



UNIVERSITAS INDONESIA

**RESPON JEMBATAN *CABLE-STAYED* ASIMETRIS AKIBAT
BEBAN LALU LINTAS ASIMETRIS**

SKRIPSI

**ANDINI PRAMUDITA
0606072023**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RESPON JEMBATAN *CABLE-STAYED* ASIMETRIS AKIBAT
BEBAN LALU LINTAS ASIMETRIS**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**ANDINI PRAMUDITA
0606072023**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Andini Pramudita

NPM : 0606072023

Tanda Tangan :

Tanggal : 12 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Andini Pramudita
NPM : 0606072023
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Seminar Skripsi : Respon Jembatan *Cable-Stayed* Asimetris Akibat
Beban Lalu Lintas Asimetris

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA (.....)
Penguji : Dr.-Ing. Josia I Rastandi., S.T., M.T (.....)
Penguji : Mulia Orientilize, S.T., M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 12 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana 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 skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua saya, yang telah memberikan banyak dukungan dan moral;
- (3) Ir. Sjahril A. Rahim, yang telah meluangkan waktu untuk menjawab pertanyaan saya;
- (4) Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA., yang telah menjawab pertanyaan saya tentang beberapa teori untuk penelitian ini;
- (5) Teman-teman seperjuangan, Garlan Ramadhan, Batta Septo Van Bahtiar Damanik, Stephen Valentino, yang telah memberikan saya banyak ide dan saran dalam mengerjakan skripsi ini;
- (6) Sahabat yang telah mendampingi saya selama masa pengerjaan skripsi ini.

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

Depok, 12 Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Andini Pramudita
NPM : 0606072023
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 :

Respon Jembatan *Cable-Stayed* Asimetris akibat Beban Lalu Lintas Asimetris

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(Andini Pramudita)

ABSTRAK

Nama : Andini Pramudita
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Respon Jembatan *Cable-Stayed* Asimetris akibat Beban Lalu Lintas Asimetris

Skripsi ini membahas respon komponen-komponen Jembatan *Cable-Stayed* asimetris akibat konfigurasi pembebanan lalu lintas asimetris. Perancangan jembatan umumnya seperti pada peraturan pembebanan struktur jembatan hanya mengatur beban lalu lintas simetris berupa muatan “D”. Muatan “D” menurut peraturan terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Pada kenyataannya beban lalu lintas yang ditanggung oleh jembatan bukan hanya beban simetris, namun juga beban asimetris. Penelitian ini menggunakan bantuan perangkat lunak komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi pembebanan asimetris memberikan respon yang lebih kecil dari variasi pembebanan simetris. Dan model jembatan pada penelitian ini tergolong aman karena memenuhi persyaratan yang ada.

Kata kunci:

Cable-Stayed, respon komponen jembatan, konfigurasi pembebanan asimetris, muatan “D”.

ABSTRACT

Name : Andini Pramudita
Study Program: Civil Engineering
Title : Response of an Asymmetric Cable-Stayed Bridge Due to Traffic Load Asymmetric

This undergraduate thesis discusses the components of the response of an asymmetric cable-stayed bridge under asymmetric traffic loading configuration. Bridge design loading is generally only regulate the traffic load is symmetrical form of the "D" Loads. "D" Loads consists of expenses according to Uniform Distributed Load (UDL) and Knife Edge Load (KEL). In fact, the traffic load is subjected to the bridge is not only cause by symmetrical load, but also asymmetrical load. This study uses computer software assistance. The results showed that the variation of asymmetric loading provides a smaller response than symmetrical loading variations. And the bridge model in this study is safe because it meets the existing requirements.

Key words:

Cable-Stayed, bridge component response, asymmetric loading configuration, "D" form.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
1.5 Hipotesis.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
2. DASAR TEORI.....	5
2.1 Desain Statik	5
2.1.1 Pembebanan	5
2.1.2 <i>Cable-Stayed</i>	8
2.1.3 <i>Pylon</i>	14
2.1.4 Desain dari <i>Deck</i>	14
2.2 Analisa Dinamik	15
2.3 Teori Angin	16
2.3.1 Konsep Umum	16
2.3.2 Variasi Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian dan Kekasaran Bidang.....	17
2.3.3 Pertimbangan Aerodinamik	18
3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Modelisasi Struktur	21
3.1.1 Modelisasi Struktur Jembatan.....	21
3.2 Prosedur Analisis	22
3.2.1 Tahapan Analisis.....	22
3.2.2 Pemodelan dengan SAP2000 v11.00.00.....	24
3.3 Pemodelan Beban Muatan “D”	25
3.4 Pemodelan Variasi Pembebanan Muatan “D”	26
3.5 Input Data.....	27
3.5.1 Dimensi Struktur	27
3.5.2 Properti Material	29
3.5.3 Pembebanan	29
4. HASIL DAN ANALISIS SIMULASI PARAMETRIK	30
4.1 Pengolahan Data	30
4.2 Hasil dan Analisis Struktur Jembatan <i>Cable-Stayed</i>	30

4.2.1 Hasil dan Analisis Respon pada <i>Main Cable</i>	33
4.2.2 Hasil dan Analisis Respon pada <i>Backstayed Cable</i>	38
4.2.3 Hasil dan Analisis Respon pada <i>Pylon</i>	40
4.2.4 Hasil dan Analisis Respon Lendutan pada <i>Deck</i>	41
5. KESIMPULAN DAN SARAN	50
DAFTAR REFERENSI	53



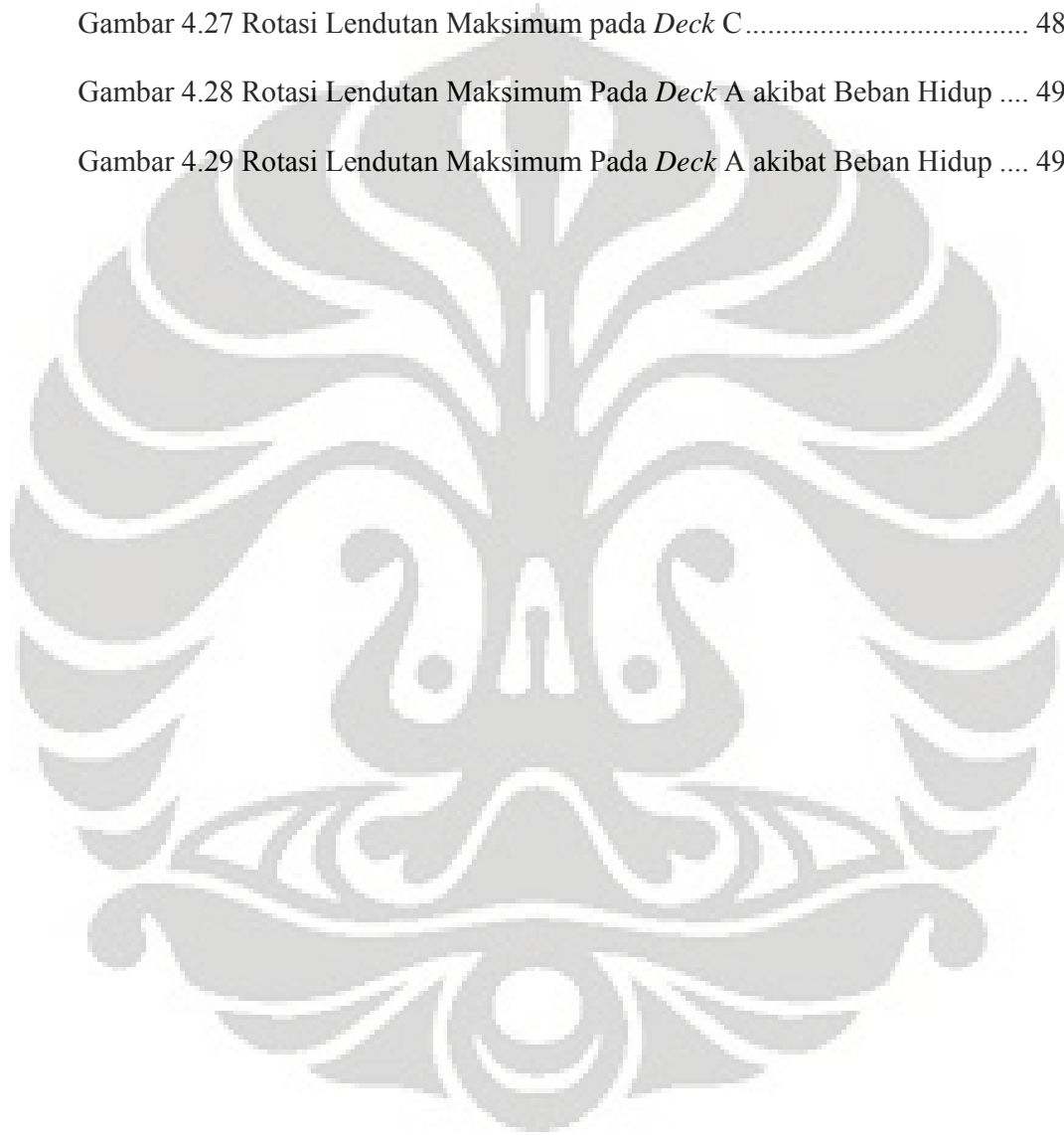
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Flow Chart dari Desain Cable-Stayed untuk Jembatan.....	5
Gambar 2.2 Beban Lajur D	6
Gambar 2.3 Beban “D” : BTR vs panjang yang dibebani.....	7
Gambar 2.4 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang.....	7
Gambar 2.5 Susunan Pembebanan “D”	7
Gambar 2.6 Tipe-tipe Kabel.....	9
Gambar 2.7 Potongan Kable Tipe Strand	9
Gambar 2.8 Perilaku Geometri dari Kabel dengan Modulus Elastisitas $E = \infty$...	10
Gambar 2.9 Rasio E_i/E_c Hubungannya dengan Kekakuan Kabel	11
Gambar 2.10 Ekuivalen Tegangan σ sebagai Fungsi dari σ_m dan μ	12
Gambar 2.11 Tegangan Izin σ_g pada Kabel Akibat Beban Sendiri dan Beban Permanen sebagai fungsi ratio η	13
Gambar 2.12 Diagram <i>fatigue</i>	14
Gambar 2.13 Diagram Dimensi Fatigue	14
Gambar 2.14 Grafik Variasi Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian	17
Gambar 2.15 Grafik Variasi Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian pada Kekasaran yang Berbeda.....	17
Gambar 2.16 Potongan Sayap Pesawat.....	18
Gambar 2.17 Pola Aliran Angin dengan Nilai Reynold yang Berbeda-beda	19
Gambar 2.18 Pola Aliran Angin dengan Ujung Tajam dengan Nilai Reynold yang Berbeda	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Potongan XY.....	24

Gambar 3.3 Potongan YZ Tampak Depan.....	24
Gambar 3.4 Potongan YZ Tampak Belakang	24
Gambar 3.5 Potongan XZ	25
Gambar 3.6 Sketsa Pembebanan Pada Variasi 1	27
Gambar 3.7 Sketsa Pembebanan Pada Variasi 2	27
Gambar 3.8 Sketsa Pembebanan Pada Variasi 3	27
Gambar 4.1 Grafik Periode Getar Alami	31
Gambar 4.2 Bentuk Pergerakan Struktur Dalam Pola Getar Alami Mode 1	32
Gambar 4.3 Bentuk Pergerakan Struktur Dalam Pola Getar Alami Mode 3	32
Gambar 4.4 Tegangan Maksimum Pada <i>Main Cable A</i> Semua Variasi akibat Beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	34
Gambar 4.5 Tegangan Minimum Pada <i>Main Cable A</i> Semua Variasi akibat Beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	35
Gambar 4.6 Tegangan Maksimum dan Minimum pada <i>Main Cable A</i> dari Semua Variasi	35
Gambar 4.7 Fluktuasi Tegangan <i>Main Cable A</i> Terhadap Kriteria <i>Fatigue</i>	36
Gambar 4.8 Tegangan Maksimum Pada <i>Main Cable B</i> Semua Variasi akibat Beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	36
Gambar 4.9 Tegangan Minimum Pada <i>Main Cable B</i> Semua Variasi akibat Beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	37
Gambar 4.10 Tegangan Maksimum <i>Backstayed Cable A</i> akibat beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	38
Gambar 4.11 Tegangan Minimum <i>Backstayed Cable A</i> akibat beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	39

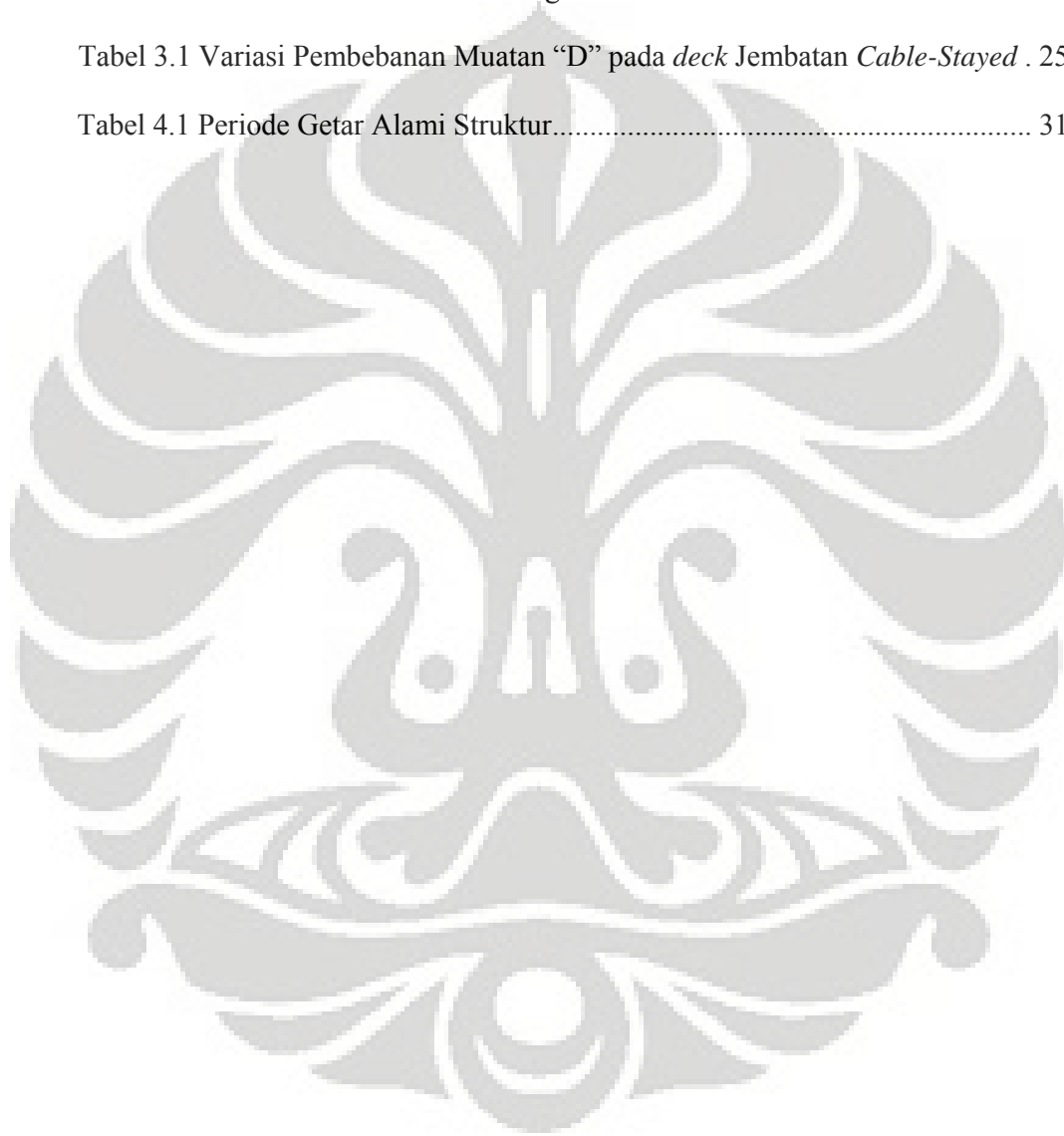
Gambar 4.12 Tegangan Maksimum dan Minimum pada <i>Main Cable</i> A dari Semua Variasi	39
Gambar 4.13 Fluktuasi Tegangan Maksimum <i>Backstayed Cable</i> A akibat <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	40
Gambar 4.14 <i>Displacement</i> Arah x pada <i>Pylon</i> akibat beban <i>Dead Load</i> + Kabel Prategang + <i>Superimposed</i>	41
Gambar 4.15 Penamaan Bagian Deck yang Ditinjau.....	41
Gambar 4.16 Lendutan Maksimum Potongan Memanjang <i>Deck</i> A dengan BGT Berpindah-pindah.....	42
Gambar 4.17 Lendutan Maksimum Potongan Memanjang <i>Deck</i> B dengan BGT Berpindah-pindah.....	42
Gambar 4.18 Lendutan Maksimum Potongan Memanjang <i>Deck</i> C dengan BGT Berpindah-pindah.....	43
Gambar 4.19 Lendutan Maksimum pada Potongan Memanjang <i>Deck</i> A akibat Beban Hidup	44
Gambar 4.20 Lendutan Maksimum pada Potongan Memanjang <i>Deck</i> B akibat Beban Hidup	44
Gambar 4.21 Lendutan Maksimum pada Potongan Memanjang <i>Deck</i> C akibat Beban Hidup	45
Gambar 4.22 Lendutan Maksimum Potongan Melintang Variasi 1 dengan BGT Berpindah-pindah.....	45
Gambar 4.23 Lendutan Maksimum Potongan Melintang Variasi 2 dengan BGT Berpindah-pindah.....	46

Gambar 4.24 Lendutan Maksimum Potongan Melintang Variasi 3 dengan BGT Berpindah-pindah.....	46
Gambar 4.25 Rotasi Lendutan Maksimum pada <i>Deck A</i>	47
Gambar 4.26 Rotasi Lendutan Maksimum pada <i>Deck B</i>	48
Gambar 4.27 Rotasi Lendutan Maksimum pada <i>Deck C</i>	48
Gambar 4.28 Rotasi Lendutan Maksimum Pada <i>Deck A</i> akibat Beban Hidup	49
Gambar 4.29 Rotasi Lendutan Maksimum Pada <i>Deck A</i> akibat Beban Hidup	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kombinasi Pembebanan Pada Struktur Jembatan.....	6
Tabel 2. 2 Kecepatan Angin Rencana (V_w)	8
Tabel 2. 3 Nomor Strouhal Pada Berbagai Bentuk.....	20
Tabel 3.1 Variasi Pembebanan Muatan “D” pada <i>deck</i> Jembatan <i>Cable-Stayed</i> .	25
Tabel 4.1 Periode Getar Alami Struktur.....	31



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang luas dan memiliki kontur alam yang bervariasi. Dalam menghubungkan dua kontur atau topografi yang berbeda digunakan berbagai macam cara atau teknologi. Jembatan adalah salah satunya. Fungsi jembatan awalnya adalah menghubungkan daratan yang dipisahkan oleh sungai atau jurang. Jembatan pun pada awalnya dibuat dengan sistem yang sangat sederhana dengan material yang sederhana pula.

Tetapi kini fungsi jembatan bertambah yaitu sebagai jalan *fly over*. Seiring dengan berkembangnya jaman dan meningkatnya kebutuhan manusia dalam berhubungan dengan satu sama lain diciptakanlah berbagai jenis jembatan. Jembatan *cable-stayed* sudah ada sejak tahun 1784, seorang tukang kayu yang berasal dari Jerman, C.T. Loescher, mendesain sebuah jembatan yang seluruhnya terbuat dari kayu. Jembatan *cable-stayed* merupakan jembatan inovatif dan paling modern setelah perang dunia ke dua. Jembatan ini sangat ekonomis untuk bentang sedang dan bentang panjang.

Sebagai sistem struktur, jembatan *cable-stayed* mempunyai komponen utama yang terdiri atas geladak, sistem kabel, dan menara atau *pylon*. Sudah banyak jembatan *cable-stayed* di dunia selama lebih dari empat puluh tahun dalam perkembangannya. Selain ekonomis, jembatan *cable-stayed* juga untuk memenuhi kebutuhan estetika dan paling cocok dibangun di lahan yang terbatas. Jembatan *cable-stayed* selain memiliki banyak kelebihan juga terdapat beberapa kelemahannya. Dalam mendesain jembatan *cable-stayed* diperlukan ketelitian yang cukup tinggi, terutama terhadap beban atau gaya angin. Selain dalam desain, jembatan *cable-stayed* juga memerlukan perawatan yang intensif untuk menghindarkan kabel tersebut dari karat.

Tantangan terbesar bagi *engineer* Indonesia adalah membuat jembatan-jembatan besar di Indonesia untuk menghubungkan pulau-pulau di Negara ini. Kebutuhan terhadap perkembangan transportasi darat sangat tinggi. Meningkatnya pertumbuhan penduduk di Negara Indonesia merupakan salah satu faktor yang

menyebabkan dibuatnya jembatan penghubung antar pulau. Analisis yang tinggi terhadap *cable-stayed* dalam hal pembebanan terutama beban lalu lintas sangat penting, karena sebagian besar pengguna dari jembatan adalah lalu lintas kendaraan.

1.2 Permasalahan

Jembatan *cable-stayed* membutuhkan analisis yang teliti dalam desainnya. Hubungan antara kabel dengan geladak dan *pylon* sangat krusial dan harus ditinjau secara spesifik. Permasalahan untuk struktur jembatan *cable-stayed* asimetris dengan beban lalu lintas asimetris perlu ditinjau lebih detail agar dapat dilihat gaya-gaya dalam, deformasi jembatan, respon kabel maksimum, dan kapasitas *main cable* dan *backstayed cable* terhadap *fatigue* akibat distribusi beban lalu lintas pada lantai jembatan. Metode pembebanan yang umum dan khusus juga mempengaruhi hubungan antara kabel dan geladak.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis respon dari jembatan *cable-stayed* asimetris terhadap beban lalu lintas asimetris yang diberikan dengan variasi beban terbagi merata dan beban terpusat yang berpindah-pindah, dan variasi pembebanan pada bentang jembatan secara simetris dan asimetris. Dalam menganalisis respon pengaruh dari pembebanan ini akan dilakukan pemodelan struktur jembatan *cable-stayed* asimetris dengan perangkat lunak SAP2000 v11.0.0.

1.4 Pembatasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah dalam hal :

1. Menggunakan Jembatan *Cable-Stayed* asimetris dengan desain awal yang sudah ditentukan.
2. Material untuk *pylon* jembatan adalah beton.
3. Material untuk kabel adalah Kabel tipe seven wire strands diameter 15.2 mm ASTM A 416-74 Grade 270.
4. Material yang digunakan untuk *deck* adalah beton bertulang.

5. Analisa dilakukan terhadap beban lalu lintas simetris, asimetris, beban merata, dan beban terpusat yang berpindah-pindah dengan titik yang telah ditentukan.
6. Penyelesaian analisa penelitian ini adalah dengan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000 v11.0.0.
7. Hal yang akan ditinjau adalah grafik gaya-gaya dalam, lendutan dari *deck* Jembatan, *displacement* arah x pada *pylon* dan komponen *Cable-Stayed* yang didapat dari hasil pemodelan pada program SAP 2000 v11.0.0.

1.5 Hipotesis

Besar dari respon kabel bergantung pada distribusi beban lalu lintas pada lantai jembatan tersebut dan akan menghasilkan respon maksimum jika beban diletakkan pada interval dimana terjadi lendutan maksimum di lokasi gantungan kabel.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini terdiri atas 5 bab, yang diharapkan dapat menjelaskan respon jembatan *cable-stayed* asimetris akibat beban lalu lintas asimetris.

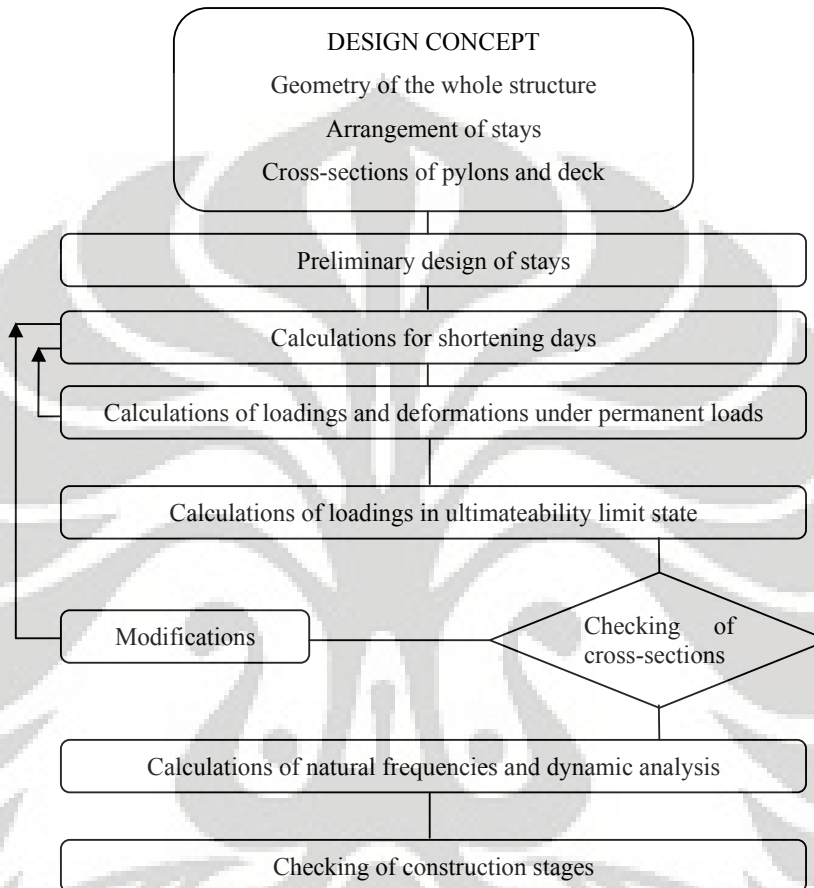
- BAB 1 : Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.
- BAB 2 : Dasar Teori terdiri dari desain statik, analisa dinamik, dan teori angin. Pada bagian desain statik dibahas pembebanan, idealisasi struktur, kabel, *pylon*, dan geladak.
- BAB 3 : Metodologi penelitian berisi modelisasi struktur, prosedur analisa, input data, modelisasi struktur terdiri dari modelisasi struktur jembatan dan variasi pembebanan yang dilakukan. Pada input data, terdapat dimensi struktur, properti material, dan pembebanan.
- BAB 4 : Modelisasi dan Analisa struktur dengan perangkat lunak SAP2000 v11.0.0. Dan analisa grafik gaya-gaya dalam, *displacement pylon*, lendutan pada *deck* Jembatan dan komponen *Cable-Stayed* yang dihasilkan akibat variasi pembebanan yang dilakukan.

BAB 5 : Penutup terdiri dari kesimpulan atas analisa grafik dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Desain Statik



Gambar 2.1 Flow Chart dari Desain Cable-Stayed untuk Jembatan

2.1.1 Pembebanan

2.1.1.1 Keadaan Batas Ultimate

Beban harus benar-benar dipertimbangkan saat mengecek batas ultimate yang tergantung pada filosofi keamanan.

Perbedaan antara efek yang diizinkan dan efek yang tidak diizinkan hampir tidak berbeda jauh dan membutuhkan klarifikasi. Ide ini diaplikasikan hanya pada *load-bearing structure*. Stabilitas dari kelangsingan elemen, seperti pilar, dipengaruhi oleh meningkatnya gaya normal.

2.1.1.2 RSNI T-02-2005

Tabel 2. 1 Kombinasi Pembebanan Pada Struktur Jembatan

Aksi	Faktor Beban Pada Keadaan Batas	
	Daya Layan	Ultimit
Berat Sendiri	1,0	1,2
Beban Mati Tambahan	1,0	2,0
Beban Lajur "D"	1,0	1,8
Angin	1,0	1,2
"N/A" menandakan tidak dapat dipakai. Dalam hal di mana pengaruh beban transien adalah meningkatkan keamanan, faktor beban yang cocok adalah nol		

Beban Lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata yang digabung dengan garis. Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

$$L \leq 30 \text{ m} \quad q = 9 \text{ kPa} \quad (2.1)$$

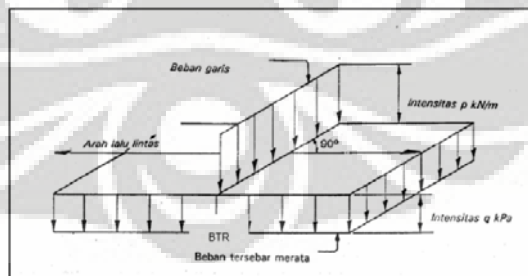
$$L > 30 \text{ m} \quad q = 9 \left(0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (2.2)$$

Dimana:

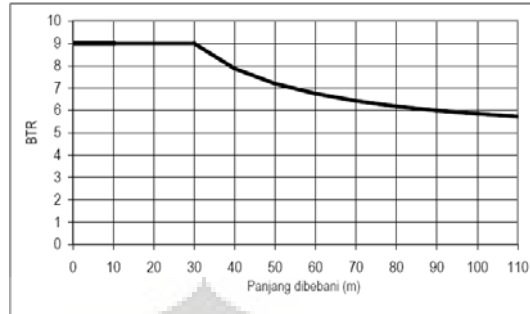
L = Panjang yang dibebani (m)

q = intensitas beban terbagi merata (m)

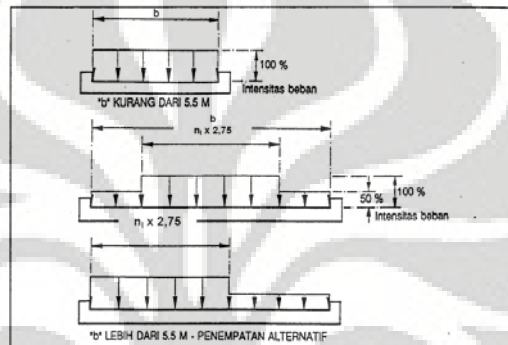
Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

**Gambar 2.2 Beban Lajur D**

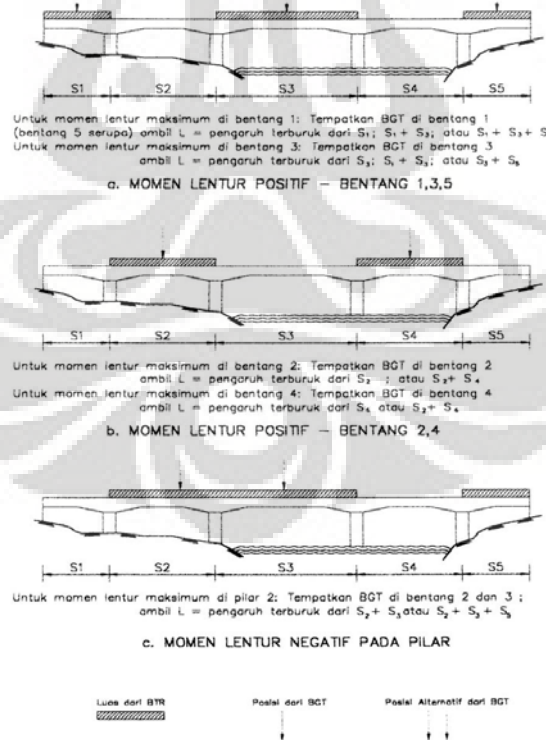
Untuk pembebanan arah melintang Beban Terbagi Rata dipilih intensitas beban 100 % karena pada pemodelan lebar dari satu jalur kurang dari 5.5 meter.



Gambar 2.3 Beban “D” : BTR vs panjang yang dibebani



Gambar 2.4 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang



Gambar 2.5 Susunan Pembebanan “D”

1. Beban Angin

- a) Untuk gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

$$T_{EW} = 0.0006 C_w (V_w)^2 A_b \quad \text{kN} \quad (2.3)$$

Dimana:

V_w = kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau.

C_w = koefisien seret

A_b = luas ekuivalen bagian samping jembatan (m^2)

- b) Beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0.0012 C_w (V_w)^2 A_b \quad \text{kN} \quad (2.4)$$

Dimana :

$$C_w = 1,2$$

Tabel 2. 2 Kecepatan Angin Rencana (V_w)

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

2.1.1.3 Pembebanan Rencana Kerb

Kerb harus direncanakan untuk menahan beban rencana ultimit sebesar 15 kN/meter yang bekerja sepanjang bagian atas kerb.

2.1.2 Cable-Stayed

2.1.2.1 Tipe Kabel

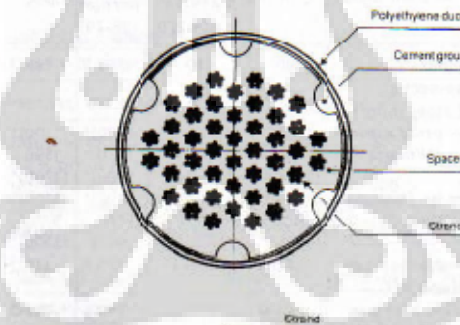
Kabel yang digunakan untuk jembatan terbagi pada beberapa kategori yaitu:

- Stranded

Table 5.1. Principal types of cable

Type of cable	Coupled bars 7 \varnothing 36 Steel 835/1030	Uncoupled bars 26 \varnothing 16	Parallel wires 128 \varnothing 7	Strands 27 \varnothing 15	Locked-coil cables
Tendons	Bars \varnothing 26.5, 32, 36 mm	Bars \varnothing 16 mm	Wires \varnothing 6, 7 mm	Strands \varnothing 0.5, 0.6, 0.7 in of 7 twisted wires	Wires with different profiles \varnothing 2.9-7 mm
0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	835 1080	1350	1470	1570 ~ 1670	—
Ultimate tensile strength, β_z (N/mm ²)	1030 1230	1500	1670	1770 ~ 1870	1000 ~ 1300
Fatigue ^a $\Delta\sigma$ (N/mm ²)	80	—	350	300 ~ 320	120 ~ 150
	0.60	—	0.45	0.5 ~ 0.45	~0.45
Modulus of elasticity, E (N/mm ²)	210 000	210 000	205 000	190 000 ~ 200 000	160 000 ~ 165 000
Failure load (kN)	7339	7624	7487	7634	7310

Gambar 2.6 Tipe-tipe Kabel



Gambar 2.7 Potongan Kabel Tipe Strand

2.1.2.2 Modulus Elastisitas

Karena kabel memiliki kekakuan yang rendah dalam menahan tekuk, kabel hanya dapat seimbang dalam menahan berat sendiri dengan membentuk sebuah rangkaian. Hubungan spesifik antara tekan-tarik dari kabel yang mana defleksi dicegah dengan rangkaian penyokong penahan

geser, dibedakan dengan modulus elastisitasnya E , yang kemudian disebut E_e .

$$E_i = \frac{\sigma}{\varepsilon_f + \varepsilon_e}$$

(2.9)

Dimana E_i adalah modulus elastisitas i .

$$\varepsilon_f = \frac{\sigma}{E_f}$$

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E_e}$$

Sehingga

$$E_i = \frac{E_f E_e}{E_f + E_e} = \frac{E_e}{1 + E_e/E_f} \quad (2.5)$$

Jika rasio dari f/s cukup kecil (lebih kecil dari $1/12$) rangkaian tersebut dapat dianggap sebagai parabola. H.-J. Ernst mengasumsikan bahwa

$$E_f = \frac{12\sigma^3}{(\gamma l)^2} \quad (2.6)$$

$$E_i = \frac{E_e}{1 + (\gamma l)^2 E_e / 12\sigma^3} \quad (2.7)$$

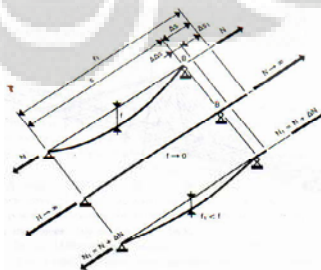
Dimana : σ = tegangan pada kabel

E_e = modulus elastisitas dari baja

γ = berat jenis dari kabel

s = panjang dari tali

l = bentang horizontal (= $s \cos \alpha$)



Gambar 2.8 Perilaku Geometri dari Kabel dengan Modulus Elastisitas $E = \infty$

Modulus E_i hanya valid pada nilai tunggal untuk σ . Terdapat dua tegangan yaitu tegangan σ_{rendah} dan σ_{tinggi} . H.-J. Ernst memberikan secan modulus E_f :

$$E_f = \frac{12\sigma_m^3}{(\gamma l)^2} \frac{16\mu^2}{(1+\mu)^4}$$

(2.13)

Dimana : $\mu = \sigma_{rendah} / \sigma_{tinggi}$

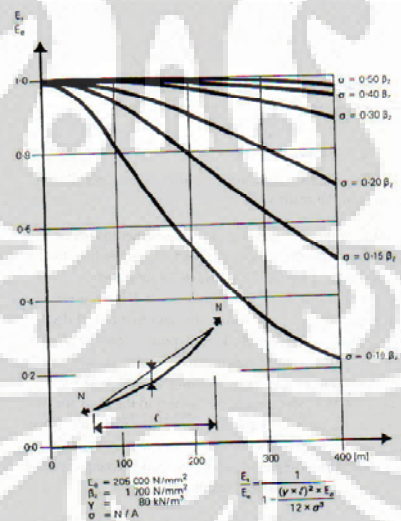
$$\sigma_m = (\sigma_{rendah} + \sigma_{tinggi}) / 2$$

Sehingga menjadi

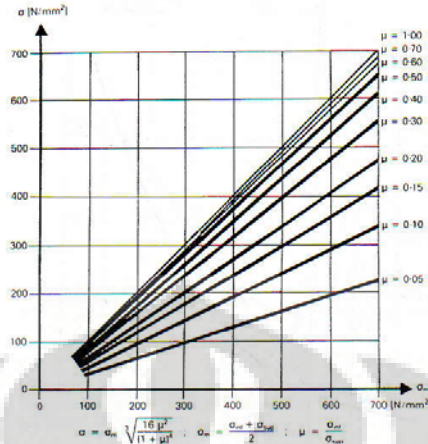
$$E_i = E_e / \left(1 + \frac{(\gamma l)^2}{12\sigma_m^3} \frac{16\mu^2}{(1+\mu)^4} E_e \right)$$

(2.14)

$$\sigma = \sigma_m \left(\frac{16\mu^2}{(1+\mu)^4} \right)^{1/3}$$



Gambar 2.9 Rasio E_i/E_e Hubungannya dengan Kekakuan Kabel



Gambar 2.10 Ekuivalen Tegangan σ sebagai Fungsi dari σ_m dan μ

2.1.2.3 Desain Pendahuluan

Gaya pada kabel secara umum didefinisikan secara sederhana dengan

$$N_i = R_{g,i} / \sin \alpha_i$$

Kabel penahan bagian belakang diasumsikan untuk menahan bagian dari bentang tengah yang tidak seimbang dari bagian samping bentang secara tidak langsung. Tegangan dari kabel ini dihasilkan dari proyeksi gaya G_1 . Pada bagian ini, gaya dari kabel, yang menghasilkan tegangan izin σ_g akibat menahan berat sendiri dan beban permanent yang ada menghasilkan wilayah potongan. Untuk perjanjian ini dalam cara yang disederhanakan, dapat diasumsikan bahwa akibat beberapa beban, kabel mendapat gaya N_q , sebanding dengan gaya N_g akibat beban permanent. Nilai σ_g ini dihubungkan dengan parameter η , dan $\eta = q/g$, dimana q adalah nilai dari berat sendiri dan beban permanent pada geladak dan q adalah distribusi beban hidup yang mewakili tipe dari lalu lintas pada jembatan. Untuk jembatan beton nilai $\eta = 1.0 - 2.0$.

Terdapat dua kriteria, dengan persamaan σ_g sebagai fungsi η , yaitu

- Kriteria Kekuatan

$$\sigma = \frac{g}{g+q} \sigma_{per} = \left(i + \frac{q}{g} \right)^{-1} \sigma_{per}$$

- Kriteria Fatigue

$$\Delta \sigma_{per} = \frac{N_q}{A} = \frac{N_q}{A} \frac{N_g}{N_g} = \frac{N_q}{N_g} \sigma_g$$

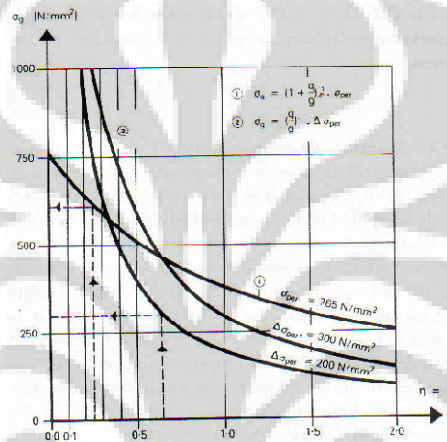
Sehingga

$$\sigma_g = \left(\frac{q}{g}\right)^{-1} \Delta\sigma_{per}$$

Maksimum tegangan izin pada kabel didefinisikan yaitu,

- $\sigma_{per} = 0.45\beta_z$
- $\sigma_{per} = 0.50\beta_z$ (dalam kasus tertentu)

Dimana β_z adalah tegangan leleh dari baja.



Gambar 2.11 Tegangan Izin σ_g pada Kabel Akibat Beban Sendiri dan Beban Permanen sebagai fungsi ratio η

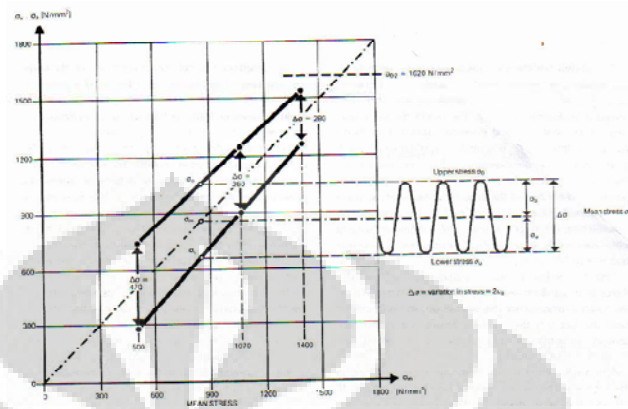
Tegangan batas dapat diasumsikan sebagai:

- $\sigma_{per} = 0.45 \times 1700 = 765 \text{ N/mm}^2$
- $\Delta\sigma_{per} = 200 \text{ N/mm}^2$ dan 300 N/mm^2

Perkiraan gaya pada kabel akibat beban mati dan beban hidup permanen, seperti tegangan izin σ_g , sehingga luas baja dapat didefinisikan:

$$A_i = N_{g,i} / \sigma_g$$

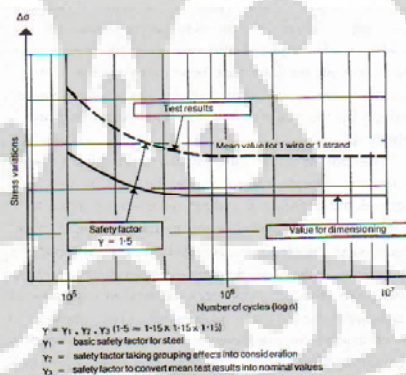
2.1.2.4 Dimensi Kabel dilihat dari Sifat Fatigue



Gambar 2.12 Diagram *fatigue*

Dalam kasus pada jembatan dengan banyak kabel, hanya berat dari kendaraan besar yang mengalami syarat ganda. Dapat diasumsikan beban terpusat tunggal per kendaraan adalah :

$$Q_{\text{fatigue}} \approx 500 \text{ kN}$$



Gambar 2.13 Diagram Dimensi Fatigue

2.1.3 Pylon

Pylon dari jembatan cable-stayed ditujukan untuk tekanan yang tinggi karena pilar menahan hampir keseluruhan dari berat sendiri dan beban hidup dari struktur. Bagian ini menjadi langsing dan tidak stabil.

2.1.4 Desain dari *Deck*

Saat geladak terdiri dari slab tipis, perilaku akibat beban permanent dapat dianalisa secara detail dengan menggunakan model slab dimana kabel dianggap sebagai penyokong vertikal yang kaku.

2.2 Analisa Dinamik

Frekuensi Alami dan Mode Getar Alami

Persamaan gerak dari sistem tanpa redaman dengan derajat kebebasan n pada getaran bebas, dengan persamaan matriks

$$M\ddot{U} + KU = 0$$

Saat sistem bergetar dalam bentuk mode getaran pada level j , semua bentuk massa, dalam sinkronisasi, gerak harmonik dengan periode fase yang sama. Sehingga,

$$U = \hat{U}_j \sin(\omega_j t + \phi_j)$$

Dimana \hat{U}_j adalah karakteristik dari deformasi mode j , ω_j frekuensi *circular*, ϕ_j fase, dan K adalah matriks kekakuan. Mengkombinasikan dua persamaan di atas sehingga menjadi

$$-\omega_j^2 M \hat{U}_j \sin(\omega_j t + \phi_j) + K \hat{U}_j \sin(\omega_j t + \phi_j) = 0$$

Hubungan ini dapat disederhanakan dengan membagi persamaan tersebut dengan $\sin(\omega_j t + \phi_j)$:

$$(K - \omega_j^2 M) \hat{U}_j = 0$$

Selanjutnya mengalikan persamaan tersebut dengan F/ω_j^2 , F adalah matriks fleksibilitas, didapat

$$(F/\omega_j^2)(K - \omega_j^2 M) \hat{U}_j = (F/\omega_j^2) 0$$

$$((FK/\omega_j^2) - FM) \hat{U}_j = 0$$

Dan gunakan $FK = I$ (matriks identitas)

$$((I/\omega_j^2) - FM) \hat{U}_j = 0$$

Dari persamaan di atas diketahui bahwa $\det((I/\omega_j^2) - FM) = 0$.

Kedua persamaan ini diketahui sebagai persamaan karakteristik dari sistem, yang pertama adalah dasar dari matriks kekakuan dan yang kedua adalah dasar dari matriks fleksibilitas. Dikembangkan dari satu atau beberapa determinan berlanjut pada persamaan aljabar dengan n derajat pada ω^2 , dan n akar dari persamaan ini ($\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2$) mengkarakterkan frekuensi dari n mode dari getaran.

2.3 Teori Angin

2.3.1 Konsep Umum

Beban angin membentuk komponen beban lateral yang bekerja pada keseluruhan struktur. Secara umum, komponen tersebut dianggap sebagai aksi lingkungan. Pertimbangan bahwa beban angin hanya berpengaruh pada jembatan bentang panjang adalah salah. Didapat dari data statistik, menunjukkan bahwa jembatan bentang pendek seperti 260 ft dan bentang panjang 2800 ft memiliki vibrasi yang menghancurkan.[Buckland dan Wardlow, 1972; Liepman, 1952; Scanlan, 1979, 1988, 1989; Wardlow, 1970].

Efek angin pada struktur jembatan dapat digolongkan menjadi tiga:

1. Tekanan angin statik
2. Pergerakan dinamik angin
3. Pembatasan diantara struktur yang berdekatan

Jembatan didesain untuk menahan tekanan angin horizontal sebesar 50 lb/ft² pada bidang vertikal dan secara struktural aman terhadap beban angin. Tetapi ada jembatan yang hancur akibat efek dinamik kumulatif dari komponen vertikal akibat tekanan horizontal angin dengan 5 lb/ft² [Steinman, 1941, 1954]. Angin tersebut yang menyebabkan jembatan berdefleksi dan berdeformasi.

Gaya statik angin, gaya angin bekerja pada struktur jembatan, berkembang sebagai hasil dari desakan angin yang terus menerus yang hampir memiliki tekanan yang konstan dalam arah angin. Berdasarkan teori Bernoulli, saat fluida membentur sebuah objek, kenaikan dari tekanan statik sebanding dengan penurunan tekanan dinamik. Intensitas dari tekanan ini adalah :

$$p = \frac{1}{2} C \rho V^2 \quad (2.27)$$

Dimana: p = tekanan angin
 ρ = kerapatan udara (0.00233 slugs per kubik)
 V = kecepatan angin
 C = Faktor bentuk tergantung dari bentuk gangguan

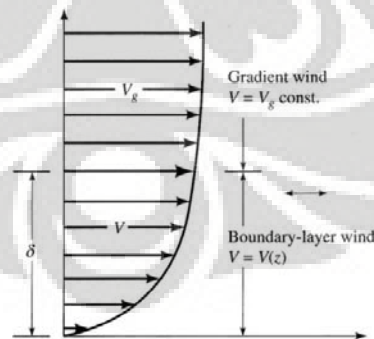
Pada aerodinamik, terdapat gaya disebut *lift* (F_L), dan komponen dari arah angin disebut *drag* (F_D).

2.3.2 Variasi Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian dan Kekasaran Bidang

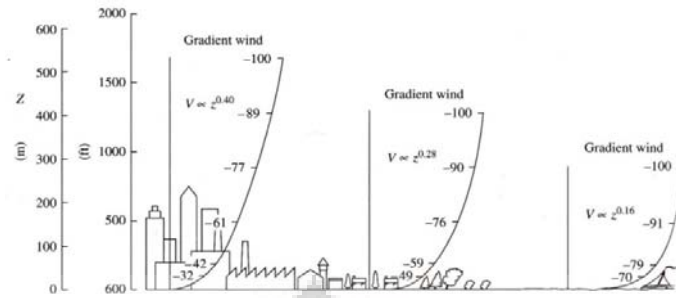
Efek dari permukaan tanah yang mendesak udara yang bergerak menarik gaya horizontal, menahan arus angin. Efek ini berkurang dengan meningkatnya ketinggian dan menjadi diabaikan setelah ketinggian δ , disebut lapisan batas atmosfer. Pada ketinggian ini disebut ketinggian gradien, dan kecepatan angin pada ketinggian ini disebut kecepatan gradien, yang tidak terpengaruh terhadap ketinggian. Hukum Daya adalah,

$$V(z) = V_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^\alpha \quad (2.28)$$

Dimana: $V(z)$ = kecepatan angin pada ketinggian z
 V_1 = kecepatan angin pada ketinggian z_1 , biasanya 10 m
 α = eksponen yang bergantung pada karakter bidang



Gambar 2.14 Grafik Variasi Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian

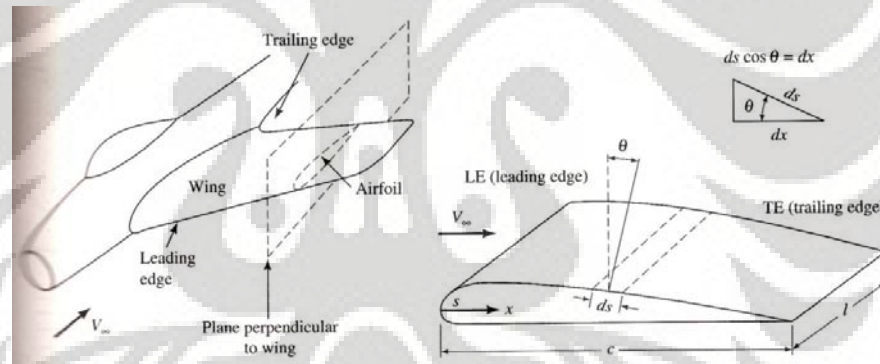


Gambar 2.15 Grafik Variasi Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian pada Kekasaran yang Berbeda

2.3.3 Pertimbangan Aerodinamik

Teori Vortex

Saat angin berhembus terus menerus secara tegak lurus dengan tebal dari sebuah objek, zona dari arus fluida, yang disebut jaluran ombak, yang secara alami bergantung pada nomor Reynold, dibagian bawah lambung angin atau bagian ujung dari potongan sayap pesawat.



Gambar 2.16 Potongan Sayap Pesawat

Fenomena pusaran angin dapat digambarkan dalam parameter non dimensional, yang disebut nomor Strouhal, yaitu,

$$S = \frac{N_s D}{U} \quad (2.30)$$

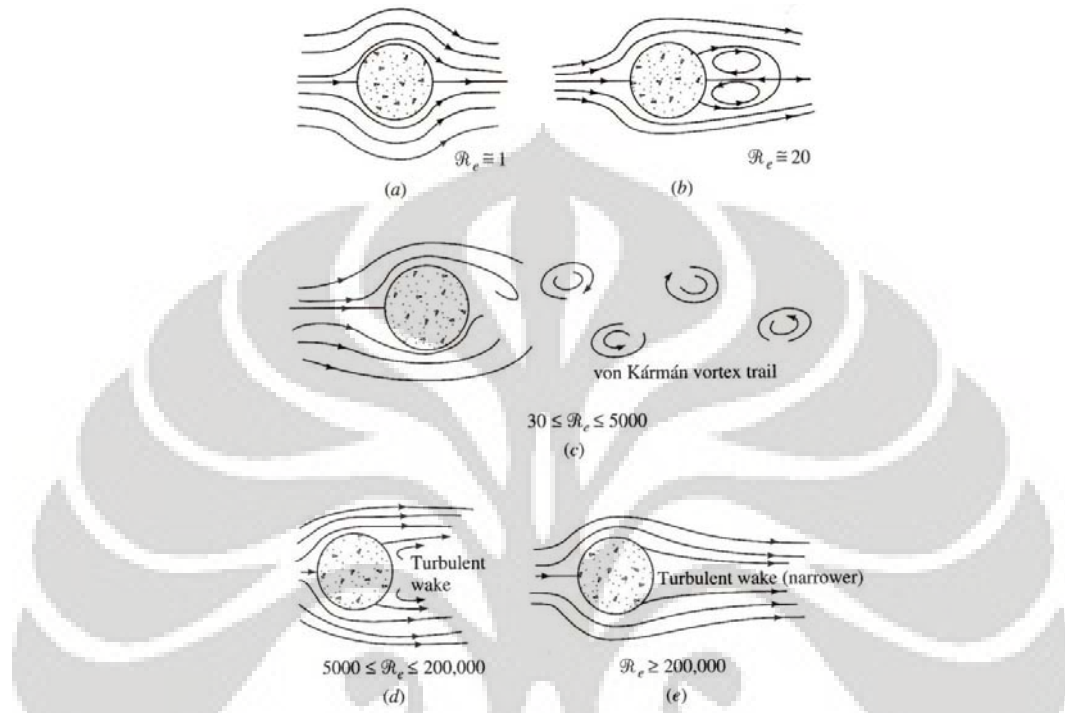
Dimana : S = nomor Strouhal

N_s = frekuensi dari satu putaran penuh pusaran angin

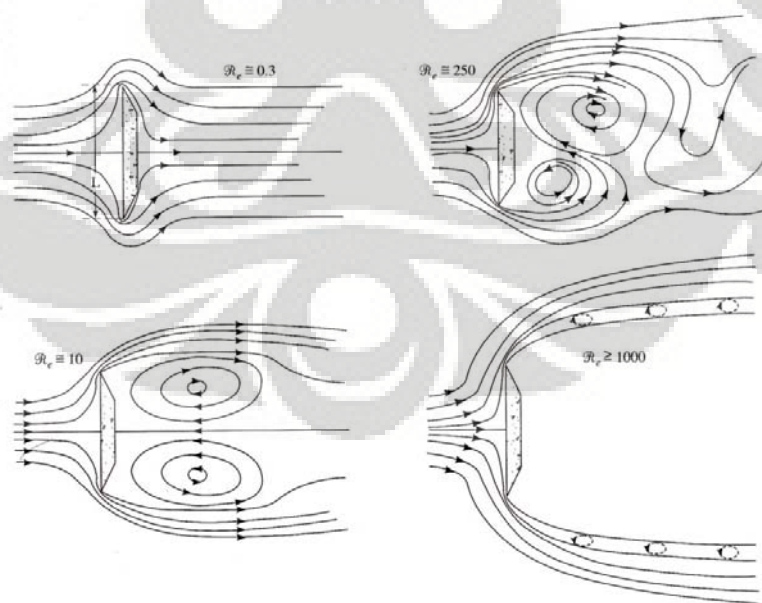
D = karakter dimensi dari proyeksi bagian tubuh dari pesawat

U = kecepatan dari arus datang, diasumsikan berlapis-lapis

Nomor Strouhal, S , diambil dari karakter yang berbeda dari nilai konstanta yang bergantung pada bentuk potongan dari prisma yang diselubungi oleh arus.



Gambar 2.17 Pola Aliran Angin dengan Nilai Reynold yang Berbeda-beda



Gambar 2.18 Pola Aliran Angin dengan Ujung Tajam dengan Nilai Reynold yang Berbeda

Tabel 2. 3 Nomor Strouhal Pada Berbagai Bentuk

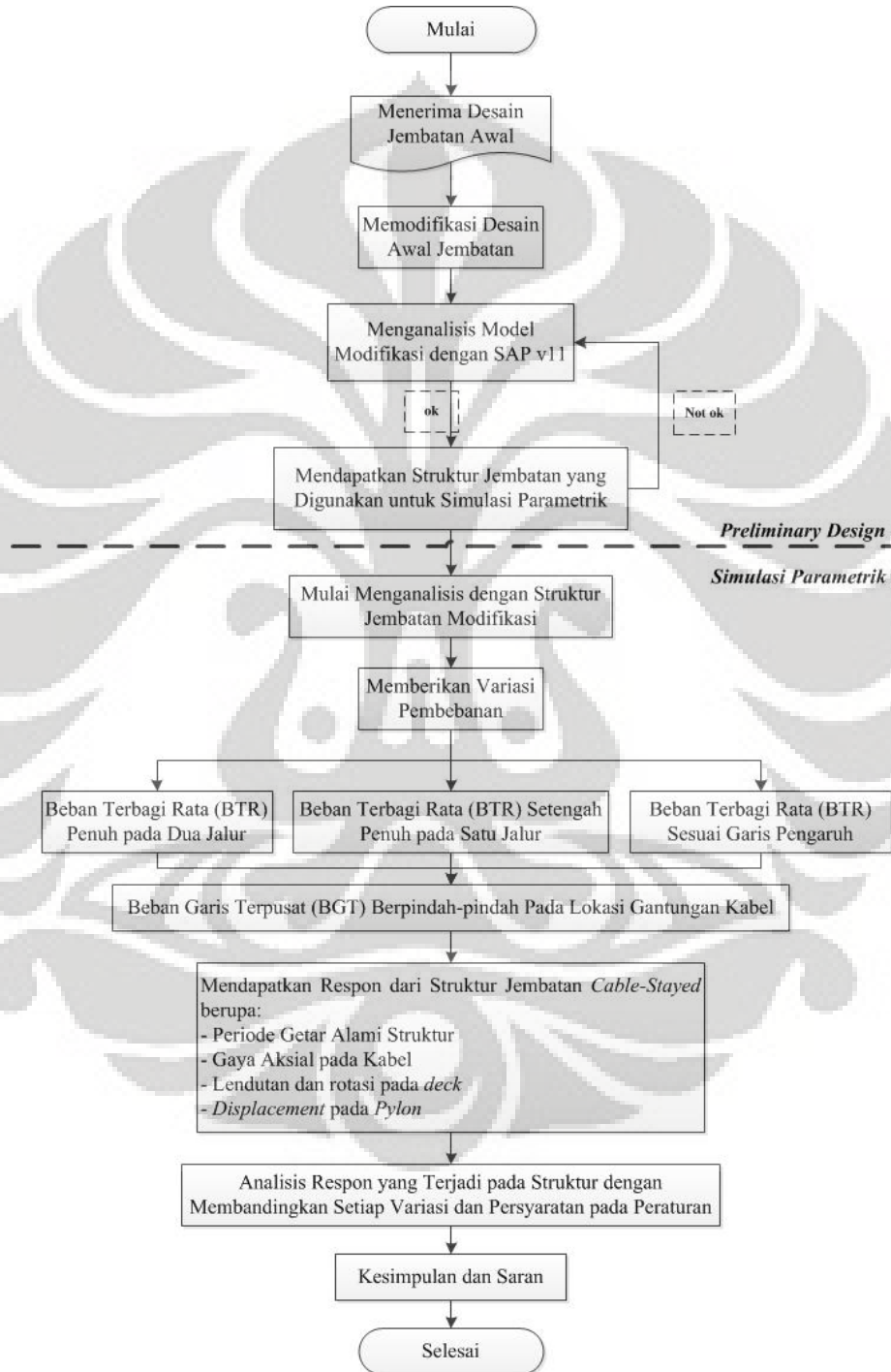
Wind	Profile dimensions (mm)	Value of \mathcal{F}	Wind	Profile dimensions (mm)	Value of \mathcal{F}
		0.120			0.147
		0.137			
		0.120			0.150
		0.144			0.145
					0.142
					0.147
		0.145			0.131
					0.134
					0.137
		0.140			0.121
					0.143
		0.145			0.135
					0.168
		0.156			0.160
					0.145
Cylinder $11.800 < Re < 19.100$ 		0.200			0.114
					0.145

Teori Flutter

Flutter atau kibraran berkenaan dengan sebuah gerakan osilasi, biasanya bending dan torsi, yang dikombinasikan. Saat kecepatan angin meningkat, nilai kritis akan didapatkan, dimana memicu gerakan flutter atau kibraran. Dalam faktor aerodinamik, kecepatan flutter bergantung pada elastik dan sifat dinamik dari jembatan. Kecepatan flutter akan berkurang jika kecepatan angin cenderung terjadi pada bidang geladak jembatan, dimana terjadi akibat turbulensi dan hembusan angin.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Modelisasi Struktur



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.1.1 Modelisasi Struktur Jembatan

Struktur Jembatan ini dimodelkan dengan struktur 3 dimensi dengan program SAP2000 v11.0.0. Pemodelan struktur ini meliputi:

1. Modelisasi struktur hanya untuk struktur atas, sedangkan pondasi dianggap sebagai perletakan jepit.
2. Pada tahap *preliminary design*, gantungan kabel pada *deck* jembatan dimodelkan sebagai perletakan rol. Selanjutnya pada tahap *design* dan simulasi parametrik perletakan rol tersebut digantikan dengan kabel.
3. Panjang Bentang dari struktur jembatan adalah 50 meter.
4. Lebar melintang *deck* adalah 11 meter.
5. *Pylon* dimodelkan sebagai elemens truktur 3 dimensi dengan tipe A.
6. Tinggi *Pylon* adalah 25 meter dengan kemiringan pada sumbu *Pylon* terhadap sumbu x adalah 75° .
7. Pangkal *Pylon* memiliki penampang properti (6 x 1.2) m, sedangkan pada puncak *Pylon* memiliki penampang properti (3 x 1.2) m.
8. *Pylon* memiliki balok penyambung (1.2 x 0.6) m pada ketinggian 12 meter.
9. Material untuk struktur Jembatan *Cable-Stayed* adalah beton.
10. Material kabel dimodelkan sebagai baja.
11. Sambungan antara kabel dengan *deck* diasumsikan sebagai pin.
12. Tipe kabel yang digunakan adalah *Seven Wire Stranded Cables* diameter 15.2 mm.

Pemodelan struktur ini menggunakan material linier elastic dimana modulus elastisitas material adalah konstan. Selain itu, spesifikasi material yang digunakan bersifat isotropis dimana sifat material sama dalam segala arah.

3.2 Prosedur Analisis

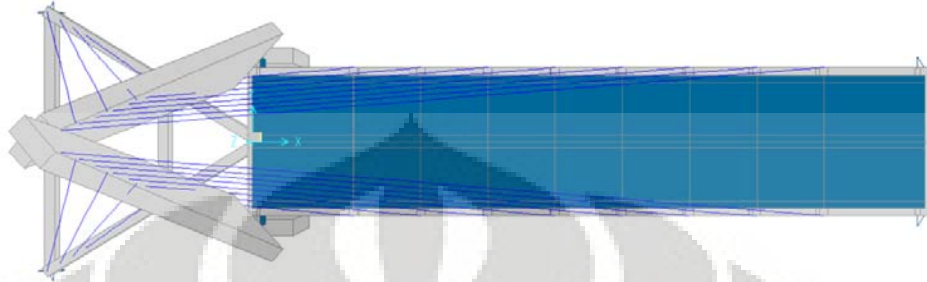
3.2.1 Tahapan Analisis

Struktur Jembatan *Cable-Stayed* ini dimodelkan dalam program SAP2000 v11.0.0. Tahapan utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

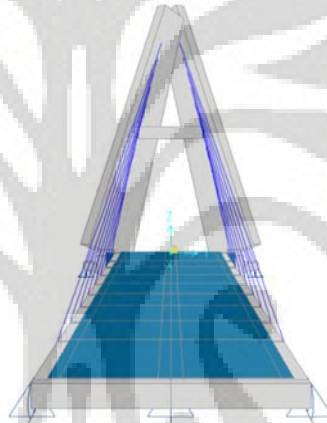
1. Melakukan pemodelan struktur 2 dimensi dengan desain yang sudah ditentukan sebelumnya untuk menentukan jumlah *strands* kabel yang dibutuhkan.
2. Membuat pemodelan struktur 3 dimensi dengan jumlah *strands* kabel yang didapatkan melalui tahap *preliminary design*.
3. Mengecek kapasitas kabel terhadap kriteria kekuatan dan *fatigue*.
4. Melakukan pengecekan terhadap model struktur apakah sudah memenuhi persyaratan yang terdapat dalam peraturan Standard Nasional Indonesia.
5. Menentukan variasi pembebanan muatan “D” yang terdiri dari Beban Terbagi Rata dan Beban Garis Terpusat.
6. Memodelkan semua variasi yang telah ditentukan dengan SAP2000 v11.0.0. Variasi dengan BTR penuh pada dua jalur dinamakan sebagai variasi 1, untuk BTR penuh pada satu jalur disebut variasi 2, selanjutnya BTR hanya diberikan berdasarkan garis pengaruh adalah variasi 3. BGT diberikan sebagai beban berpindah-pindah pada posisi gantungan kabel.
7. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap *output* tiga variasi tersebut dalam bentuk grafik. Hal-hal yang diteliti yaitu:
 - a. Menganalisis kapasitas kabel terhadap kriteria kekuatan dan *fatigue* setelah diberikan muatan “D”.
 - b. Menganalisis fluktuasi kabel akibat variasi pembebanan yang diberikan dan membandingkannya dengan kondisi sebelum diberikan muatan “D”.
 - c. Menganalisis lendutan yang terjadi pada *deck* di dua bagian lokasi gantungan kabel dan tengah bentang.
 - d. Menganalisis *displacement* dari puncak *Pylon* akibat konfigurasi pembebanan yang diberikan.
8. Melakukan perbandingan hasil yang didapat dari tahap 7 dan membuat kesimpulan terhadap analisis yang dilakukan.

3.1.2 Pemodelan dengan SAP2000 v11.0.0

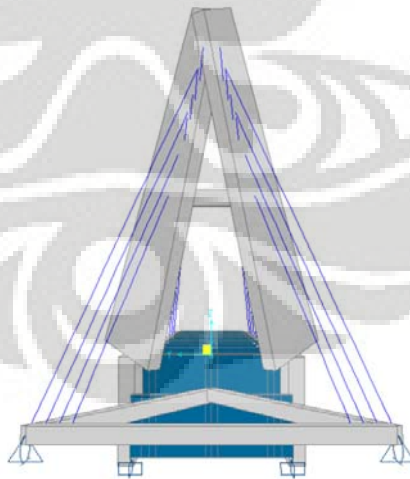
Gambar di bawah ini adalah pemodelan struktur jembatan dengan menggunakan program SAP2000 v11.0.0.



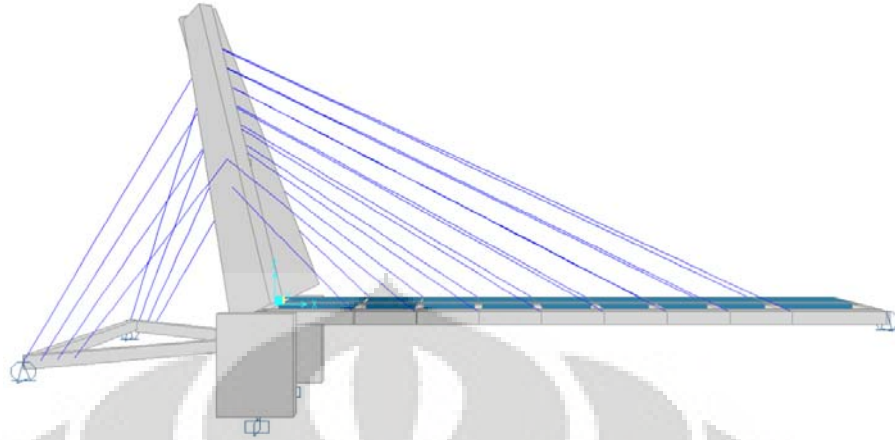
Gambar 3.2 Potongan XY



Gambar 3.3 Potongan YZ Tampak Depan



Gambar 3.4 Potongan YZ Tampak Belakang



Gambar 3.5 Potongan XZ

Pemilihan perletakan rol pada balok tempat gantungan *backstayed cable* adalah untuk menyeimbangkan gaya aksial yang timbul pada balok akibat *backstayed cable*.

3.3 Pemodelan Beban Muatan “D”

1. Mendefinisikan Beban Terbagi Rata (BTR)

Dalam peraturan Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005 6.3.1 poin 2, Beban Terbagi Rata (BTR) mempunyai intensitas q *kPa*. Untuk $L = 50$ m, maka $q = 9.0 \left(0.5 + \frac{15}{L}\right)$ *kPa* dengan L dalam meter. Beban BTR ini dalam program SAP2000 v11.0.0 diberikan sebagai *uniform load* pada lantai jembatan.

2. Mendefinisikan Beban Garis Terpusat (BGT)

Dalam peraturan Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005 6.3.1 poin 2, Beban Garis Terpusat (BGT) mempunyai intensitas p *kN/m* ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan. Besar intensitas p adalah 49 *kN/m*. Beban BGT ini dalam program SAP2000 v11.0.0 diberikan berpindah-pindah pada titik gantungan kabel di lantai jembatan.

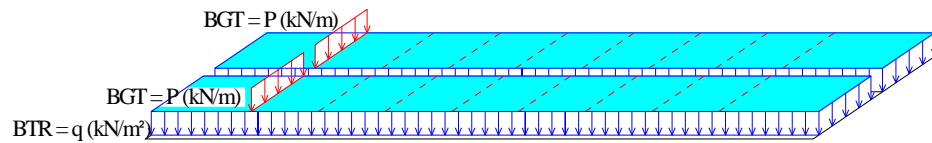
3.4 Pemodelan Variasi Pembebanan Muatan “D”

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa variasi untuk mengetahui respon dari Jembatan *Cable-Stayed* terhadap muatan “D”. Variasi yang akan dilakukan adalah:

Tabel 3.1 Variasi Pembebanan Muatan “D” pada *deck* Jembatan *Cable-Stayed*

Letak BTR	Letak BGT Berpindah-pindah
Penuh (Variasi 1)	Main Cable 1
	Main Cable 2
	Main Cable 3
	Main Cable 4
	Main Cable 5
	Main Cable 6
	Main Cable 7
	Main Cable 8
Setengah Penuh (Variasi 2)	Main Cable 1
	Main Cable 2
	Main Cable 3
	Main Cable 4
	Main Cable 5
	Main Cable 6
	Main Cable 7
	Main Cable 8
Sesuai dengan Garis Pengaruh (Variasi 3)	Main Cable 1
	Main Cable 2
	Main Cable 3
	Main Cable 4
	Main Cable 5
	Main Cable 6
	Main Cable 7
	Main Cable 8

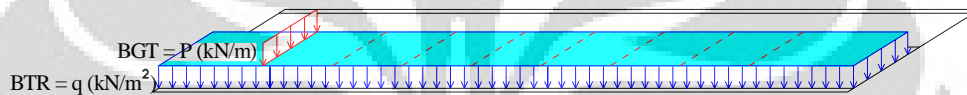
Variasi 1



Gambar 3.6 Sketsa Pembebanan Pada Variasi 1

Beban Garis Terpusat (BGT) berpindah-pindah pada garis putus-putus, dimana garis putus-putus tersebut adalah lokasi gantungan kabel. Dan Beban Terbagi Rata (BTR) berada penuh pada dua jalur.

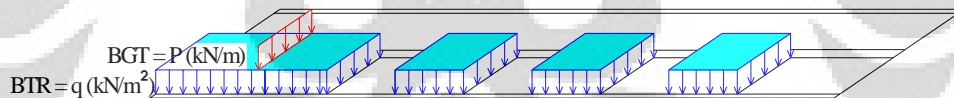
Variasi 2



Gambar 3.7 Sketsa Pembebanan Pada Variasi 2

Beban Garis Terpusat (BGT) berpindah-pindah pada garis putus-putus, dimana garis putus-putus tersebut adalah lokasi gantungan kabel. Dan Beban Terbagi Rata (BTR) berada penuh pada dua jalur.

Variasi 3



Gambar 3.8 Sketsa Pembebanan Pada Variasi 3

Beban Terbagi Rata (BTR) bervariasi berdasarkan garis pengaruh dari *deck* akibat Beban Garis Terpusat (BGT) berpindah-pindah.

3.5 Input Data

3.5.1 Dimensi Struktur

Pemodelan Jembatan *Cable-Stayed* akan menggunakan spesifikasi sebagai berikut:

1. *Pylon*
 - Tipe *Pylon* adalah *Pylon A*
 - Tinggi *Pylon* adalah 25 m

- Kemiringan *Pylon* terhadap sumbu x adalah 75°
- Balok Penyambung pada ketinggian 12 m
- Penampang Properti:
 - Puncak *Pylon* (3 x 1.2) m
 - Pangkal *Pylon* (6 x 1.2) m
 - Balok penyambung (1.2 x 0.6) m

2. *Deck*

- Panjang Bentang Jembatan adalah 50 m
- Lebar melintang *deck* adalah 11 m
- Penampang Properti:
 - Tebal pelat lantai adalah 25 cm
 - Gelagar/Balok Tepi (1 x 0.6) m
 - Gelagar/Balok Tengah (0.2 x 0.2) m
 - Diafragma/Balok Melintang *deck* (1 x 0.6) m

3. *Stay*

- *Main Cable* diangkur pada kedua sisi *deck*
- Jarak titik angkur *Main Cable* 1 dan *Main Cable* 8 dengan perletakan adalah 7.5 m
- Jarak titik angkur antar *Main Cable* pada *deck* adalah 5 m
- Titik angkur *Main Cable* pada *Pylon* adalah 1.5 m dari puncak *Pylon*
- Jarak titik angkur pada *Pylon* antar *Main Cable* secara vertical adalah 1.5 m
- Jarak titik angkur pada balok belakang antar *Backstayed Cable* adalah 1 m
- Jumlah Kabel

– <i>Main Cable</i> 1	= 16 strands \varnothing 15.2 mm
– <i>Main Cable</i> 2	= 16 strands \varnothing 15.2 mm
– <i>Main Cable</i> 3	= 16 strands \varnothing 15.2 mm
– <i>Main Cable</i> 4	= 18 strands \varnothing 15.2 mm
– <i>Main Cable</i> 5	= 18 strands \varnothing 15.2 mm
– <i>Main Cable</i> 6	= 19 strands \varnothing 15.2 mm

- *Main Cable 7* = 19 strands Ø 15.2 mm
- *Main Cable 8* = 27 strands Ø 15.2 mm
- *Backstayed Cable* = 18 strands Ø 15.2 mm

4. *Abutment*

- Tebal *Abutment* adalah 0.8 m

3.5.2 Properti Material

Properti material dari struktur adalah:

1. Sifat material : elastis-isotropis
2. Jenis material :
 - *Deck* = beton bertulang
 - *Pylon* = beton bertulang
 - Kabel = baja
3. Massa Jenis
 - Beton Bertulang = 24 kN/m³
 - Kabel baja = 80 kN/m³

3.5.3 Pembebanan

Penelitian ini hanya meninjau pembebanan dalam *serviceability limit state*.

Pembebanan ini meliputi:

1. Beban Mati
 - a. Beban Mati Primer
 - b. Beban Mati Sekunder
 - Kerb
 - *Railing*
 - Median
2. Beban Hidup (Muatan "D")
 - a. Beban Terbagi Rata
 - b. Beban Garis Terpusat
3. Beban Kabel Prategang pada *Cable-Stayed*

Kombinasi Pembebanan

$$q_s = 1.0 q_{DL} + 1.0 q_{LL} + 1.0 q_{Prategang} \quad (\text{kN/m})$$

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS SIMULASI PARAMETRIK

4.1 Pengolahan Data

Semua variasi pemodelan dijalankan menggunakan perangkat lunak SAP2000 v11.0.0. Hasil yang didapat dari perangkat lunak diolah dengan Microsoft Excel. Respon berupa periode getar struktur, lendutan pada *deck*, gaya pada kabel, dan *displacement pylon* arah x akan dibandingkan dengan variasinya masing-masing. Perbandingan variasi tersebut diberikan berdasarkan Beban Terbagi Rata dan Beban Garis Terpusat pada lantai jembatan.

Variasi yang diberikan yaitu:

- Variasi 1 = Beban Terbagi Rata penuh dengan Beban Garis Terpusat berpindah-pindah pada dua jalur
- Variasi 2 = Beban Terbagi Rata setengah penuh dengan Beban Garis Terpusat berpindah-pindah pada satu jalur
- Variasi 3 = Beban Terbagi Rata sesuai terhadap garis pengaruh lantai jembatan dengan Beban Garis Terpusat berpindah-pindah pada satu jalur

Setiap variasi akan diolah secara terpisah dan kemudian dibandingkan dengan semua variasi untuk dilihat nilai maksimumnya. Respon lendutan yang didapat dari perangkat lunak dapat langsung dibuat grafiknya. Sedangkan untuk respon gaya aksial pada kabel diolah menjadi tegangan sebelum dibuat grafik perbandingan antar variasinya.

Hanya respon dan grafik dengan nilai maksimum yang akan dianalisis supaya dapat dilihat perbedaan signifikan yang dihasilkan dari setiap variasi pembebanan. Respon dan grafik yang tidak maksimum serta respon yang tidak dianalisis akan diberikan pada bagian lampiran.

4.2 Hasil dan Analisis Struktur Jembatan *Cable-Stayed*

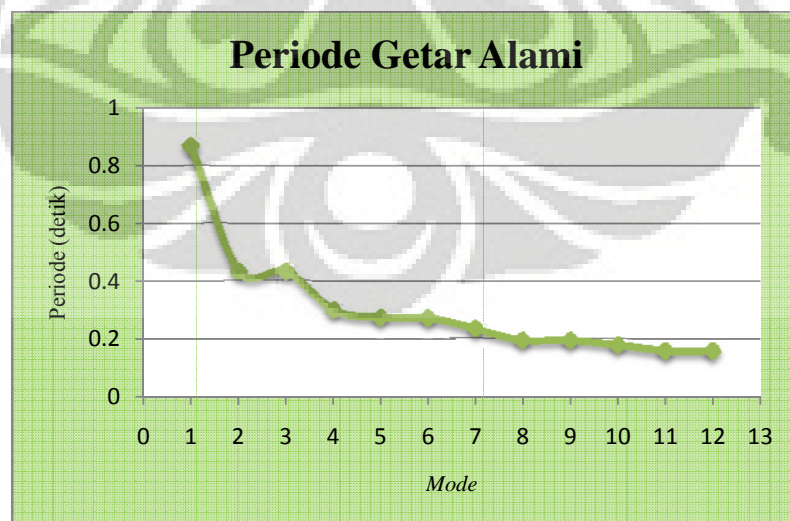
Struktur jembatan memiliki struktur atas dan struktur bawah. Sedangkan pada penelitian ini hanya komponen dari struktur atas yang akan dianalisis responnya.

Struktur atas yang akan diteliti terdiri dari *deck*, kabel, dan *pylon*. Struktur bawah hanya dimodelkan sebagai perletakan jepit di perangkat lunak SAP2000 v11.0.0.

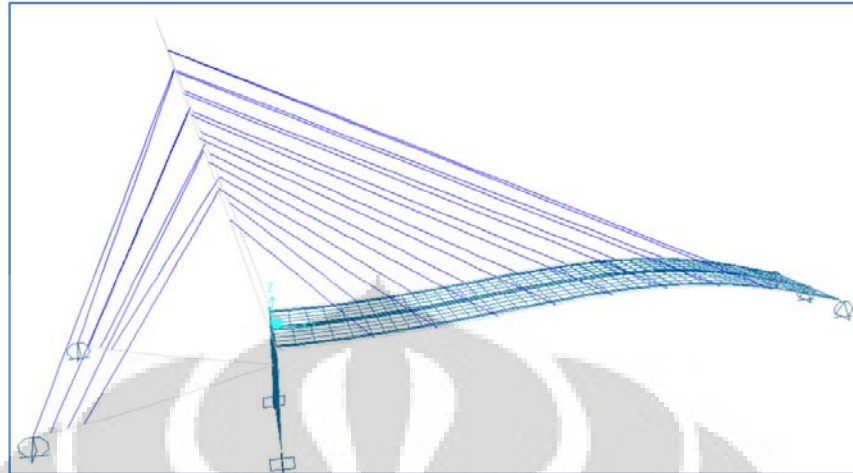
Periode getar jembatan *Cable-Stayed* ini pada pola pertama dan kedua adalah pergerakan translasi, sedangkan pola getar ketiga terjadi pergerakan rotasi. Untuk perilaku aerodinamik struktur perbandingan antara periode getar pertama *bending* dan periode getar pertama torsi harus lebih besar dari dua.

Tabel 4.1 Periode Getar Alami Struktur

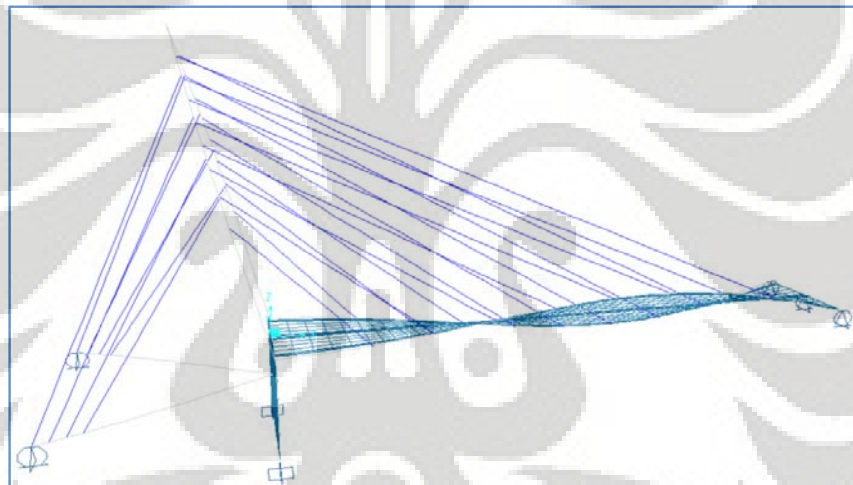
Mode	Periode Getar (detik)	Frekuensi (rad/detik)	Sifat
1	0.866404	7.252	<i>bending</i>
2	0.430958	14.58	<i>bending</i>
3	0.430342	14.6	<i>torsi</i>
4	0.297108	21.148	<i>bending</i>
5	0.271109	23.176	<i>bending</i>
6	0.269348	23.327	<i>torsi</i>
7	0.233079	26.957	<i>torsi</i>
8	0.194371	32.326	<i>torsi</i>
9	0.194027	32.383	<i>bending</i>
10	0.177368	35.425	<i>torsi</i>
11	0.157326	39.937	<i>bending</i>
12	0.156917	40.041	<i>bending</i>



Gambar 4.1 Grafik Periode Getar Alami



Gambar 4.2 Bentuk Pergerakan Struktur Dalam Pola Getar Alami Mode 1



Gambar 4.3 Bentuk Pergerakan Struktur Dalam Pola Getar Alami Mode 3

Dalam *vortex-shedding*, kecepatan angin kritis dengan nomor Strouhal 0.2, periode getar translasi pertama 1.1542 Hz, dan tebal *deck* 1 meter adalah 5.771 m/s. Setelah mendapatkan besar kecepatan angin kritis, dapat diketahui nomor Reynold yaitu 4.23×10^6 . Melalui perhitungan didapatkan nilai amplitudo sebesar 6.821 mm dan percepatan osilasi akibat *vortex* yaitu 0.36 m/s^2 . Nilai tersebut diplot pada tabel Klasifikasi Berdasarkan Gerakan Percepatan dan didapatkan bahwa percepatan yang terjadi berada pada zona A yaitu besar percepatan osilasi akibat *vortex* dikategorikan dapat diterima atau aman terhadap fenomena *vortex*.

Kecepatan kritis akibat *flutter* dapat ditentukan dengan metode Klöppel. Metode tersebut menggunakan perbandingan antara frekuensi torsi dan *bending*.

Jembatan *Cable-Stayed* asimetris ini menunjukkan perbandingan frekuensi tersebut sebesar 2.0133. Dengan grafik, kecepatan *flutter* secara teori didapatkan koefisien untuk menentukan kecepatan kritis *flutter* dan selanjutnya dapat dicari besar kecepatan kritis aktual dari angin. Kecepatan aktual kritis dalam sudut 0° adalah 324.515 km/h. Sedangkan kecepatan actual kritis dalam sudut arah angin $\pm 6^\circ$ adalah 162.258 km/h.

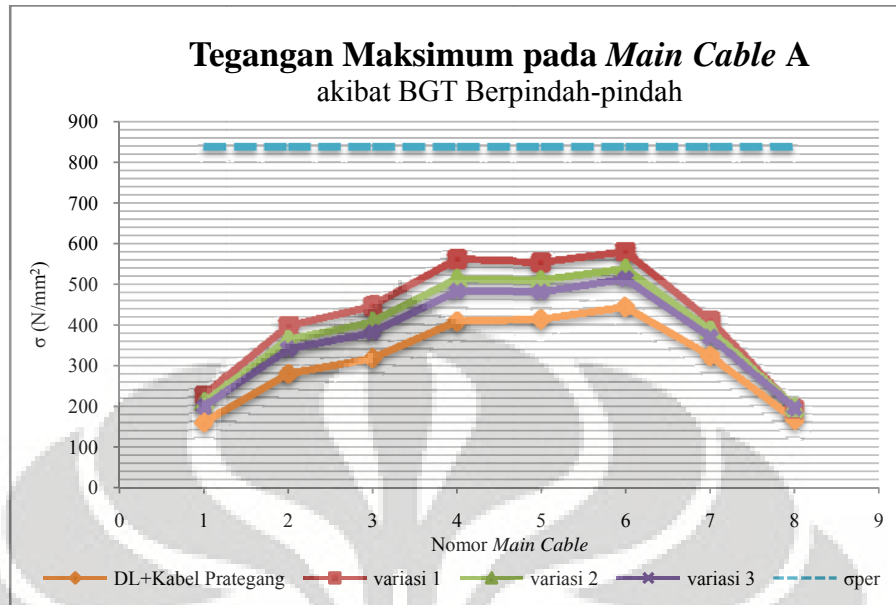
4.2.1 Hasil dan Analisis Respon pada *Main Cable*

Variasi pembebanan yang dilakukan pada penelitian ini sudah dipaparkan pada Bab 3. Komponen yang dibahas pada sub bab ini adalah kabel utama dari struktur jembatan *Cable-Stayed*. Seperti yang telah dibahas pada awal Bab 4 ini, yang dianalisis adalah respon maksimum yang terjadi pada struktur akibat variasi pembebanan yang diberikan.

Terdapat tiga variasi tipe pembebanan Beban Terbagi Rata (BTR). Untuk setiap variasi diberikan Beban Garis Terpusat (BGT) berpindah-pindah pada lokasi gantungan kabel. Sehingga total hasil variasi untuk *Main Cable* adalah 24 konfigurasi pembebanan. Respon maksimum pada kabel diambil dari setiap variasi berdasarkan BGT yang berpindah-pindah dan selanjutnya dibandingkan dalam grafik.

Kriteria kekuatan (σ_{per}) dari kabel adalah $0.45\beta_z$ yaitu sebesar 837 N/mm^2 . Sedangkan berdasarkan tabel kapasitas kabel jenis strands, kriteria *fatigue* memiliki nilai yaitu 320 N/mm^2 . Selanjutnya kabel dibandingkan terhadap dua kriteria tersebut. Jika respon yang terjadi pada kabel berada di bawah batas kedua kriteria, maka kabel masih tergolong aman.

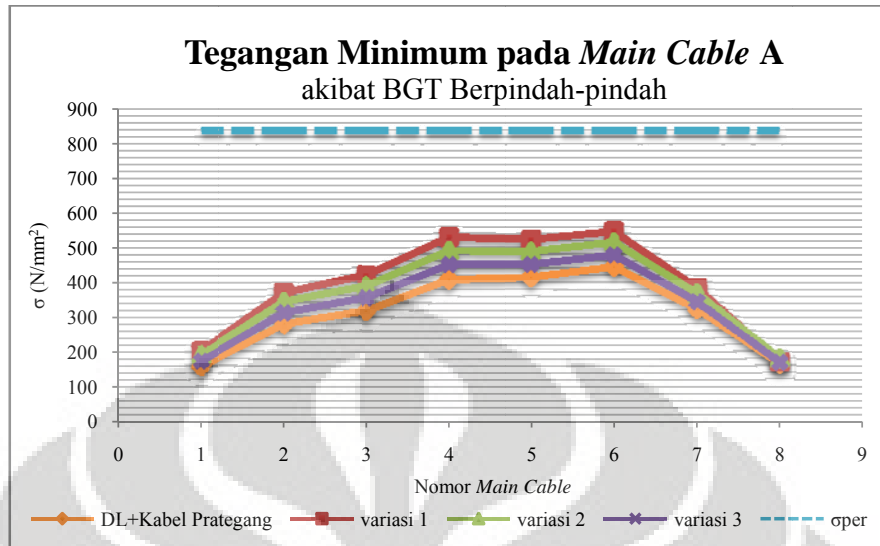
Gambar 4.4, menunjukkan bahwa *main cable* A tidak melebihi batas kriteria kekuatan yang diijinkan. Diantara ketiga variasi dan kondisi jembatan tanpa beban *live load*, variasi pertama menunjukkan respon terbesar yang terjadi pada kabel. Kondisi tersebut diduga karena beban muatan “D” berupa Beban Terbagi Rata (BTR) diberikan penuh pada *deck*, sehingga respon maksimum terjadi pada *Main Cable*.



Gambar 4.4 Tegangan Maksimum Pada *Main Cable A* Semua Variasi akibat Beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed*

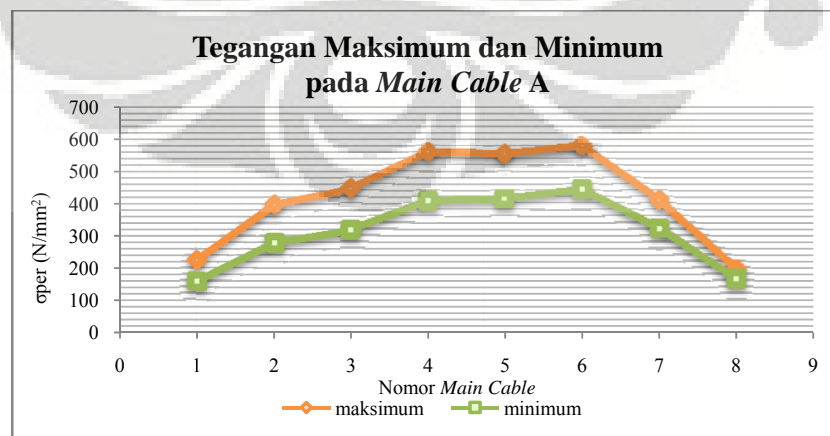
Setiap kabel untuk semua variasi pembebanan yang mengalami tegangan maksimum pada saat Beban Garis Terpusat (BGT) berada di lokasi gantungan kabel tersebut. Gambar di atas menunjukkan bahwa kabel 6 memberikan respon yang paling besar, terutama akibat variasi 1 yang memiliki konfigurasi Beban Terbagi Rata penuh pada dua jalur. Nilai tegangan pada kabel 6 di variasi tersebut yaitu sebesar 580.29 N/mm².

Tegangan maksimum pada kabel utama untuk semua variasi akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed* ditunjukkan oleh variasi pertama sebagai respon terbesar. Sedangkan di gambar 4.5, yang memperlihatkan tegangan minimum pada *main cable A*, respon terkecil ditunjukkan oleh pembebanan akibat *Dead Load* + Kabel Prategang. Hal ini terjadi diduga karena pada tipe pembebanan tersebut *deck* tidak dibebani beban hidup atau muatan “D”, sedangkan variasi 1, 2, dan 3 diberikan Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Tegangan terkecil dialami oleh kabel 1 yaitu sebesar 157.764 N/mm².



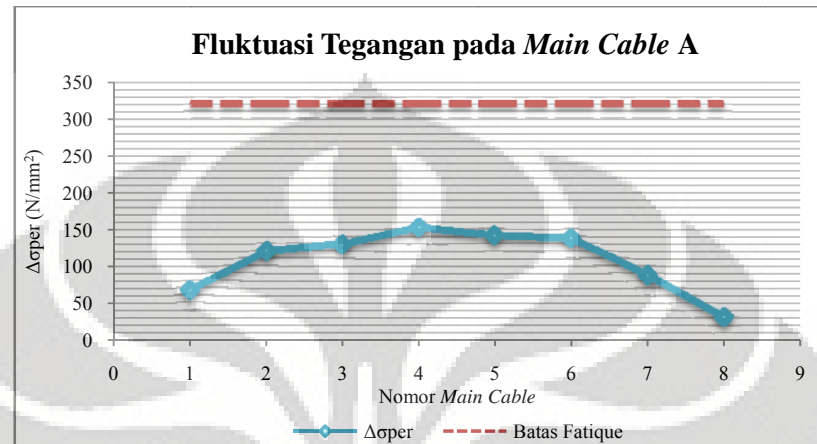
Gambar 4.5 Tegangan Minimum Pada Main Cable A Semua Variasi akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed

Selanjutnya untuk setiap kabel diambil nilai yang menunjukkan respon terbesar dan terkecil. Kedua nilai tersebut dibandingkan dalam satu grafik untuk dicari besar $\Delta\sigma_{per}$ untuk tiap kabelnya. Perbandingan kedua nilai tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6. Semua tegangan terbesar pada kabel terjadi akibat variasi satu kecuali pada kabel nomor 8. Kabel 8 mengalami tegangan maksimum saat diberikan tipe pembebanan variasi 2. Kemudian fluktuasi antara tegangan maksimum dan minimum dibandingkan terhadap batas *fatigue* dengan nilai 320 N/mm^2 , seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5.



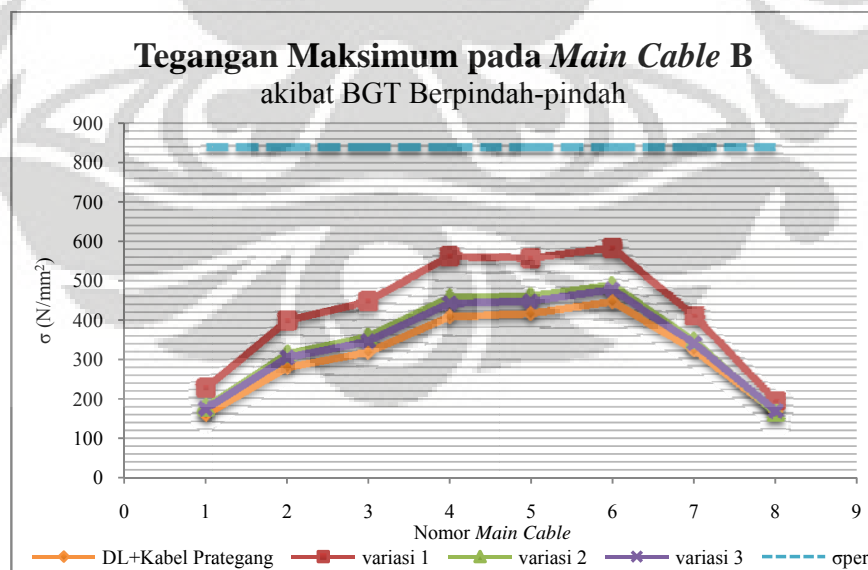
Gambar 4.6 Tegangan Maksimum dan Minimum pada Main Cable A dari Semua Variasi

Setelah didapat grafik seperti pada gambar 4.6, dicari fluktuasi tegangan atau $\Delta\sigma_{per}$ yang terjadi pada masing-masing kabel.



Gambar 4.7 Fluktuasi Tegangan Main Cable A Terhadap Kriteria Fatigue

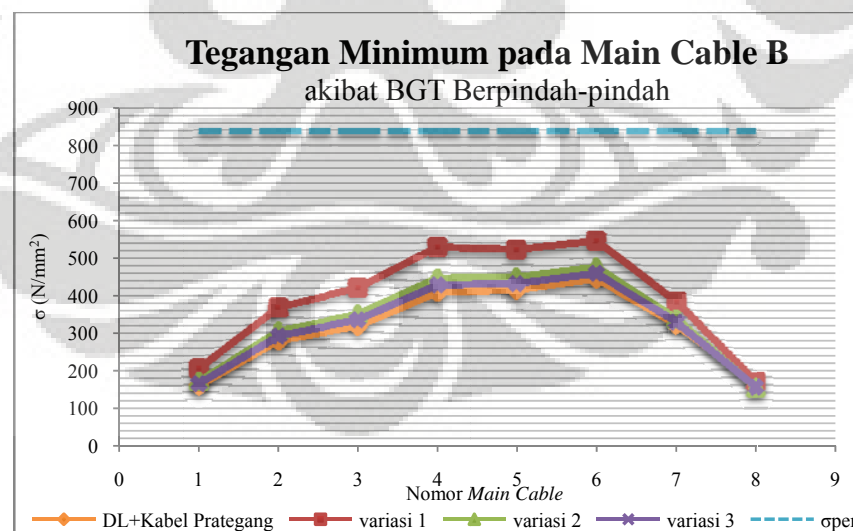
Dari gambar 4.7 memperlihatkan bahwa kabel berada pada kondisi memenuhi persyaratan yaitu tidak melebihi kriteria *fatigue*. Kabel yang mengalami fluktuasi tegangan terbesar adalah kabel 4 dengan $\Delta\sigma_{per}$ sebesar 153 N/mm². Dan kabel yang mengalami fluktuasi tegangan terkecil terjadi pada kabel 8 dengan $\Delta\sigma_{per}$ sebesar 31.08 N/mm².



Gambar 4.8 Tegangan Maksimum Pada Main Cable B Semua Variasi akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed

Gambar 4.8 di atas memperlihatkan tegangan maksimum yang terjadi pada kabel utama B dari struktur jembatan dibandingkan terhadap batas kekuatan kabel. Secara keseluruhan, perbandingan tegangan pada *main cable* A dan B tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun besar tegangan yang terjadi pada kabel utama B pada variasi 2 dan 3 mengalami penurunan, diduga karena pada jalur digantungkannya kabel utama B tidak diberikan Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT) yang menunjukkan variasi beban anti simetris lalu lintas. Respon terbesar *main cable* B terjadi pada variasi yang sama seperti *main cable* A yaitu pada kabel 6 akibat konfigurasi Beban Terbagi Rata (BTR) penuh pada dua jalur. Dari dua fenomena yang sama ini, dapat diberikan kesimpulan bahwa tegangan maksimum kabel akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed* terjadi pada kabel nomor 6.

Selanjutnya, sama seperti tegangan minimum pada *main cable* A, pada *main cable* B, respon terkecil ditunjukkan oleh pembebanan akibat *Dead Load* + Kabel Prategang. Tegangan minimum pada *main cable* B dapat dilihat pada gambar 4.9.

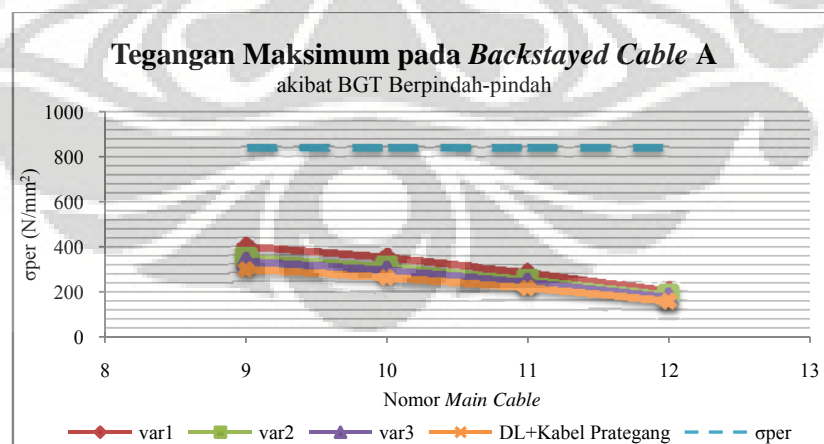


Gambar 4.9 Tegangan Minimum Pada *Main Cable* B Semua Variasi akibat Beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed*

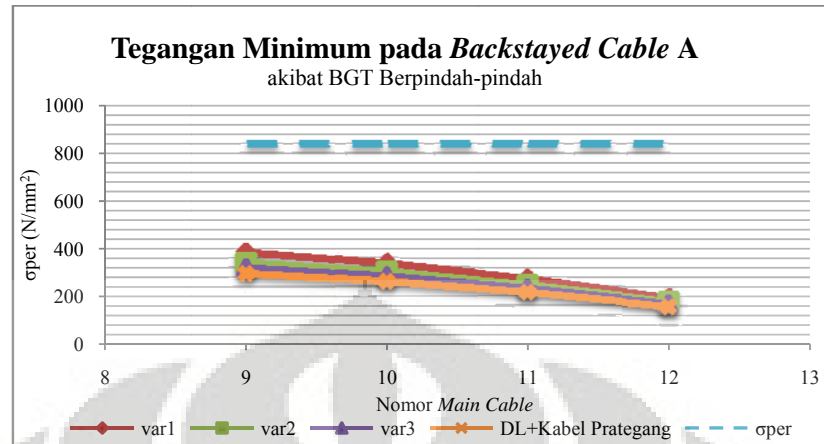
Selanjutnya untuk setiap kabel utama B diambil respon terbesar dan terkecil. Kemudian dibandingkan dalam satu grafik untuk dicari besar $\Delta\sigma_{per}$ untuk tiap kabelnya. Semua tegangan terbesar pada kabel terjadi akibat konfigurasi pembebanan dengan Beban Terbagi Rata (BTR) penuh pada dua jalur. Bentuk grafik tegangan maksimum dan minimum pada *main cable* B serupa dengan *main cable* A. Grafik fluktuasi yang terjadi pada kabel utama B juga tidak jauh berbeda dengan kabel utama A. Sehingga untuk dua grafik tersebut tidak ditampilkan pada bab ini. Tetapi grafik tersebut dapat dilihat dibagian lampiran penelitian ini.

4.2.2 Hasil dan Analisis Respon pada *Backstayed Cable*

Pada *backstayed cable* A, respon tegangan maksimum yang terjadi terhadap ketiga variasi tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Ketiga konfigurasi pembebanan juga memperlihatkan tegangan berada di bawah kriteria kekuatan yang menunjukkan bahwa keempat kabel belakang berada dalam kondisi yang aman dan memenuhi persyaratan kapasitas kabel, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.10. Dan respon terbesar terjadi pada kabel belakang akibat variasi pertama. Respon yang terjadi pada *backstayed cable* B menunjukkan hal yang sama, sehingga pada bab ini hanya membahas *backstayed cable* A.

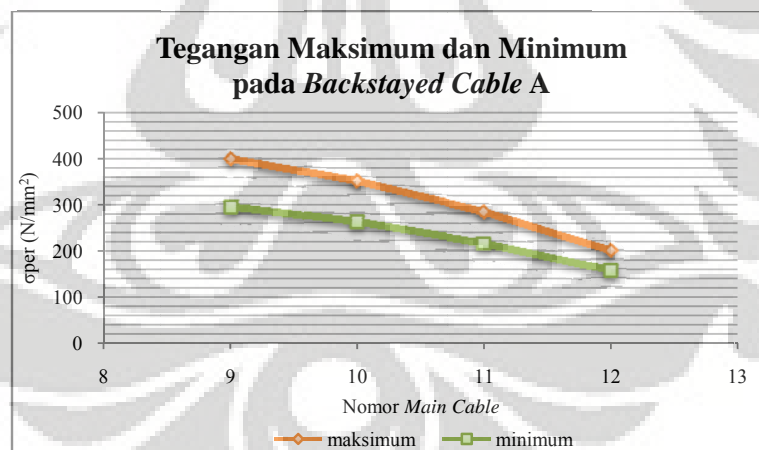


Gambar 4.10 Tegangan Maksimum *Backstayed Cable* A akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed*



Gambar 4.11 Tegangan Minimum *Backstayed Cable A* akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed*

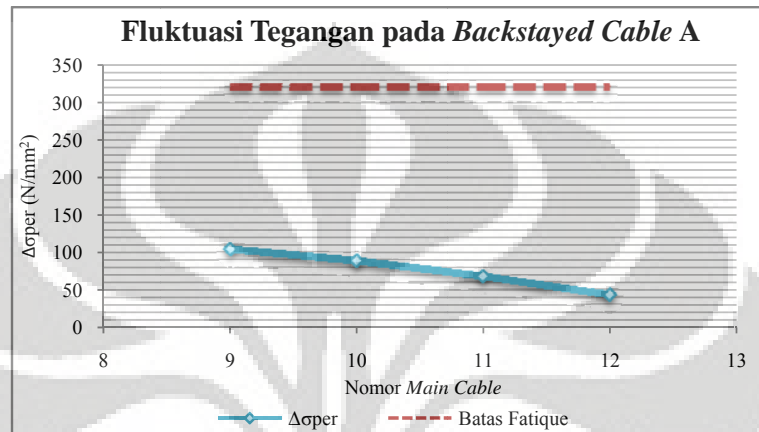
Setelah didapat tegangan maksimum dan minimum oleh tiap kabel belakang akibat masing-masing variasi pembebanan yang diberikan, diambil nilai-nilai yang terbesar dan terkecil akibat semua konfigurasi. Selanjutnya tegangan maksimum dan minimum tersebut dibandingkan dalam satu grafik seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Tegangan Maksimum dan Minimum pada *Main Cable A* dari Semua Variasi

Tegangan maksimum pada semua kabel terjadi akibat variasi 1 dengan respon terbesar di kabel 9 yaitu sebesar 399.255 N/mm². Sedangkan untuk tegangan minimum akibat beban *Dead Load* dan Kabel Prategang saja tanpa muatan “D” merupakan tegangan terkecil dengan nilai sebesar 156.5 N/mm²

pada kabel 12. Setelah didapatkan tegangan maksimum dan minimum pada *backstayed cable A*, kedua respon yang terjadi dicari besar fluktuasi pada masing-masing kabel tersebut. $\Delta\sigma_{\text{per}}$ tersebut kemudian dibandingkan terhadap batas *fatigue*.

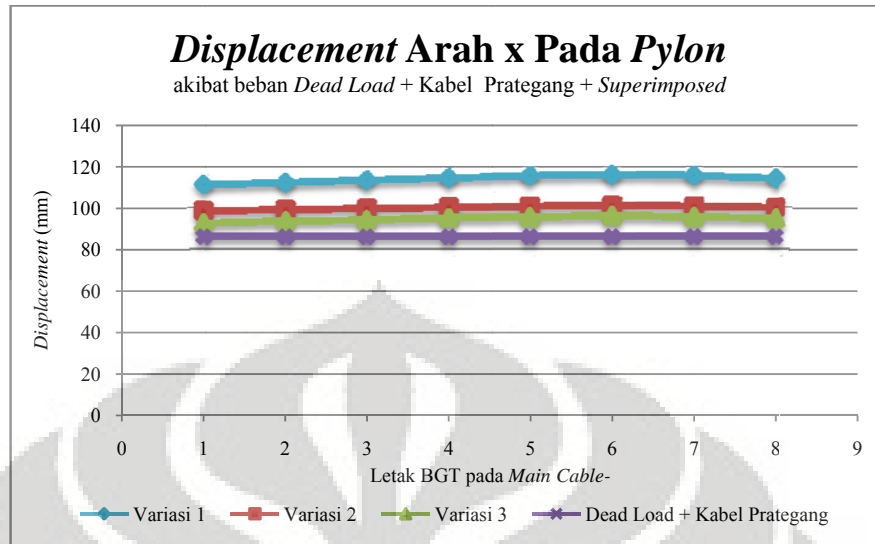


Gambar 4.13 Fluktuasi Tegangan Maksimum *Backstayed Cable A* akibat *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed*

Fluktuasi tegangan maksimum *backstayed cable A* berada di bawah batas *fatigue*, sehingga dapat disimpulkan bahwa kabel belakang cukup aman terhadap berbagai variasi pembebanan yang diberikan. Dan fluktuasi kabel belakang terbesar terjadi pada kabel 9 dengan nilai sebesar 104 N/mm², tetapi respon tersebut masih memenuhi batas aman terhadap *fatigue*.

4.2.3 Hasil dan Analisis Respon pada Pylon

Dengan perangkat lunak SAP2000 v11.0.0 pada kondisi tanpa beban hidup atau muatan “D” didapatkan *Displacement Pylon* arah x sebesar 85.911 mm. Dari ketiga variasi pembebanan yang dilakukan, displacement arah x terbesar terjadi akibat variasi pertama. Displacement yang terjadi pada puncak pylon cenderung tidak menunjukkan perbedaan yang besar akibat Beban Garis Terpusat berpindah-pindah pada setiap lokasi gantungan kabel, seperti yang terlihat pada gambar 4.14.

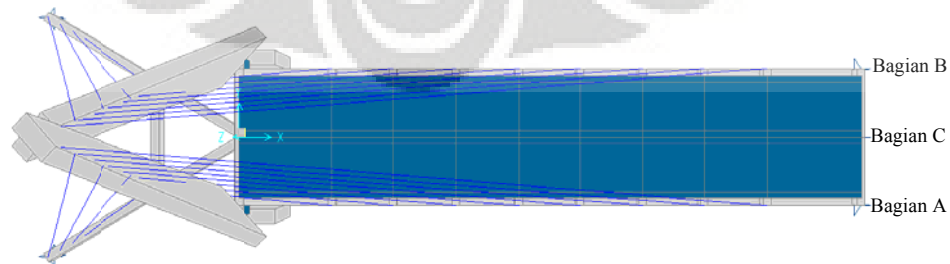


Gambar 4.14 *Displacement Arah x pada Pylon* akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed*

Displacement terbesar terjadi pada saat Beban Garis Terpusat berada pada lokasi gantungan kabel utama nomor 6 akibat variasi 1. Besar displacement arah x tersebut adalah 115.89 mm. Sedangkan displacement terkecil terjadi saat tidak diberikan beban hidup atau muatan “D” pada deck.

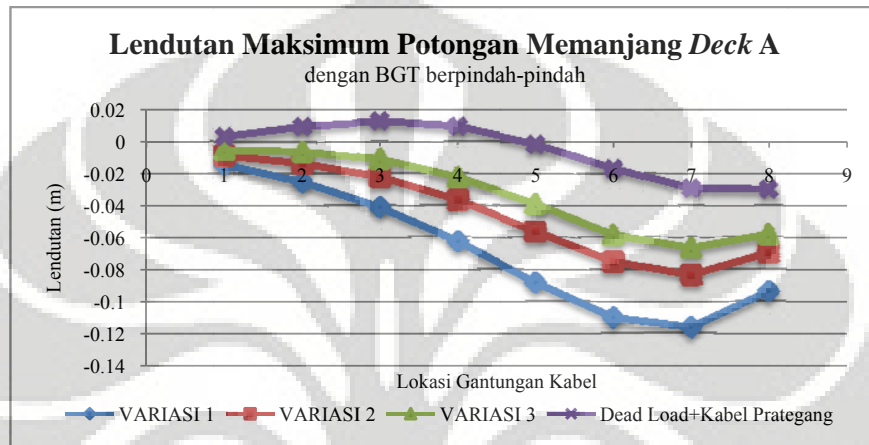
4.2.4 Hasil dan Analisis Respon Lendutan pada Deck

Dalam peraturan perancangan struktur beton untuk jembatan RSNI T-12-2004, lendutan maksimum pada *deck* yang boleh terjadi pada jembatan dengan struktur beton akibat beban rencana daya layan (*serviceability limit state*) adalah $L/250$. Pada penelitian ini panjang bentang memanjang jembatan adalah 50 meter, sehingga batas maksimum lendutan yang boleh terjadi pada *deck* adalah 0.2 m atau 200 mm.



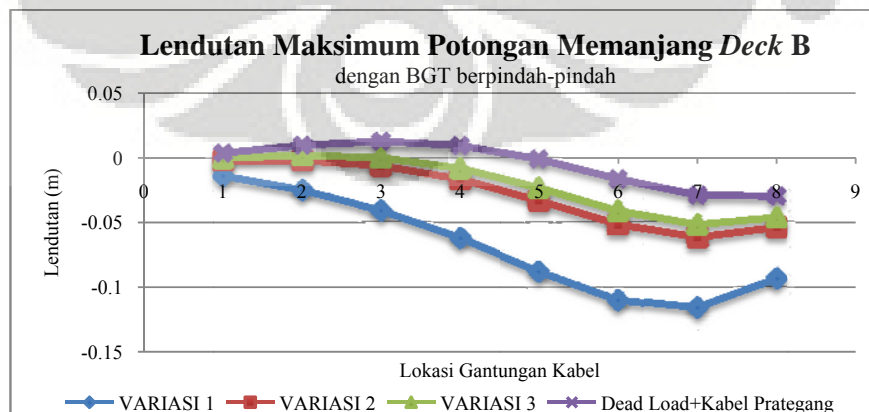
Gambar 4.15 Penamaan Bagian Deck yang Ditinjau

Dengan perangkat lunak SAP2000 v11.0.0 didapatkan besar lendutan yang terjadi pada *deck*. Untuk penamaan bagian *deck* yang ditinjau dapat dilihat pada gambar 4.15 di atas. Pada penelitian ini hanya lendutan maksimum akibat Beban Garis Terpusat (BGT) berpindah-pindah pada setiap variasi saja yang akan dibahas.



Gambar 4.16 Lendutan Maksimum Potongan Memanjang Deck A dengan BGT Berpindah-pindah

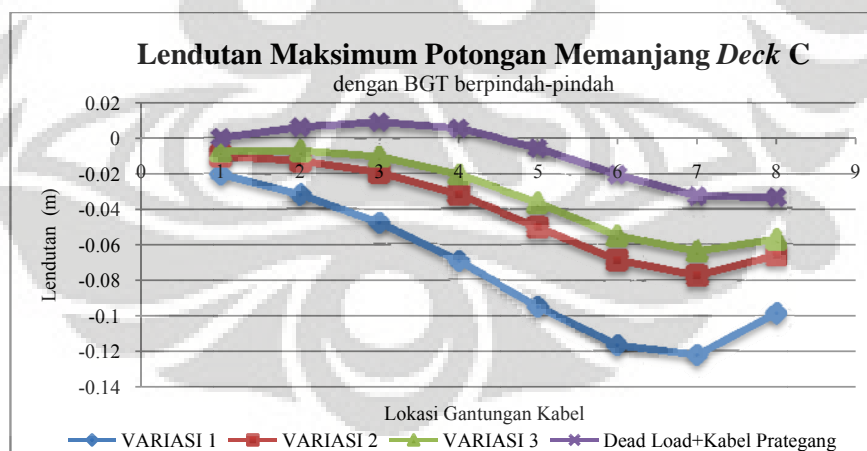
Lendutan maksimum di *deck* A pada potongan memanjang, seperti pada gambar 4.16, terjadi akibat pembebanan variasi 1. Titik yang mengalami lendutan terbesar adalah pada lokasi gantungan kabel nomor 7 sebesar 116.6 mm. Tetapi lendutan tersebut lebih kecil dari persyaratan lendutan maksimum sebesar 200 mm, sehingga kondisi ini tergolong aman karena memenuhi peraturan SNI dalam hal perencanaan lendutan.



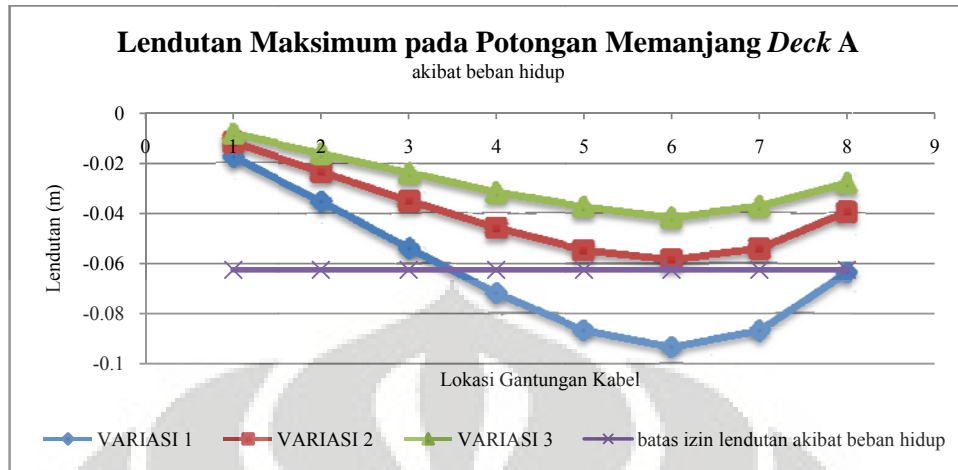
Gambar 4.17 Lendutan Maksimum Potongan Memanjang Deck B dengan BGT Berpindah-pindah

Lendutan maksimum pada potongan memanjang *deck* A dan *deck* B memiliki kecenderungan yang sama. Gambar 4.17 menunjukkan lendutan maksimum *deck* B. Pada variasi 1, besar lendutan yang terjadi sama dengan *deck* B. Tetapi pada variasi 2 dan 3, dibandingkan dengan lendutan di *deck* A, lendutan pada *deck* B lebih kecil. Hal ini terjadi diduga karena saat variasi 2 dan 3, pada jalur lokasi gantungan kabel bagian B tidak diberikan Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Sehingga hanya beban *dead load* dan kabel prategang yang menyumbangkan gaya hingga terjadi lendutan pada *deck* B, sedangkan beban hidup hanya berpengaruh kecil.

Deck C mengalami lendutan yang lebih besar dibandingkan bagian A dan B. Hal ini terjadi karena bagian C merupakan median jalan dan tidak ada kabel seperti pada bagian A dan B sebagai penahan beban. Sehingga pada bagian C terjadi momen yang paling besar dibandingkan bagian A dan B. Lendutan terbesar terjadi pada lokasi gantungan kabel nomor 7 dengan nilai sebesar 122.4 mm. Jika dibandingkan terhadap nilai lendutan maksimum yang diperbolehkan pada RSNI T-12-2004, lendutan pada *deck* C tergolong aman dan memenuhi persyaratan.



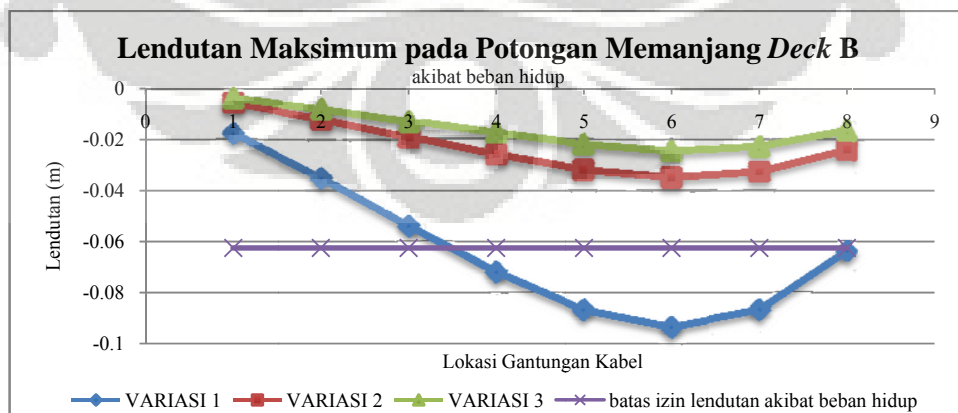
Gambar 4.18 Lendutan Maksimum Potongan Memanjang *Deck* C dengan BGT Berpindah-pindah



Gambar 4.19 Lendutan Maksimum pada Potongan Memanjang Deck A akibat Beban Hidup

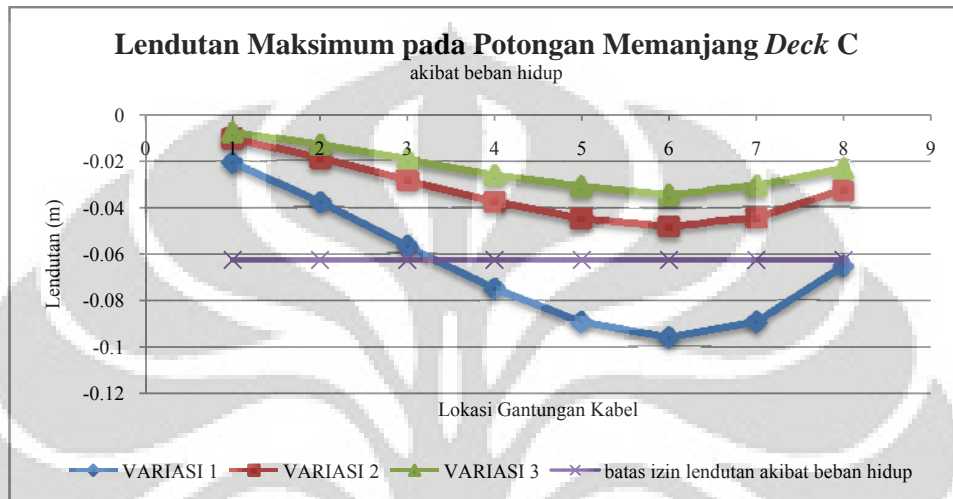
Untuk melihat pengaruh dari beban hidup terhadap lendutan, dapat dicari dengan cara lendutan masing-masing variasi akibat beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed dikurangi dengan lendutan akibat beban Dead Load + Kabel Prategang. Sehingga didapatkan grafik seperti gambar 4.19, 4.20. dan 4.21. Lendutan maksimum pada deck A terjadi akibat variasi 1 pada lokasi gantungan kabel nomor 6 dengan besar lendutan yaitu 93.6 mm. Selanjutnya dibandingkan dengan peraturan yang ada dalam RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton pada Jembatan, mengenai batas lendutan akibat beban hidup $L/800$ yaitu 0.0625 m atau 62.5 mm.

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa pada lokasi gantungan kabel nomor 4 hingga 8 tidak memenuhi peraturan yang ada atau melebihi batas lendutan yang ditentukan.



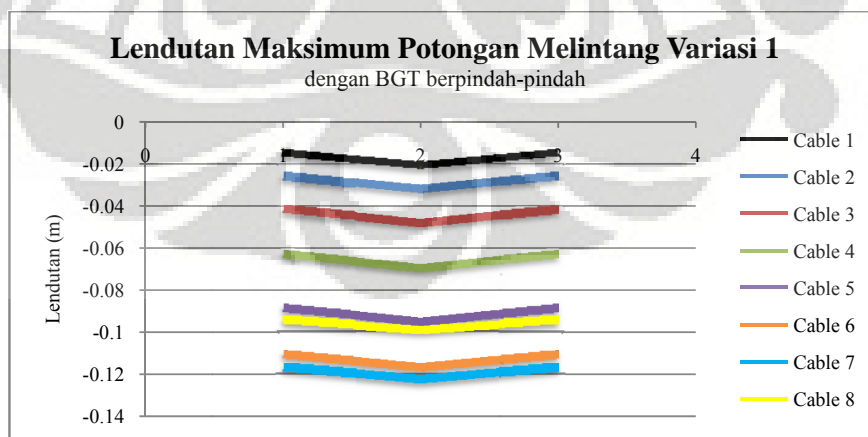
Gambar 4.20 Lendutan Maksimum pada Potongan Memanjang Deck B akibat Beban Hidup

Pada deck B, lendutan maksimum terjadi pada lokasi gantungan kabel nomor 6 dengan nilai yaitu 93.65 mm. Dan dibandingkan dengan peraturan batas lendutan, lokasi gantungan kabel nomor 4 hingga 8 tidak memenuhi batas persyaratan yaitu 62.5 mm.



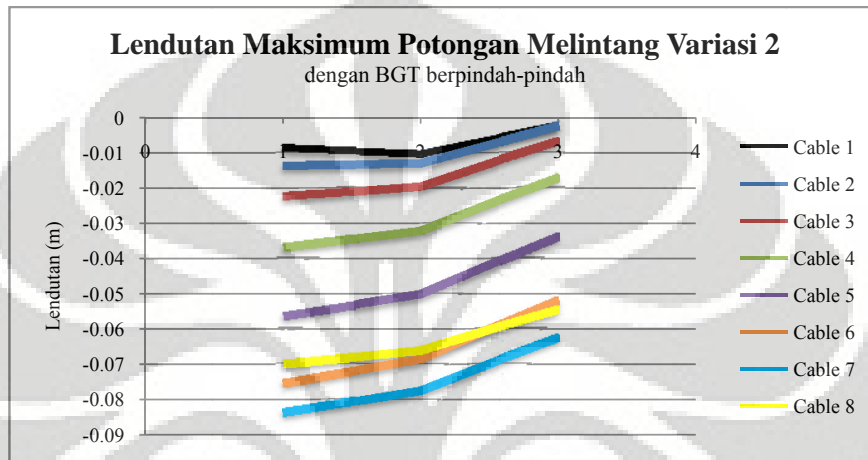
Gambar 4.21 Lendutan Maksimum pada Potongan Memanjang Deck C akibat Beban Hidup

Pada deck B, lendutan maksimum terjadi pada lokasi gantungan kabel nomor 6 dengan nilai yaitu 96.24 mm. Sama seperti pada deck A dan B lokasi gantungan kabel nomor 4 hingga 8 melebihi batas lendutan yang telah ditentukan pada peraturan.



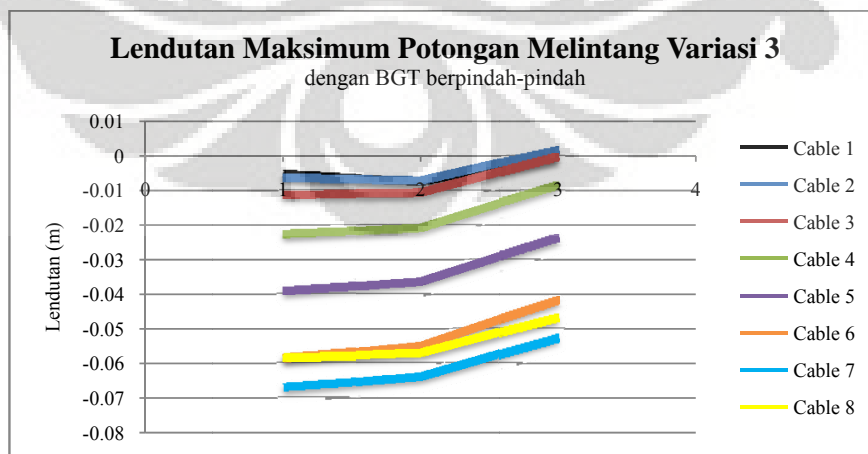
Gambar 4.22 Lendutan Maksimum Potongan Melintang Variasi 1 dengan BGT Berpindah-pindah

Gambar 4.22 menunjukkan lendutan maksimum dalam potongan melintang pada konfigurasi Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Lokasi gantungan kabel nomor satu memiliki lendutan yang terkecil yaitu 14.4 mm untuk *deck* A dan B, sedangkan pada *deck* C 20.7 mm. Lokasi gantungan kabel nomor tujuh memiliki lendutan terbesar yaitu 116.6 mm pada *deck* A dan B, sedangkan pada *deck* C 122.4 mm.



Gambar 4.23 Lendutan Maksimum Potongan Melintang Variasi 2 dengan BGT Berpindah-pindah

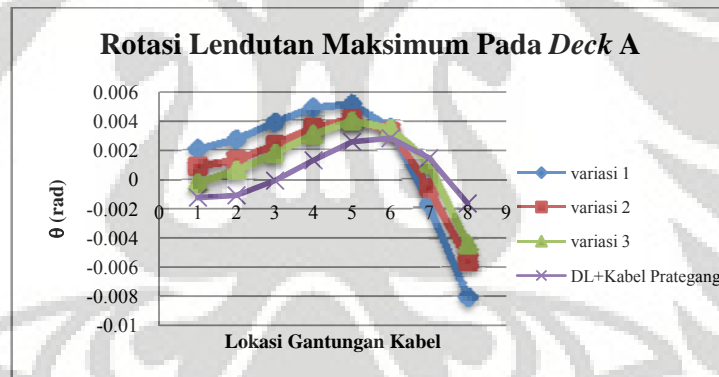
Gambar 4.23 menunjukkan lendutan maksimum dalam potongan melintang pada variasi 2. Lokasi gantungan kabel nomor satu memiliki lendutan yang terkecil yaitu 8.7 mm untuk *deck* A dan 2.35 mm pada *deck* B, sedangkan pada *deck* C 10.34 mm. Lokasi gantungan kabel nomor tujuh memiliki lendutan terbesar yaitu 83.9 mm pada *deck* A dan 62.3 mm pada *deck* B, sedangkan pada *deck* C 77.6 mm.



Gambar 4.24 Lendutan Maksimum Potongan Melintang Variasi 3 dengan BGT Berpindah-pindah

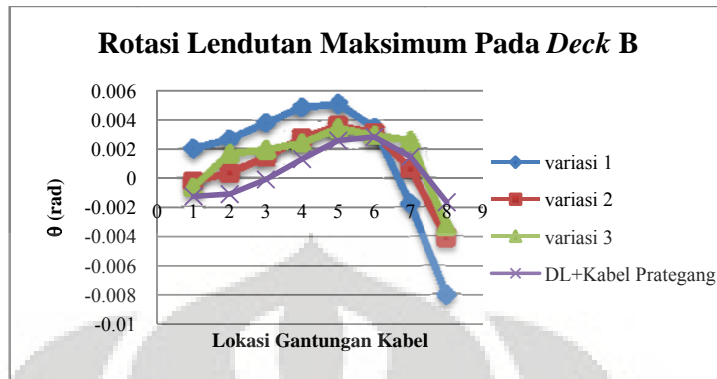
Gambar 4.24 menunjukkan lendutan maksimum dalam potongan melintang pada variasi 3. Dari ketiga variasi, yang menunjukkan lendutan terkecil adalah pada konfigurasi pembebanan Beban Terbagi Rata (BTR) terletak pada *deck* sesuai dengan Garis Pengaruh. Lokasi gantungan kabel nomor satu memiliki lendutan yang terkecil yaitu 5.2 mm untuk *deck* A dan 0.5 mm pada *deck* B, sedangkan pada *deck* C 7.6 mm. Lokasi gantungan kabel nomor tujuh memiliki lendutan terbesar yaitu 67 mm pada *deck* A dan 52.35 mm pada *deck* B, sedangkan pada *deck* C 63.8 mm.

Selanjutnya dicari besar rotasi pada masing-masing *deck* akibat semua variasi yang diberikan. Lalu dicari nilai maksimum dari setiap titik lokasi gantungan kabel untuk semua variasi akibat Beban Garis Terpusat (BGT) yang berpindah-pindah. Rotasi maksimum untuk setiap variasi pada masing-masing *deck* yang telah didapat, dibandingkan dengan rotasi pada masing-masing *deck* akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang.



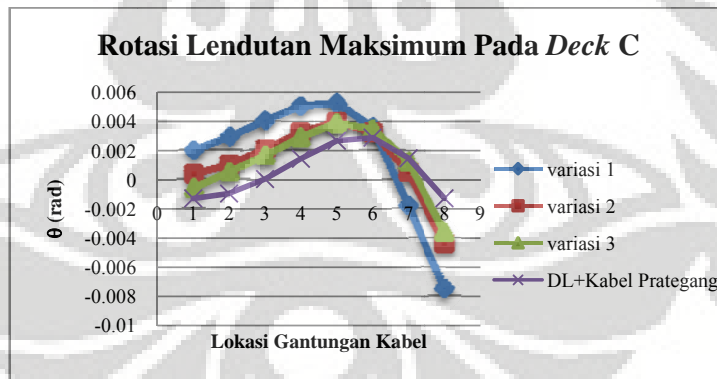
Gambar 4.25 Rotasi Lendutan Maksimum pada Deck A

Gambar 4.25, 4.26, dan 4.27 menunjukkan rotasi dalam radian pada *deck* jembatan akibat lendutan yang terjadi. Gambar 4.25 rotasi lendutan maksimum akibat semua variasi pada *deck* A. Lokasi gantungan kabel nomor 8 mengalami rotasi terbesar dengan nilai -0.008079 radian. Dan *deck* mengalami rotasi terkecil akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang pada lokasi gantungan kabel nomor 3 sebesar -0.000077 radian.



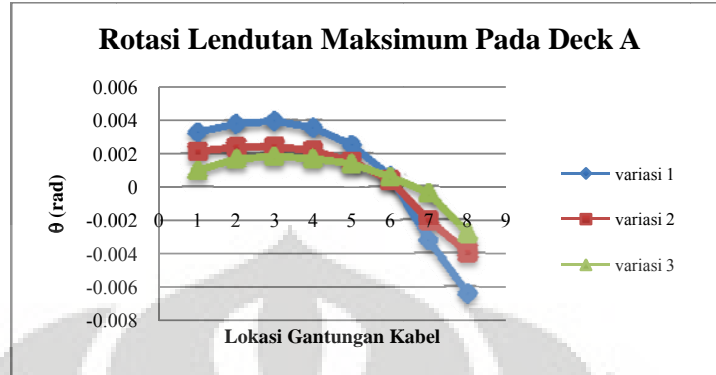
Gambar 4.26 Rotasi Lendutan Maksimum pada Deck B

Gambar 4.26 menunjukkan rotasi lendutan maksimum akibat semua variasi pada *deck B*. Rotasi maksimum *deck B* terjadi pada lokasi gantungan kabel nomor 8 sama seperti pada *deck A*. karena konfigurasi pembebanan pada variasi 1 adalah simetri. Sehingga perilaku, besar lendutan, dan besar rotasi yang terjadi pada *deck A* dan *deck B* adalah sama. Untuk rotasi terkecil yang terjadi pada *deck B*, sama seperti *deck A* yaitu pada lokasi gantungan kabel nomor 3 akibat *Dead Load* + Kabel Prategang.



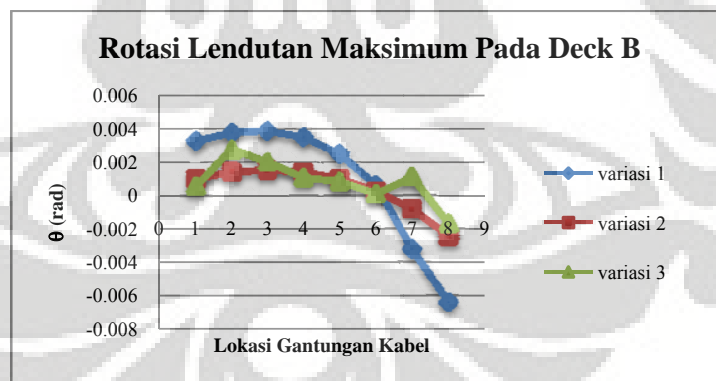
Gambar 4.27 Rotasi Lendutan Maksimum pada Deck C

Gambar 4.27 menunjukkan rotasi lendutan maksimum akibat semua variasi pada *deck C*. Pada *deck C* juga memperlihatkan perilaku yang sama seperti *deck A* dan *deck B*. Lokasi gantungan kabel nomor 8 juga mengalami rotasi terbesar dan rotasi terkecil dialami oleh lokasi gantungan kabel nomor 3 akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang.



Gambar 4.28 Rotasi Lendutan Maksimum Pada Deck A akibat Beban Hidup

Untuk melihat pengaruh dari beban hidup terhadap rotasi lendutan, dapat dicari dengan cara rotasi masing-masing variasi akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed* dikurangi dengan rotasi akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang. Seperti yang diperlihatkan oleh gambar 4.28 yaitu rotasi lendutan maksimum pada deck A akibat beban hidup. Rotasi yang terbesar pada deck A adalah di lokasi gantungan kabel nomor 8 yaitu sebesar -0.00808 radian.



Gambar 4.29 Rotasi Lendutan Maksimum Pada Deck B akibat Beban Hidup

Pada deck B, rotasi maksimum akibat beban hidup juga terjadi pada lokasi gantungan kabel nomor 8 saat variasi 1 dengan nilai sebesar -0.00644 radian. Untuk deck C tidak ditampilkan karena memiliki kecenderungan yang sama seperti deck A.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap Respon Jembatan *Cable-Stayed* Asimetris akibat Beban Lalu Lintas Asimetris yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Variasi yang diberikan pada penelitian ini adalah konfigurasi dari pembebanan muatan “D” yang terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Variasi satu adalah variasi pembebanan simetris dengan BTR penuh pada dua jalur dan BGT berpindah-pindah pada lokasi gantungan kabel. Variasi dua adalah variasi pembebanan asimetris dengan BTR setengah penuh dan BGT berpindah-pindah pada satu jalur lokasi gantungan kabel. Variasi tiga adalah variasi pembebanan anti simetris dengan BTR sesuai garis pengaruh dari *deck* dan BGT berpindah-pindah.
2. Jembatan *Cable-Stayed* asimetris pada penelitian ini aman terhadap *vortex* dan *flutter*. Karena perbandingan antara frekuensi torsi dan translasi cukup besar. Periode getar dominan berupa pergerakan translasi sedangkan pola getar ketiga adalah pergerakan rotasi. Penampang dari *deck* jembatan dinilai cukup dalam menahan gaya angin yang terjadi. Namun lebih baik lagi jika perbandingan antara frekuensi torsi dan translasi diperbesar menjadi 2.5 yaitu dengan menambah kekakuan *deck*. Untuk menghindari fenomena *vortex*, dapat dilakukan adalah membuat penampang *deck* yang *streamlined* dengan sudut yang tajam untuk mengurangi intensitas *vortex* dan memberikan deflektor pada sudut *deck*. Sedangkan untuk menghindari *flutter*, *deck* sebaiknya dibuat sangat kaku.
3. Tegangan maksimum pada *Main Cable* akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang + *Superimposed* terjadi pada variasi 1 dan pada *Main Cable* nomor 6. Setiap kabel untuk semua variasi pembebanan yang mengalami

tegangan maksimum pada saat Beban Garis Terpusat (BGT) berada di lokasi gantungan kabel tersebut. Sedangkan tegangan minimum terjadi akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang pada *Main Cable* nomor 1. Fluktuasi tegangan kabel utama terbesar terjadi pada kabel nomor 4 dan yang terkecil adalah kabel 8. Fluktuasi yang terjadi pada kabel tergolong cukup aman sehingga diperkirakan tidak terkena *fatigue* akibat variasi pembebanan yang diberikan. Konfigurasi pembebanan asimetris pada penelitian ini tidak menghasilkan nilai tegangan maksimum seperti yang diasumsikan sebelumnya. Yang didapatkan dari penelitian ini adalah konfigurasi pembebanan simetri penuh menghasilkan nilai tegangan maksimum pada kabel.

4. Tegangan maksimum pada *Backstayed Cable* terjadi akibat variasi 1 di kabel nomor 9. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada kabel nomor 12 akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang. Fluktuasi kabel terbesar terjadi pada kabel nomor 9 dan yang terkecil adalah kabel 12. Fluktuasi pada kabel cukup aman dari kondisi yang dapat menyebabkan *fatigue*.
5. *Displacement* pada *Pylon* akibat tiga variasi yang diberikan tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Namun *Pylon* menunjukkan perilaku yang cenderung sama akibat ketiga variasi. Nilai *displacement* terbesar ditunjukkan akibat variasi pertama. Dan *displacement* terkecil adalah akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang.
6. Lendutan pada deck ada dalam kondisi memenuhi persyaratan sehingga dapat dikatakan aman. Lendutan terbesar terjadi akibat variasi pertama pada lokasi gantungan kabel nomor 7 dan lendutan terkecil terjadi akibat beban *Dead Load* + Kabel Prategang.
7. Dari semua perilaku yang diperlihatkan oleh struktur jembatan Cable-Stayed Asimetris dapat disimpulkan bahwa struktur tersebut cukup stabil. Hal ini diduga karena *Pylon* yang digunakan adalah *A-frame* dan kabel menggantung dua bagian *deck*. Sehingga *deck* seakan-akan berada

diantara dua perletakan. Sebagaimana fungsi dari kabel yaitu menahan beban pada deck jembatan. Kondisi ini membuat variasi pembebanan yang menyebabkan jembatan mengalami saat kritis atau maksimum adalah variasi simetris penuh atau variasi 1.

7.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis melihat bahwa variasi pembebanan dan jenis beban yang diberikan terlalu sederhana dan tidak mempresentasikan kondisi Jembatan *Cable-Stayed* yang sebenarnya, sehingga tidak menghasilkan respon maksimal yang diharapkan. Penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penelitian respon Jembatan *Cable-Stayed* dengan tambahan beban angin. Karena pertimbangan perencanaan jembatan sangat ketat akibat beban angin dan diperkirakan dapat menghasilkan respon yang maksimum dan lebih mempresentasikan kondisi sebenarnya.
2. Menambah beban gempa horizontal dan vertikal pada Jembatan *Cable-Stayed*. Dan menggunakan peredam *elastomeric rubber* pada perletakannya agar dapat diketahui respon jembatan dengan peredam akibat beban gempa.
3. Menggunakan fasilitas *moving load* pada perangkat lunak untuk melihat respon dinamik yang terjadi pada jembatan.

DAFTAR REFERENSI

- Chatterjee, P.K., Datta, T.K., dan Surana, C.S. (1994). Vibration of Suspension Bridges Under Vehicular Movement. *Journal of Structural Engineering*, 3, 120.
- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of Structure*. New Jersey: Prentice Hall.
- Computer and Structures, Inc. (2007). *CSI Analysis Reference Manual for SAP2000[®], ETABS[®], and SAFE[™]*. Berkeley: Author.
- Lase, Yuskar., dan Indianto, Andi. (2005). Kajian Sambungan Antara Pilar dan Kabel. *Indeks Artikel JurTek*.
- Miyata, Toshio., Fujisawa, Nobumitsu., dan Yamada, Hitoshi. (Ed.). (1999). *Long-Span Bridges and Aerodynamics*. Tokyo: Springer.
- RSNI T-02-2005, *Pembebanan Untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.
- RSNI T-12-2004. *Perancangan Struktur Beton Untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Takena, Koei., Miki, Chitoshi., Shimokawa, Hirosuke., dan Sakamoto, Kenji. (1992). Fatigue Resistance of Large-Diameter Cable For Cable-Stayed Bridges. *Journal of Structural Engineering*, 3, 118.
- Taly, Narendra. (1998). *Design of Modern Highway Bridges*. Los Angeles : McGraw – Hill.
- Tonias, Dementrios E. *Bridge Engineering*. New York : McGraw – Hill, 1994.
- Ulstrup, Carl C. (Ed.). (May, 1988). *Cable-Stayed Bridges*. New York : American Society of Civil Engineers.
- Walther, Rene. (1999). *Cable Stayed Bridge Second Edition*. London : Thomas Telford.
- Wibawa, Irawan. (1996). *Influence of Cable-Systems in Statics and Dynamics of Cable-Stayed Bridge*. Paper presented as Thesis of Magister Degree Program, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

Lampiran A Pemeriksaan Ketahanan Jembatan Terhadap *Vortex* dan *Flutter*

1. Ketahanan Jembatan Terhadap *Vortex-Shedding*

- Frekuensi Getar Alami

$$f_B = 1.1542 \text{ Hz}$$

$$f_T = 2.3237 \text{ Hz}$$

- *Vortex-Shedding*

$$\begin{aligned} V &= \frac{f \cdot h}{s} \\ &= \frac{1.1542 \cdot 1}{0.2} \\ &= 5.771 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V \cdot B}{\nu} \\ &= \frac{5.771 \times 11}{0.15 \times 10^{-4}} \\ &= 4.23 \times 10^6 \quad (10^6 < Re < 10^7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_o &= \left(\rho \frac{V^2}{2} \right) \cdot C \cdot h \\ &= 1.2 \times \frac{5.771^2}{2} \times 0.4 \times 1 \\ &= 8.66 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Dengan nilai $\delta = 0.05$ maka,

$$\begin{aligned} \hat{v} &= \frac{\pi}{\delta} \times \frac{F_o}{2\pi \cdot f_B \cdot B} \\ &= \frac{\pi}{0.05} \times \frac{8.66}{2\pi \cdot 1.1542 \cdot 11} \\ &= 6.821 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\hat{v} = 4\pi^2 f^2 \hat{v} = 4\pi^2 \times 1.1542^2 \times (6.821 \cdot 10^{-3}) = 0.36 \text{ m/s}^2$$

2. Ketahanan Jembatan Terhadap *Flutter*

- Metode Klöppel

$$\mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2} = \frac{10.8 \cdot 10^3}{\pi \cdot 1.3 \cdot 5.5^2} = 87.42$$

$$\frac{r}{b} = \frac{3.9}{5.5} = 0.71$$

$$\delta = 0.05$$

$$\varepsilon = \frac{f_T}{f_B} = \frac{2.3237}{1.1542} = 2.0133$$

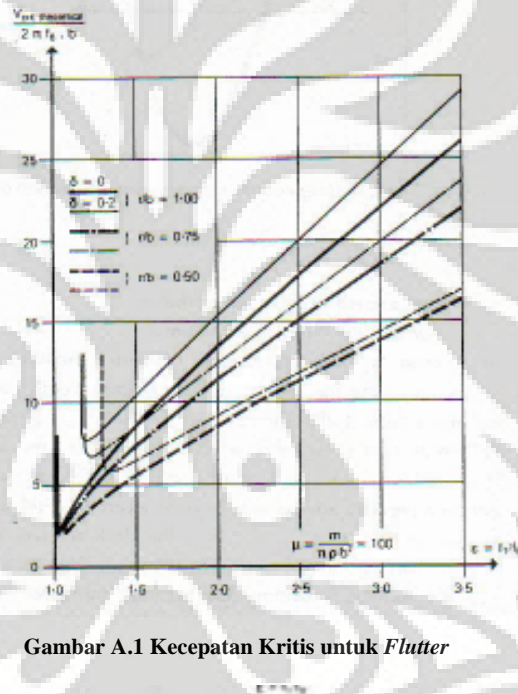
Dari grafik kecepatan kritis teoritik, didapatkan nilai konstanta sebesar 11.3, maka

$$V_{\text{kritis teori}} = 11.3 \times 2\pi \times 1.1542 \times 5.5 = 450.7151 \text{ m/s}$$

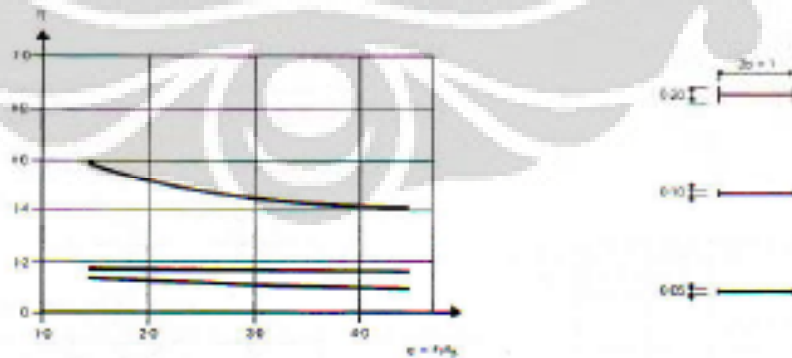
Dengan nilai $\eta = 0.2$ (didapatkan dari grafik koefisien koreksi)

$$V_{\text{kritis actual, } \alpha = 0^\circ} = 0.2 \times 450.7151 = 90.143 \text{ m/s} = 324.515 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{kritis actual, } \alpha = \pm 6^\circ} = 0.5 \times 324.515 = 162.258 \text{ km/h}$$



Gambar A.1 Kecepatan Kritis untuk Flutter



Gambar A.2 Koefisien Koreksi $\eta = V_{\text{kritis actual}} / V_{\text{kritis teori}}$

Lampiran B Respon Pada *Main Cable* Akibat Semua Variasi

Tabel B.1 Gaya Aksial Pada Kabel Saat Variasi 1 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam kN)

		Variasi 1							
		Letak BGT pada kabel							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Main Cable A	1	848.238	848.16	820.251	795.795	779.943	771.383	768.003	768.112
	2	1020.198	1057.947	1054.285	1029.321	1006.721	991.263	982.206	977.752
	3	1124.666	1155.949	1185.707	1181.889	1160.329	1139.837	1124.661	1114.381
	4	1331.293	1351.634	1382.929	1410.359	1406.371	1384.701	1362.547	1344.114
	5	1315.646	1325.806	1345.701	1373.232	1396.049	1391.255	1369.79	1346.065
	6	1222.37	1226.448	1237.373	1256.502	1281.218	1299.85	1291.896	1266.884
	7	856.619	856.298	859.852	869.199	884.888	903.907	916.02	903.741
	8	385.68	380.415	377.435	379.04	387.089	401.744	419.37	428.296
Main Cable B	1	848.238	848.16	820.251	795.795	779.943	771.383	768.003	768.112
	2	1020.198	1057.947	1054.285	1029.321	1006.721	991.263	982.206	977.752
	3	1124.666	1155.949	1185.707	1181.889	1160.329	1139.837	1124.661	1114.381
	4	1331.293	1351.634	1382.929	1410.359	1406.371	1384.701	1362.547	1344.114
	5	1315.646	1325.806	1345.701	1373.232	1396.049	1391.255	1369.79	1346.065
	6	1222.37	1226.448	1237.373	1256.502	1281.218	1299.85	1291.896	1266.884
	7	856.619	856.298	859.852	869.199	884.888	903.907	916.02	903.741
	8	385.68	380.415	377.435	379.04	387.089	401.744	419.37	428.296

Tabel B.2 Gaya Aksial Pada Kabel Saat Variasi 2 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam kN)

		Variasi 2							
		Letak BGT pada kabel							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Main Cable A	1	783.141	781.756	761.771	745.027	734.382	728.6	726.127	725.791
	2	939.431	966.546	963.139	945.476	930.048	919.612	913.403	910.122
	3	1038.163	1059.886	1081.034	1077.675	1062.454	1048.448	1038.171	1031.137
	4	1234.642	1248.503	1270.015	1289.3	1285.838	1270.563	1255.449	1243.016
	5	1228.406	1235.354	1248.812	1267.592	1283.524	1279.613	1264.59	1248.474
	6	1152.317	1155.33	1162.824	1175.741	1192.553	1205.551	1199.555	1182.125
	7	821.876	822.179	824.998	831.533	842.186	855.116	863.537	854.423
	8	404.236	401.87	401.021	403.032	409	418.987	430.637	436.038
Main Cable B	1	661.445	662.752	654.828	647.115	641.909	639.13	638.224	638.668
	2	821.146	831.78	831.525	824.224	817.052	812.031	809.182	808.009
	3	928.471	938.031	946.64	946.181	939.843	933.357	928.458	925.211
	4	1121.454	1127.934	1137.717	1145.862	1145.336	1138.941	1131.901	1125.9

5	1127.346	1130.558	1136.994	1145.746	1152.631	1151.748	1145.306	1137.697
6	1062.58	1063.645	1067.075	1073.287	1081.191	1086.826	1084.868	1077.285
7	754.208	753.584	754.318	757.131	762.167	768.255	771.947	768.782
8	347.854	344.954	342.823	342.417	344.498	349.167	355.142	358.668

Tabel B.3 Gaya Aksial Pada Kabel Saat Variasi 3 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam kN)

		Variasi 3							
		Letak BGT pada kabel							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Main Cable A	1	743.148	732.944	712.075	682.29	674.607	659.902	663.388	656.115
	2	867.991	903.801	901.179	873.659	855.555	838.261	832.848	825.351
	3	952.024	981.8	1011.622	1006.686	985.166	966.412	951.924	942.786
	4	1133.824	1155.313	1182.434	1211.941	1204.565	1185.387	1162.717	1147.677
	5	1134.181	1147.318	1162.064	1191.626	1210.212	1208.497	1183.547	1165.663
	6	1069.54	1079.447	1083.833	1107.366	1124.711	1148.747	1134.682	1116.015
	7	766.607	773.01	770.807	785.757	794.343	818.222	824.064	817.609
	8	378.943	382.953	374.475	384.475	385.352	406.347	415.194	430.255
Main Cable B	1	648.654	647.545	638.795	625.904	621.097	615.011	616.09	614.408
	2	792.431	806.636	806.958	795.726	786.948	779.019	776.206	773.552
	3	890.371	903.679	915.695	915.071	905.942	897.355	890.34	886.234
	4	1074.723	1084.933	1097.1	1109.872	1107.735	1100.001	1089.192	1082.135
	5	1083.222	1089.592	1096.405	1110.493	1118.137	1118.89	1107.783	1099.531
	6	1025.588	1029.926	1031.69	1043.122	1051.126	1061.954	1056.327	1048.601
	7	734.167	736.078	734.27	740.901	745.026	756.238	758.669	757.101
	8	352.968	351.576	346.034	348.056	348.297	357.313	362.989	370.599

Tabel B.4 Gaya Aksial Pada Kabel Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang (dalam kN)

Main Cable A	1	157.764
	2	278.338
	3	316.5289
	4	406.6679
	5	412.7405
	6	443.092
	7	321.1893
	8	163.5754
Main Cable B	1	157.764
	2	278.338
	3	316.5289
	4	406.6679
	5	412.7405
	6	443.092

	7	321.1893
	8	163.5754

Tabel B.5 Tegangan Pada Kabel Saat Variasi 1 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam N/mm²)

		Letak BGT pada kabel							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Main Cable A	1	224.4016	224.381	216.9976	210.5278	206.3341	204.0696	203.1754	203.2042
	2	383.5331	397.7244	396.3477	386.9628	378.4665	372.6553	369.2504	367.5759
	3	422.8068	434.5673	445.7545	444.3192	436.2139	428.5102	422.8049	418.9402
	4	528.2909	536.3627	548.7813	559.6663	558.0837	549.4845	540.6933	533.3786
	5	522.0817	526.1135	534.0083	544.9333	553.9877	552.0853	543.5675	534.1528
	6	545.7009	547.5214	552.3987	560.9384	571.9723	580.2902	576.7393	565.5732
	7	382.4192	382.2759	383.8625	388.0353	395.0393	403.5299	408.9375	403.4558
	8	172.1786	169.8281	168.4978	169.2143	172.8076	179.35	187.2188	191.2036
Main Cable B	1	224.4016	224.381	216.9976	210.5278	206.3341	204.0696	203.1754	203.2042
	2	383.5331	397.7244	396.3477	386.9628	378.4665	372.6553	369.2504	367.5759
	3	422.8068	434.5673	445.7545	444.3192	436.2139	428.5102	422.8049	418.9402
	4	528.2909	536.3627	548.7813	559.6663	558.0837	549.4845	540.6933	533.3786
	5	522.0817	526.1135	534.0083	544.9333	553.9877	552.0853	543.5675	534.1528
	6	545.7009	547.5214	552.3987	560.9384	571.9723	580.2902	576.7393	565.5732
	7	382.4192	382.2759	383.8625	388.0353	395.0393	403.5299	408.9375	403.4558
	8	172.1786	169.8281	168.4978	169.2143	172.8076	179.35	187.2188	191.2036

Tabel B.6 Tegangan Pada Kabel Saat Variasi 2 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam N/mm²)

		Letak BGT pada kabel							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Main Cable A	1	207.1802	206.8138	201.5267	197.0971	194.281	192.7513	192.0971	192.0082
	2	353.1695	363.3632	362.0823	355.4421	349.6421	345.7188	343.3846	342.1511
	3	390.2868	398.4534	406.4038	405.141	399.4188	394.1534	390.2898	387.6455
	4	489.9373	495.4377	503.9742	511.627	510.2532	504.1917	498.194	493.2603
	5	487.4627	490.2198	495.5603	503.0127	509.3349	507.7829	501.8214	495.4262
	6	514.4272	515.7723	519.1179	524.8844	532.3897	538.1924	535.5156	527.7344
	7	366.9089	367.0442	368.3027	371.2201	375.9759	381.7482	385.5076	381.4388
	8	180.4625	179.4063	179.0272	179.925	182.5893	187.0478	192.2487	194.6598
Main Cable B	1	174.9854	175.3312	173.2349	171.1944	169.8172	169.082	168.8423	168.9598
	2	308.7015	312.6992	312.6034	309.8586	307.1624	305.2748	304.2038	303.7628
	3	349.0492	352.6432	355.8797	355.7071	353.3244	350.8861	349.0444	347.8237
	4	445.0214	447.5929	451.475	454.7071	454.4984	451.9607	449.1671	446.7857
	5	447.3595	448.6341	451.1881	454.6611	457.3933	457.0429	454.4865	451.4671
	6	474.3661	474.8415	476.3728	479.146	482.6746	485.1902	484.3161	480.9308

7	336.7	336.4214	336.7491	338.0049	340.2531	342.971	344.6192	343.2063
8	155.292	153.9973	153.046	152.8647	153.7938	155.8781	158.5455	160.1196

Tabel B.7 Tegangan Pada Kabel Saat Variasi 3 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam N/mm²)

		Letak BGT pada kabel							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Main Cable A	1	196.6	193.9005	188.3796	180.5	178.4675	174.5772	175.4995	173.5754
	2	326.3124	339.7748	338.7891	328.4432	321.6372	315.1357	313.1008	310.2823
	3	357.9038	369.0977	380.309	378.4534	370.3632	363.3128	357.8662	354.4308
	4	449.9302	458.4575	469.2198	480.929	478.002	470.3917	461.3956	455.4274
	5	450.0718	455.2849	461.1365	472.8675	480.2429	479.5623	469.6615	462.5647
	6	477.4732	481.896	483.854	494.3598	502.1031	512.8335	506.5545	498.221
	7	342.2353	345.0938	344.1103	350.7844	354.6174	365.2777	367.8857	365.004
	8	169.171	170.9612	167.1763	171.6406	172.0321	181.4049	185.3545	192.0781
Main Cable B	1	171.6016	171.3082	168.9934	165.5831	164.3114	162.7013	162.9868	162.5418
	2	297.9064	303.2466	303.3677	299.1451	295.8451	292.8643	291.8068	290.809
	3	334.7259	339.7289	344.2462	344.0117	340.5797	337.3515	334.7143	333.1707
	4	426.4774	430.529	435.3571	440.4254	439.5774	436.5083	432.219	429.4187
	5	429.85	432.3778	435.0813	440.6718	443.7052	444.004	439.5964	436.3218
	6	457.8518	459.7884	460.5759	465.6795	469.2527	474.0866	471.5746	468.1254
	7	327.7531	328.6063	327.7991	330.7594	332.6009	337.6063	338.6915	337.9915
	8	157.575	156.9536	154.4795	155.3821	155.4897	159.5147	162.0487	165.446

Tabel B.8 Tegangan Maksimum Semua Variasi pada Main Cable dalam Satuan N/mm²

		Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Main Cable A	Cable 1	224.4016	207.1802	196.6
	Cable 2	397.7244	363.3632	339.7748
	Cable 3	445.7545	406.4038	380.309
	Cable 4	559.6663	511.627	480.929
	Cable 5	553.9877	509.3349	480.2429
	Cable 6	580.2902	538.1924	512.8335
	Cable 7	408.9375	385.5076	367.8857
	Cable 8	191.2036	194.6598	192.0781
Main Cable B	Cable 1	224.4016	175.3312	171.6016
	Cable 2	397.7244	312.6992	303.3677
	Cable 3	445.7545	355.8797	344.2462
	Cable 4	559.6663	454.7071	440.4254
	Cable 5	553.9877	457.3933	444.004
	Cable 6	580.2902	485.1902	474.0866
	Cable 7	408.9375	344.6192	338.6915
	Cable 8	191.2036	160.1196	165.446

Tabel B.9 Tegangan Minimum Semua Variasi pada *Main Cable* dalam Satuan N/mm²

		Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Main Cable A	Cable 1	203.1754	192.0082	173.5754
	Cable 2	367.5759	342.1511	310.2823
	Cable 3	418.9402	387.6455	354.4308
	Cable 4	528.2909	489.9373	449.9302
	Cable 5	522.0817	487.4627	450.0718
	Cable 6	545.7009	514.4272	477.4732
	Cable 7	382.2759	366.9089	342.2353
	Cable 8	168.4978	179.0272	167.1763
Main Cable B	Cable 1	203.1754	168.8423	162.5418
	Cable 2	367.5759	303.7628	290.809
	Cable 3	418.9402	347.8237	333.1707
	Cable 4	528.2909	445.0214	426.4774
	Cable 5	522.0817	447.3595	429.85
	Cable 6	545.7009	474.3661	457.8518
	Cable 7	382.2759	336.4214	327.7531
	Cable 8	168.4978	152.8647	154.4795

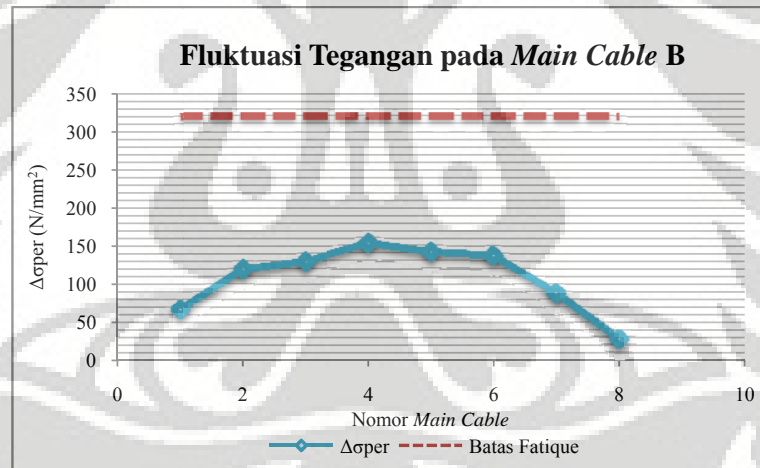
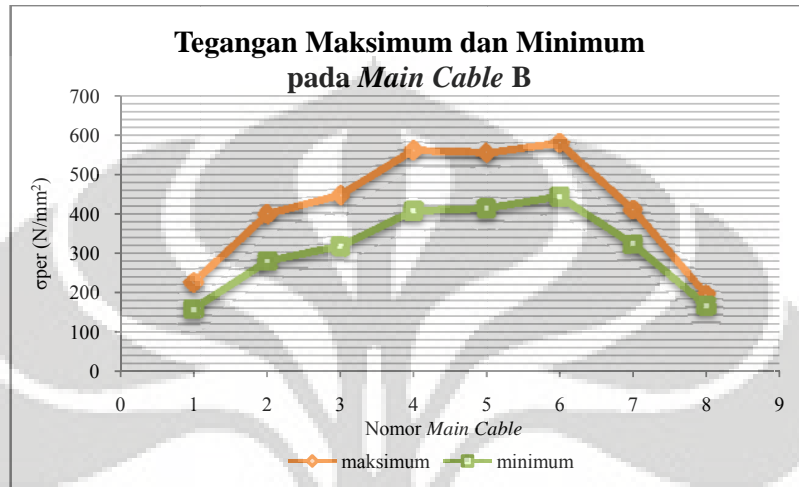
Tabel B.10 Tegangan Maksimum dan Minimum untuk Semua Variasi pada *Main Cable A* dalam Satuan N/mm²

	Maksimum	Minimum	$\Delta\sigma_{per}$
Cable 1	224.4016	157.764	66.63757
Cable 2	397.7244	278.338	119.3865
Cable 3	445.7545	316.5289	129.2256
Cable 4	559.6663	406.6679	152.9984
Cable 5	553.9877	412.7405	141.2472
Cable 6	580.2902	443.092	137.1982
Cable 7	408.9375	321.1893	87.74821
Cable 8	194.6598	163.5754	31.08438

Tabel B.11 Tegangan Maksimum dan Minimum untuk Semua Variasi pada *Main Cable B* dalam Satuan N/mm²

	Maksimum	Minimum	$\Delta\sigma_{per}$
Cable 1	224.4016	157.764	66.63757
Cable 2	397.7244	278.338	119.3865
Cable 3	445.7545	316.5289	129.2256
Cable 4	559.6663	406.6679	152.9984
Cable 5	553.9877	412.7405	141.2472

Cable 6	580.2902	443.092	137.1982
Cable 7	408.9375	321.1893	87.74821
Cable 8	191.2036	163.5754	27.62813



Lampiran C Respon Pada *Backstayed Cable* Akibat Semua Variasi

Tabel C. 1 Gaya Aksial Pada Kabel Saat Variasi 1 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam kN)

		Letak BGT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
backstayed A	9	965.407	975.077	985.508	995.379	1002.976	1006.122	1002.451	990.004
	10	847.419	855.794	864.782	873.149	879.381	881.691	878.242	867.583
	11	689.027	695.647	702.558	708.761	713.157	714.526	711.621	703.443
	12	487.923	492.066	496.106	499.565	501.916	502.501	500.592	495.582
backstayed B	9	965.407	975.077	985.508	995.379	1002.976	1006.122	1002.451	990.004
	10	847.419	855.794	864.782	873.149	879.381	881.691	878.242	867.583
	11	689.027	695.647	702.558	708.761	713.157	714.526	711.621	703.443
	12	487.923	492.066	496.106	499.565	501.916	502.501	500.592	495.582

Tabel C. 2 Gaya Aksial Pada Kabel Saat Variasi 2 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam kN)

		Letak BGT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
backstayed A	9	857.685	862.7	868.064	873.098	876.927	878.46	876.513	870.122
	10	758.578	763.1	767.861	772.204	775.348	776.394	774.445	768.809
	11	623.018	626.778	630.54	633.771	635.924	636.417	634.667	630.213
	12	448.514	451.026	453.27	455.03	456.089	456.163	454.924	452.096
backstayed B	9	851.811	856.468	861.534	866.372	870.138	871.752	870.027	863.972
	10	747.349	751.203	755.43	759.453	762.542	763.806	762.306	757.283
	11	608.295	611.156	614.305	617.277	619.52	620.395	619.241	615.517
	12	433.772	435.402	437.199	438.898	440.19	440.701	440.031	437.849

Tabel C. 3 Gaya Aksial Pada Kabel Saat Variasi 3 Akibat Beban Dead Load + Kabel Prategang + Superimposed (dalam kN)

		Letak BGT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
backstayed A	9	803.607	813.491	817.837	827.753	830.012	835.149	829.507	823.779
	10	711.2	719.888	723.932	732.378	734.217	738.159	733.028	727.806
	11	585.286	592.211	595.605	601.804	603	605.455	601.311	596.985
	12	423.926	428.236	430.452	433.724	434.322	435.29	432.747	429.738
backstayed B	9	800.417	809.712	813.746	823.296	825.566	830.717	825.476	820.111
	10	704.972	712.621	716.052	723.941	725.824	729.944	725.548	721.048
	11	576.886	582.502	585.131	590.901	592.295	595.203	591.947	588.548
	12	415.216	418.336	419.919	423.133	424.029	425.62	423.832	421.73

Tabel C. 4 Gaya Aksial Pada Kabel akibat Beban *Dead Load* + Kabel Prategang

Backstayed Cable A	9	295.2738
	10	261.3131
	11	215.1929
	12	156.4933
Backstayed Cable B	9	295.2738
	10	261.3131
	11	215.1929
	12	156.4933

Tabel C. 5 Tegangan Maksimum Semua Variasi pada *Backstayed Cable* dalam Satuan N/mm²

	Cable	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Backstayed Cable A	9	399.2548	348.5952	331.4083
	10	349.8774	308.0929	292.9202
	11	283.5421	252.5464	240.2599
	12	199.4052	181.0171	172.7341
Backstayed Cable B	9	399.2548	345.9333	329.6496
	10	349.8774	303.0976	289.6603
	11	283.5421	246.1885	236.1917
	12	199.4052	174.8813	168.8968

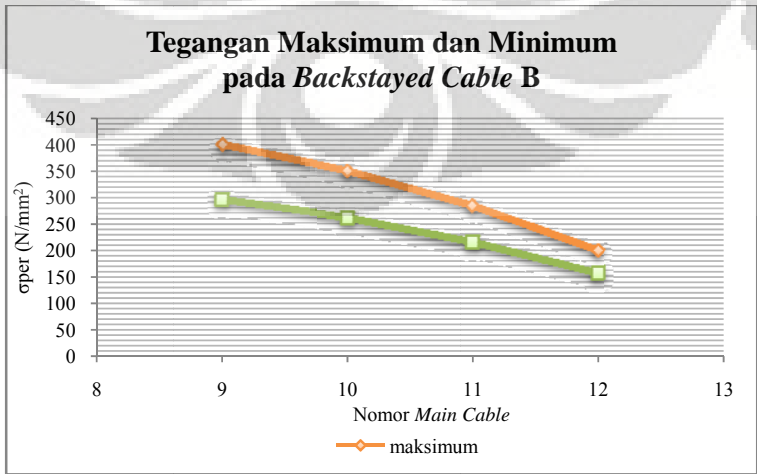
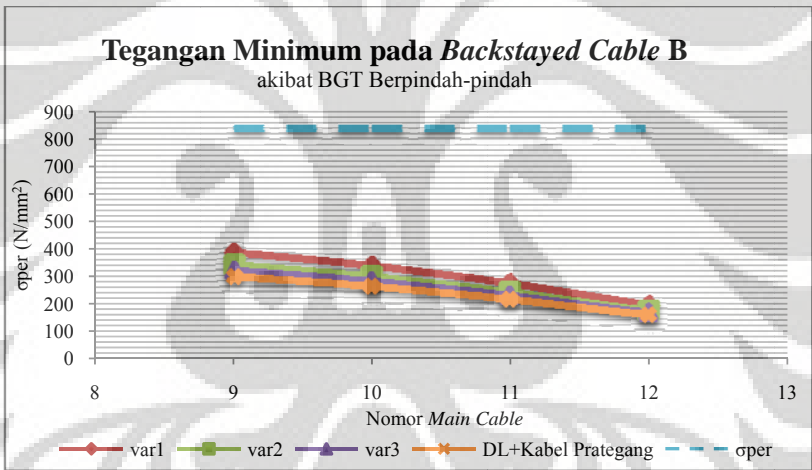
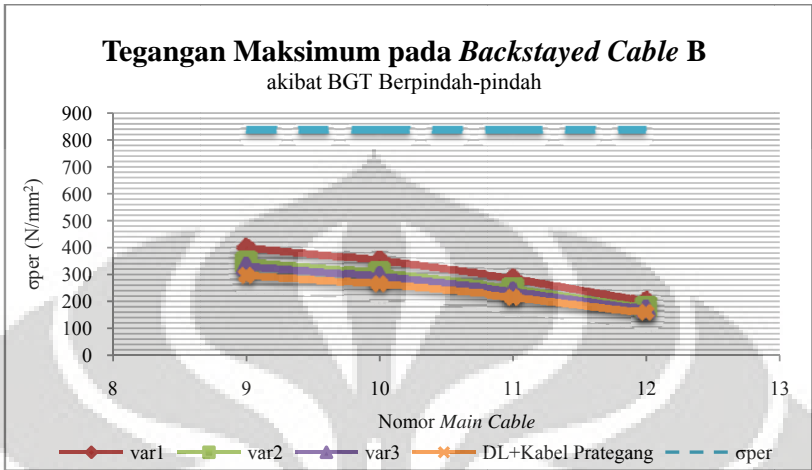
Tabel C. 6 Tegangan Minimum Semua Variasi pada *Backstayed Cable* dalam Satuan N/mm²

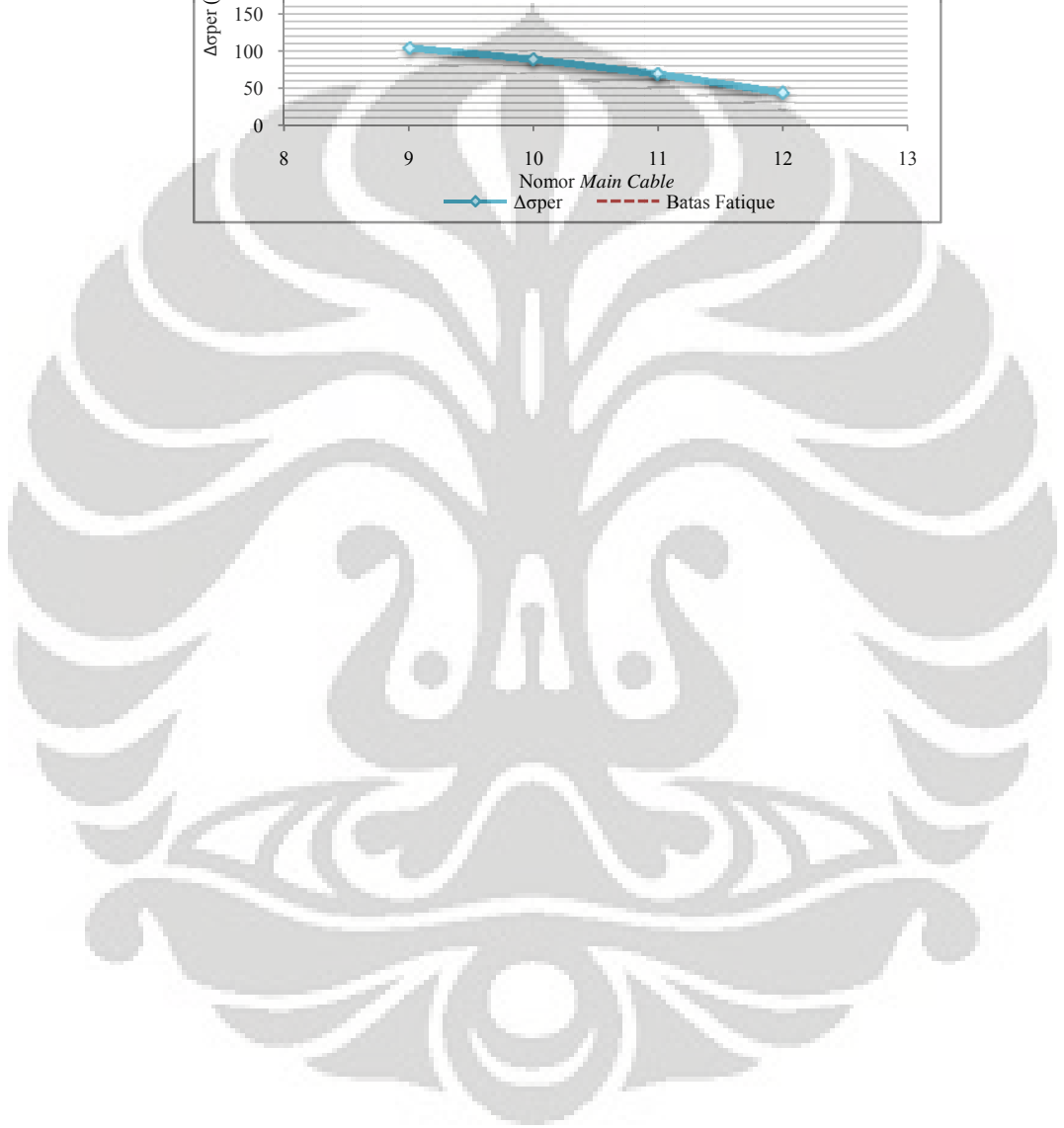
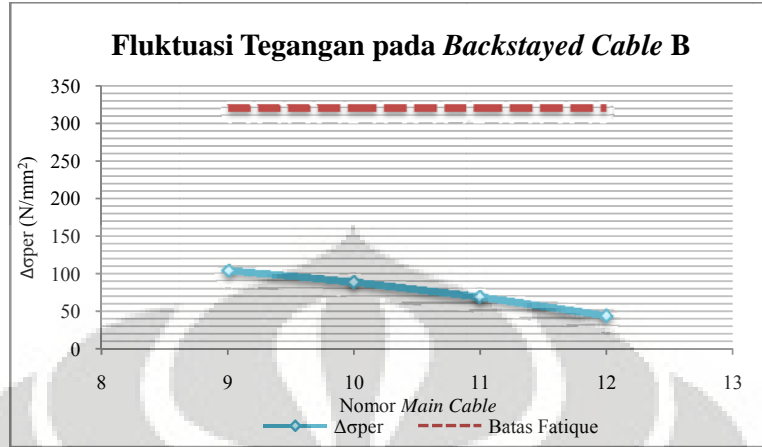
	Cable	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Backstayed Cable A	9	383.098	340.3512	318.8917
	10	336.2774	301.023	282.2222
	11	273.4234	247.2294	232.2563
	12	193.6202	177.9817	168.2246
Backstayed Cable B	9	383.098	338.0202	317.6258
	10	336.2774	296.5671	279.7508
	11	273.4234	241.3869	228.923
	12	193.6202	172.1317	164.7683

Tabel C. 7 Fluktuasi Tegangan *Backstayed Cable* Semua Variasi dalam Satuan N/mm²

	Cable	Maksimum	Minimum	$\Delta\sigma_{per}$
Backstayed Cable A	9	399.2548	295.2738	103.981
	10	349.8774	261.3131	88.56429
	11	283.5421	215.1929	68.34921
	12	199.4052	156.4933	42.9119
Backstayed Cable B	9	399.2548	295.2738	103.981
	10	349.8774	261.3131	88.56429

11	283.5421	215.1929	68.34921
12	199.4052	156.4933	42.9119





Lampiran D Respon Pada *Pylon* Akibat Semua Variasi

Tabel D Displacement Pada Puncak Pylon akibat Semua Variasi

	Letak BGT							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Variasi 1	111.171	112.287	113.478	114.609	115.495	115.885	115.494	114.077
Variasi 2	98.541	99.099	99.694	100.26	100.703	100.898	100.702	99.994
Variasi 3	92.495	93.623	94.075	95.216	95.46	96.095	95.467	94.864



Lampiran E Respon Pada *Deck* Akibat Semua Variasi

Tabel E. 1 Lendutan Pada *Deck* A Akibat Variasi 1

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.01427	-0.014443	-0.013518	-0.012721	-0.01221	-0.01188	-0.0116	-0.011245
2	-0.02237	-0.025516	-0.025561	-0.024254	-0.02301	-0.02203	-0.02116	-0.020201
3	-0.03357	-0.037721	-0.041365	-0.041374	-0.03968	-0.0378	-0.03596	-0.033986
4	-0.05027	-0.053924	-0.058903	-0.06288	-0.0627	-0.06032	-0.0573	-0.053898
5	-0.07142	-0.07435	-0.078888	-0.084402	-0.08839	-0.08753	-0.08376	-0.078715
6	-0.09068	-0.092965	-0.096612	-0.10163	-0.10716	-0.11042	-0.10796	-0.101756
7	-0.09763	-0.099325	-0.102005	-0.105847	-0.11063	-0.11522	-0.11664	-0.111472
8	-0.0799	-0.08098	-0.082648	-0.08506	-0.0882	-0.09163	-0.09409	-0.092724

Tabel E. 2 Lendutan Pada *Deck* B Akibat Variasi 1

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.01427	-0.014443	-0.013518	-0.012721	-0.01221	-0.01188	-0.0116	-0.011245
2	-0.02237	-0.025516	-0.025561	-0.024254	-0.02301	-0.02203	-0.02116	-0.020201
3	-0.03357	-0.037721	-0.041365	-0.041374	-0.03968	-0.0378	-0.03596	-0.033986
4	-0.05027	-0.053924	-0.058903	-0.06288	-0.0627	-0.06032	-0.0573	-0.053898
5	-0.07142	-0.07435	-0.078888	-0.084402	-0.08839	-0.08753	-0.08376	-0.078715
6	-0.09068	-0.092965	-0.096612	-0.10163	-0.10716	-0.11042	-0.10796	-0.101756
7	-0.09763	-0.099325	-0.102005	-0.105847	-0.11063	-0.11522	-0.11664	-0.111472
8	-0.0799	-0.08098	-0.082648	-0.08506	-0.0882	-0.09163	-0.09409	-0.092724

Tabel E. 3 Lendutan Pada *Deck* C Akibat Variasi 1

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.02068	-0.019783	-0.018628	-0.017775	-0.01723	-0.01689	-0.0166	-0.016244
2	-0.02786	-0.032077	-0.031086	-0.029563	-0.02828	-0.02727	-0.02639	-0.025415
3	-0.03897	-0.043341	-0.04804	-0.047015	-0.04511	-0.04319	-0.04133	-0.039347
4	-0.05574	-0.059436	-0.064627	-0.069652	-0.06844	-0.06585	-0.0628	-0.059379
5	-0.07674	-0.079686	-0.084255	-0.08997	-0.095	-0.09311	-0.08914	-0.084058
6	-0.09571	-0.09799	-0.101647	-0.106687	-0.11241	-0.1167	-0.11321	-0.106812
7	-0.10212	-0.103807	-0.106487	-0.110332	-0.11513	-0.1199	-0.12236	-0.116166
8	-0.08444	-0.085519	-0.087184	-0.089594	-0.09274	-0.09619	-0.09885	-0.098571

Tabel E. 4 Lendutan Pada Deck A Akibat Variasi 2

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.00867	-0.008687	-0.007976	-0.007385	-0.00701	-0.00676	-0.00657	-0.00635
2	-0.01147	-0.013659	-0.013539	-0.012523	-0.01161	-0.01091	-0.01032	-0.009732
3	-0.01716	-0.01996	-0.022417	-0.022213	-0.0209	-0.01957	-0.01834	-0.01712
4	-0.02853	-0.030906	-0.034185	-0.036802	-0.03644	-0.03469	-0.03267	-0.030539
5	-0.04542	-0.04726	-0.050154	-0.053732	-0.05634	-0.05556	-0.05298	-0.049773
6	-0.06282	-0.064204	-0.066463	-0.069632	-0.07321	-0.07538	-0.07366	-0.069648
7	-0.07172	-0.07272	-0.074338	-0.076709	-0.07974	-0.08277	-0.08385	-0.080496
8	-0.0609	-0.061522	-0.06251	-0.063971	-0.06593	-0.06815	-0.06989	-0.069243

Tabel E. 5 Lendutan Pada Deck B Akibat Variasi 2

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.0022	-0.002354	-0.00214	-0.001934	-0.0018	-0.00172	-0.00163	-0.001493
2	-0.00123	-0.002186	-0.002352	-0.002061	-0.00174	-0.00146	-0.00117	-0.000798
3	-0.00374	-0.005095	-0.006282	-0.006495	-0.00611	-0.00557	-0.00495	-0.004201
4	-0.01244	-0.013711	-0.015411	-0.016771	-0.01695	-0.01632	-0.01532	-0.014052
5	-0.02754	-0.028623	-0.030267	-0.032204	-0.03359	-0.03351	-0.03232	-0.030475
6	-0.04464	-0.045529	-0.046917	-0.048766	-0.05071	-0.0518	-0.05107	-0.048876
7	-0.05538	-0.056072	-0.057133	-0.058604	-0.06036	-0.06192	-0.06226	-0.060443
8	-0.04916	-0.049612	-0.050293	-0.051243	-0.05243	-0.05363	-0.05436	-0.053636

Tabel E. 6 Lendutan Pada Deck C Akibat Variasi 2

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.01034	-0.009886	-0.009309	-0.008882	-0.00861	-0.00844	-0.00829	-0.008117
2	-0.01091	-0.013016	-0.012521	-0.01176	-0.01112	-0.01061	-0.01017	-0.009686
3	-0.01504	-0.017226	-0.019576	-0.019063	-0.01811	-0.01715	-0.01622	-0.015229
4	-0.02518	-0.027028	-0.029624	-0.032136	-0.03153	-0.03024	-0.02871	-0.027
5	-0.04108	-0.04255	-0.044834	-0.047692	-0.05021	-0.04926	-0.04728	-0.044736
6	-0.05808	-0.059225	-0.061053	-0.063574	-0.06643	-0.06858	-0.06684	-0.063636
7	-0.06743	-0.068277	-0.069618	-0.07154	-0.07394	-0.07633	-0.07755	-0.074457
8	-0.0589	-0.059438	-0.06027	-0.061475	-0.06305	-0.06477	-0.0661	-0.065964

Tabel E. 7 Lendutan Pada Deck A Akibat Variasi 3

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8

1	-0.0052	-0.004916	-0.004184	-0.003119	-0.00286	-0.00227	-0.00226	-0.00171
2	-0.00333	-0.006349	-0.006178	-0.004712	-0.00351	-0.0025	-0.00176	-0.000902
3	-0.00389	-0.007973	-0.011196	-0.011077	-0.00904	-0.00743	-0.00553	-0.004094
4	-0.01056	-0.014385	-0.018342	-0.022574	-0.02145	-0.0196	-0.01626	-0.013916
5	-0.0239	-0.027382	-0.030383	-0.036278	-0.03897	-0.03879	-0.03428	-0.030857
6	-0.03978	-0.043091	-0.044763	-0.050524	-0.05405	-0.05853	-0.05468	-0.050584
7	-0.05022	-0.053398	-0.05379	-0.058852	-0.0612	-0.0672	-0.06696	-0.064111
8	-0.04495	-0.047664	-0.047143	-0.05101	-0.05182	-0.05675	-0.0573	-0.058374

Tabel E. 8 Lendutan Pada Deck B Akibat Variasi 3

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.00034	-0.000493	-0.000224	0.00009	0.000237	0.000382	0.000471	0.000689
2	0.003221	0.001795	0.001672	0.002002	0.002525	0.002828	0.003298	0.003725
3	0.00374	0.001636	0.000211	-0.000293	0.000489	0.000988	0.002069	0.002853
4	-0.002	-0.004186	-0.006092	-0.008433	-0.00821	-0.00778	-0.00597	-0.004676
5	-0.01473	-0.016896	-0.01847	-0.021822	-0.02308	-0.02363	-0.0213	-0.019459
6	-0.0307	-0.032847	-0.033815	-0.037284	-0.03904	-0.04151	-0.03955	-0.037463
7	-0.04225	-0.044312	-0.044647	-0.047777	-0.04907	-0.05235	-0.05175	-0.050344
8	-0.0394	-0.041084	-0.040948	-0.043313	-0.04387	-0.0466	-0.04655	-0.046669

Tabel E. 9 Lendutan Pada Deck C Akibat Variasi 3

Kabel	Letak BGT pada Lokasi Gantungan Kabel nomor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.0076	-0.006657	-0.006125	-0.005283	-0.00517	-0.00468	-0.00474	-0.004242
2	-0.00426	-0.007244	-0.006481	-0.005441	-0.00456	-0.00388	-0.00327	-0.002611
3	-0.00428	-0.007513	-0.010595	-0.010043	-0.0085	-0.00742	-0.00592	-0.004799
4	-0.0106	-0.013634	-0.016696	-0.020737	-0.01932	-0.01805	-0.01546	-0.013623
5	-0.02356	-0.026393	-0.028699	-0.03345	-0.03617	-0.03562	-0.03207	-0.029417
6	-0.03926	-0.041998	-0.043321	-0.047954	-0.05071	-0.05493	-0.05128	-0.048073
7	-0.04982	-0.052436	-0.052797	-0.056898	-0.05873	-0.06348	-0.0638	-0.060941
8	-0.04564	-0.047971	-0.047507	-0.050755	-0.05131	-0.05529	-0.05553	-0.057032

Tabel E. 10 Lendutan Maksimum Pada Deck Akibat Variasi 1

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
Cable 1	-0.01444	-0.02068	-0.01444
Cable 2	-0.02556	-0.03208	-0.02556
Cable 3	-0.04137	-0.04804	-0.04137
Cable 4	-0.06288	-0.06965	-0.06288
Cable 5	-0.08839	-0.095	-0.08839

Cable 6	-0.11042	-0.1167	-0.11042
Cable 7	-0.11664	-0.12236	-0.11664
Cable 8	-0.09409	-0.09885	-0.09409

Tabel E. 11 Lendutan Maksimum Pada Deck Akibat Variasi 2

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
Cable 1	-0.00869	-0.01034	-0.00235
Cable 2	-0.01366	-0.01302	-0.00235
Cable 3	-0.02242	-0.01958	-0.0065
Cable 4	-0.0368	-0.03214	-0.01695
Cable 5	-0.05634	-0.05021	-0.03359
Cable 6	-0.07538	-0.06858	-0.0518
Cable 7	-0.08385	-0.07755	-0.06226
Cable 8	-0.06989	-0.0661	-0.05436

Tabel E. 12 Lendutan Maksimum Pada Deck Akibat Variasi 3

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
Cable 1	-0.0052	-0.0076	-0.00049
Cable 2	-0.00635	-0.00724	0.001672
Cable 3	-0.0112	-0.0106	-0.00029
Cable 4	-0.02257	-0.02074	-0.00843
Cable 5	-0.03897	-0.03617	-0.02363
Cable 6	-0.05853	-0.05493	-0.04151
Cable 7	-0.06696	-0.0638	-0.05235
Cable 8	-0.05837	-0.05703	-0.04667

Tabel E. 13 Lendutan Maksimum Pada Deck Akibat Beban *Dead Load* + Kabel Prategang

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
Cable 1	0.003402	0.00001	0.003402
Cable 2	0.00967	0.006044	0.00967
Cable 3	0.012666	0.008889	0.012666
Cable 4	0.009307	0.005379	0.009307
Cable 5	-0.00153	-0.00541	-0.00153
Cable 6	-0.01677	-0.02046	-0.01677
Cable 7	-0.02947	-0.03275	-0.02947
Cable 8	-0.03015	-0.03336	-0.03015

Tabel E. 14 Lendutan Maksimum Pada Deck Variasi 1 Akibat Beban Hidup

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
--	----------	----------	----------

Cable 1	-0.01785	-0.02069	-0.01785
Cable 2	-0.03523	-0.03812	-0.03523
Cable 3	-0.05404	-0.05693	-0.05404
Cable 4	-0.07219	-0.07503	-0.07219
Cable 5	-0.08686	-0.08958	-0.08686
Cable 6	-0.09365	-0.09624	-0.09365
Cable 7	-0.08718	-0.08961	-0.08718
Cable 8	-0.06393	-0.06549	-0.06393

Tabel E. 15 Lendutan Maksimum Pada Deck Variasi 2 Akibat Beban Hidup

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
Cable 1	-0.01209	-0.01035	-0.00576
Cable 2	-0.02333	-0.01906	-0.01202
Cable 3	-0.03508	-0.02847	-0.01916
Cable 4	-0.04611	-0.03752	-0.02626
Cable 5	-0.0548	-0.04479	-0.03206
Cable 6	-0.05861	-0.04812	-0.03504
Cable 7	-0.05438	-0.04481	-0.03279
Cable 8	-0.03973	-0.03275	-0.0242

Tabel E. 16 Lendutan Maksimum Pada Deck Variasi 3 Akibat Beban Hidup

	Bagian A	Bagian C	Bagian B
Cable 1	-0.00861	-0.00761	-0.0039
Cable 2	-0.01602	-0.01329	-0.008
Cable 3	-0.02386	-0.01948	-0.01296
Cable 4	-0.03188	-0.02612	-0.01774
Cable 5	-0.03743	-0.03075	-0.0221
Cable 6	-0.04176	-0.03447	-0.02474
Cable 7	-0.03749	-0.03105	-0.02288
Cable 8	-0.02822	-0.02368	-0.01652

