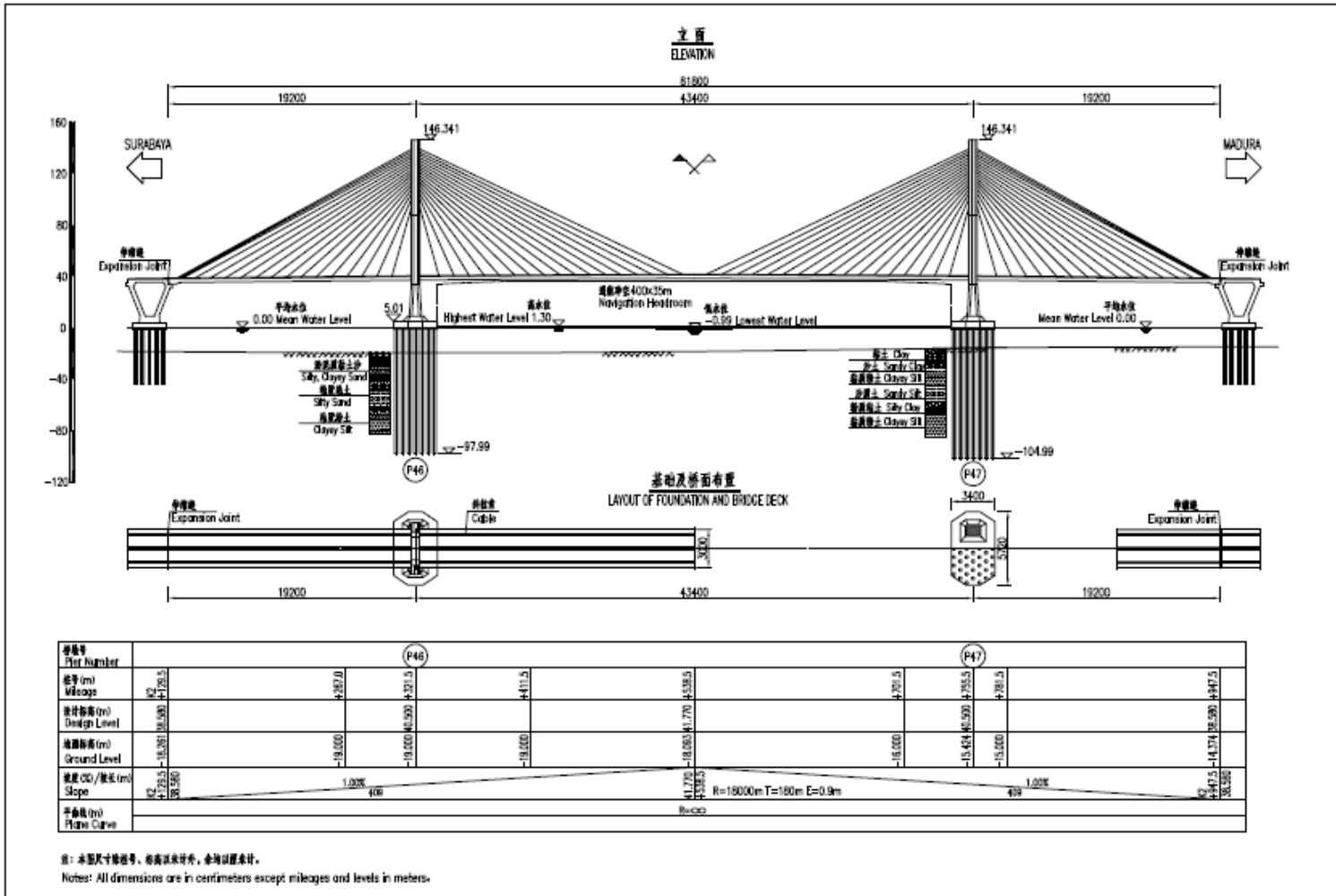
- Gaya Kabel 3 (MC<sub>3</sub>)

$$P_3 = \frac{(349,767) \cdot 46^2}{6 \left( \sin 56,48 \cdot \frac{46}{2} + \cos 56,48 \cdot (1,4) \right)} = 6183,64 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai gaya MC}_3 &= P_3 - P_2 \\ &= 6183,64 \text{ kN} - 4305,97 \text{ kN} = 1877,67 \text{ kN} \end{aligned}$$



**Lampiran 2 Geometri Jembatan Suramadu**

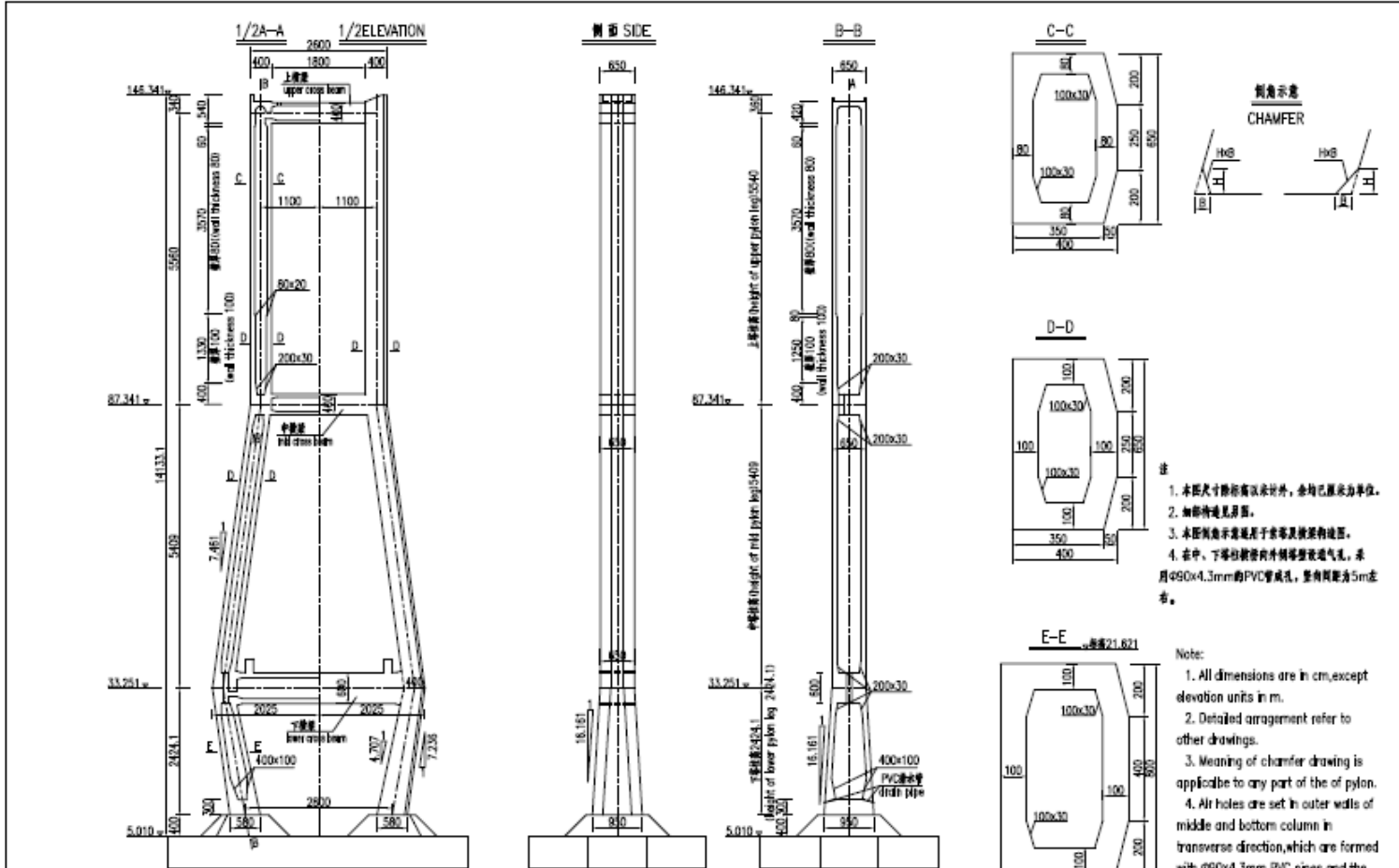




**Lampiran 3 Struktur Pilon Jembatan Suramadu**

長拉索管塔布置圖

鋼編塔及斗型布置圖





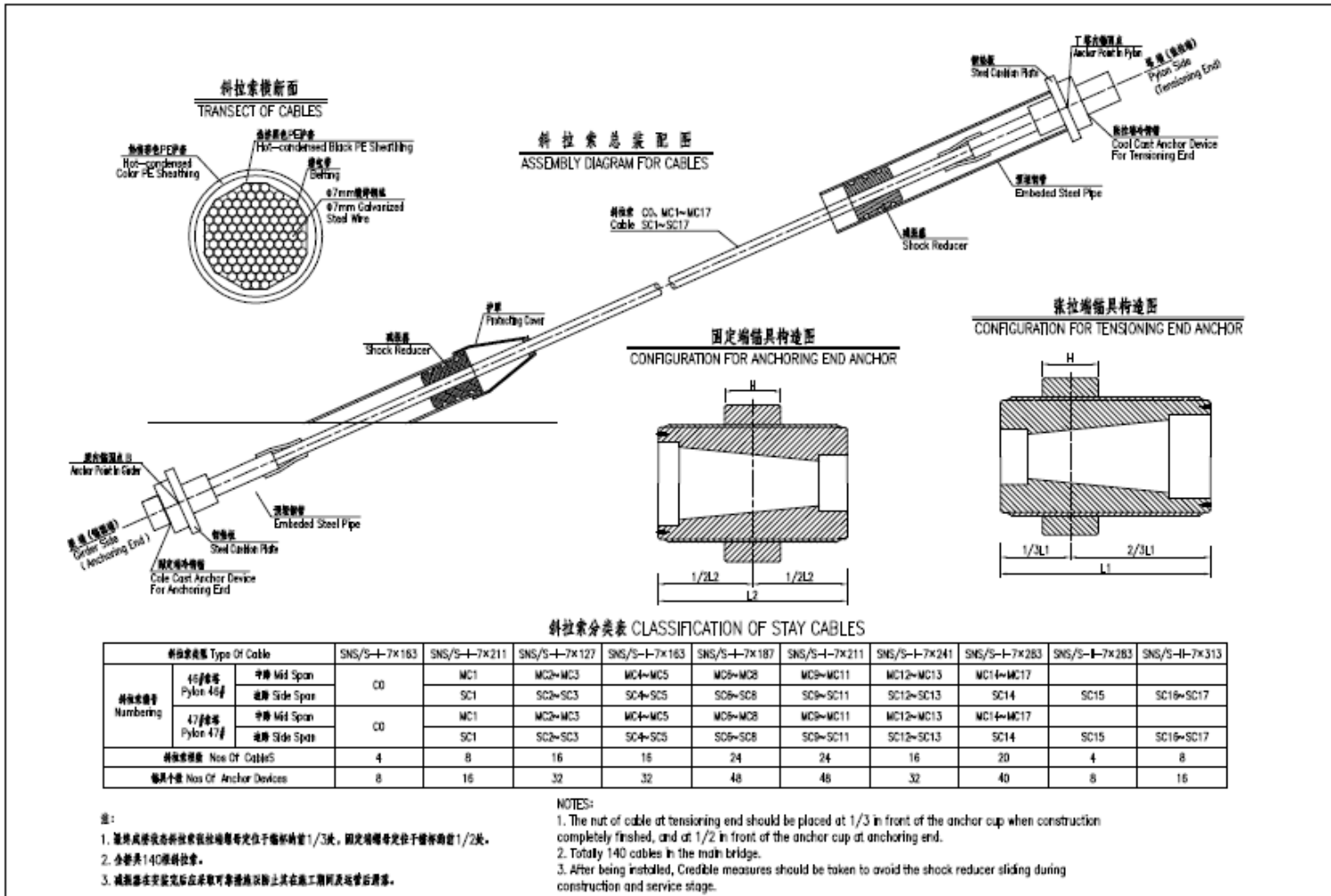
**Lampiran 4 Struktur Gelagar Jembatan Suramadu**





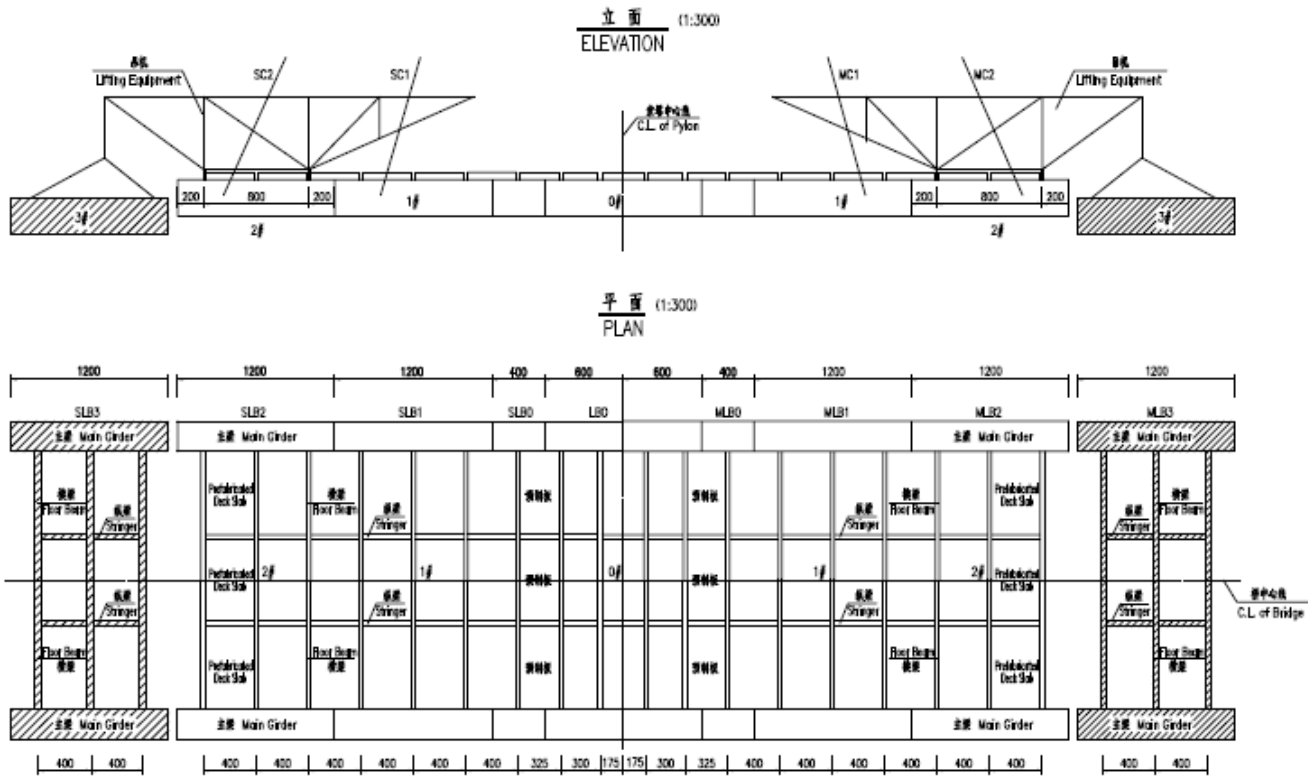


**Lampiran 5 Struktur Kabel Jembatan Suramadu**





**Lampiran 6 Potongan Gelagar Tampak Atas**



附注:

1. 图中尺寸均以厘米计。
2. “加劲梁成形或图(一)~加劲梁成形或图(四)”所示为3号墩施工过程, 其它号墩与此类似。
3. 本图所示为3号墩墩顶阶段, 图中阴影区域为本阶段施工内容。

Notes:

1. All dimensions are in centimetres.
2. Construction procedures of segment 3 are showed in "Section Formation of Stiffening Girders (1)" ~ "Section Formation of Stiffening Girders (4)". Procedure of other segments are similar.
3. The stage shown in this drawing is to hoist steel girder segments 3. The shadow region is the part which is being constructed at this stage.



**Lampiran 7 Tahapan Konstruksi Jembatan Suramadu**





**Lampiran 8 Kontrol Penarikan Kabel Jembatan Suramadu**

张拉控制力与成桥索力

CONTROL TENSIONING FORCE AND COMPLETION CABLE FORCE

索编号 Cable NO.	一次张拉索力 Control Tensioning Force for the First Time	张拉龄数 Post-tension Step	二次张拉索力 Control Tensioning Force for the Second Time	张拉龄数 Post-tension Step	成桥索力 Completion Cable Force
	kN		kN		kN
SC17	1744.2	78	4301.2	81	5603.78
SC16	1684.8	74	4143.9	76	5417.20
SC15	1613.6	68	3989.3	72	4992.29
SC14	1651.4	63	3542.4	65	4997.79
SC13	1600.5	58	3183.6	61	4144.04
SC12	1543.3	54	2933.7	56	4129.65
SC11	1481.4	49	2775.8	52	3814.58
SC10	1248.1	45	2424.5	47	3684.21
SC9	1195.9	40	2726.6	43	4385.17
SC8	1127.5	36	2574.0	38	3922.26
SC7	1068.7	31	2522.0	34	3596.41
SC6	998.7	27	2222.9	29	3212.55
SC5	937.0	22	2168.0	25	2903.42
SC4	876.5	18	1918.6	20	2671.66
SC3	814.2	13	1762.4	16	2288.46
SC2	764.6	8	1664.4	10	2303.41
SC1	1091.7	4	2622.7	6	3633.66
CO	1976.8	85	——	——	3013.46
MC1	1066.7	4	2622.5	6	3621.22
MC2	759.6	6	1664.3	10	2276.90
MC3	809.1	13	1612.0	16	2326.56
MC4	871.4	18	1918.3	20	2637.77
MC5	931.8	22	2217.5	25	2934.72
MC6	993.5	27	2222.5	29	3157.05
MC7	1058.5	31	2421.9	34	3318.38
MC8	1117.3	36	2573.5	38	3668.23
MC9	1185.5	40	2775.8	43	4105.53
MC10	1244.3	45	2626.2	47	4121.85
MC11	1298.7	49	2777.9	52	4191.87
MC12	1363.0	54	2784.1	56	4479.41
MC13	1418.5	58	2934.0	61	4400.16
MC14	1474.4	63	3042.2	65	4782.78
MC15	1432.0	68	3241.9	72	4696.46
MC16	1481.4	74	3543.7	76	5244.69
MC17	1527.0	78	3647.7	81	5641.84

附注:

1. 表格中张拉索力均为单根索在塔上张拉控制张拉索力。

Notes:

1. The control tensioning force shown in this drawing is for one cable at pylon side.





**Lampiran 9 *Control Level* Konstruksi Jembatan Suramadu**

