



TUGAS AKHIR — RC18-4803

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG
1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN *A-TOWER* TIPE *SEMI-
FAN*

MUHAMAD BAGUS
NRP. 0311154000098

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran., MS

Dosen Pembimbing II
Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph. D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR — RC18-4803

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH
IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN
SISTEM *CABLE-STAYED BRIDGE* DENGAN *A-TOWER*
TIPE *SEMI-FAN***

MUHAMAD BAGUS
NRP. 0311154000098

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS

Dosen Pembimbing II
Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph. D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT — RC18-4803

**DESIGN MODIFICATION OF LEMAH IRENG 1 BRIDGE
ON SEMARANG-SOLO TOLL USING *CABLE-STAYED*
BRIDGE SYSTEM WITH *A-TOWER SEMI-FAN* TYPE**

MUHAMAD BAGUS
NRP. 0311154000098

Academic Supervisor I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS

Academic Supervisor II
Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph. D

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Environment and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM *CABLE-STAYED*
BRIDGE DENGAN *A-TOWER* TIPE *SEMI-FAN*.**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHAMAD BAGUS
NRP. 0311154000098

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M. M.S. (.....)
2. Bambang Piscesa S.T., M.T., Ph. D. (.....)

**SURABAYA
JULI 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM *CABLE-STAYED BRIDGE* DENGAN *A-TOWER* TIPE *SEMI-FAN*.

Nama Mahasiswa : **Muhamad Bagus**
NRP : **0311154000098**
Departemen : **Teknik Sipil FTSLK-ITS**
Dosen : **Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo**
: **Masiran, M.S.**
: **Bambang Piscesa, ST., MT., Ph. D**

Abstrak

Jembatan cable-stayed merupakan salah satu jenis dari jembatan bentang panjang yaitu jembatan dengan bentang lebih dari 100 m. Jembatan jenis ini sudah banyak dibangun di seluruh penjuru dunia karena mampu menopang bentang yang panjang dan proses pembangunannya relatif cepat. Struktur cable-stayed terdiri atas gelagar utama yang berfungsi sebagai lantai kendaraan, kabel yang berfungsi untuk menopang gelagar utama dan menyalurkan beban dari gelagar utama ke pylon, dan pylon sebagai penahan beban dari kabel.

Pada tugas akhir ini membahas mengenai modifikasi Jembatan Lemah Ireng 1 di Tol Semarang-Solo yang memiliki bentang 879 m. Konfigurasi kabel jembatan menggunakan tipe semi-fan dengan posisi pylon two inclined planes system. Untuk lantai kendaraan didesain agar tahan terhadap efek aerodinamis.

Adapun hasil dari perencanaan ini, digunakan orthotropic steel deck dengan tebal plat deck 19 mm, lebar plat deck 600 mm, tinggi web ribs 290 mm, tebal web ribs 8 mm, lebar flange ribs 300 mm, tebal flange ribs 8 mm kemudian stay cable tersusun atas 7-wire strand yang mempunyai bermacam-macam variasi diameter dan pylon yang didesain menggunakan material beton

bertulang dengan dimensi 6000 mm x 12000 mm dengan rongga didalamnya. Untuk permodelan struktur utama dan analisa struktur menggunakan program bantu MIDAS/Civil dengan pembebanan statis dan dinamis, selanjutnya analisa metode pelaksanaan (staging analysis) menggunakan metode demolishing procedure melalui backward solution. Selanjutnya jembatan juga dianalisa stabilitas aerodinamis yang meliputi kontrol terhadap frekuensi alami, efek flutter, dan juga vortex-shedding.

Kata kunci: *jembatan, cable-stayed, semi-fan pattern, two inclined planes system, orthotropic steel deck.*

DESIGN MODIFICATION OF LEMAH IRENG 1 BRIDGE ON SEMARANG-SOLO TOLL USING CABLE-STAYED BRIDGE SYSTEM WITH A-TOWER SEMI-FAN TYPE

Nama Mahasiswa : **Muhamad Bagus**
NRP : **0311154000098**
Departemen : **Teknik Sipil FTSLK-ITS**
Dosen : **Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo**
: **Masiran, M.S.**
: **Bambang Piscesa, ST., MT., Ph. D**

Abstract

Cable-stayed bridge is one type of long-span bridge that is a bridge with a span of more than 100 m. Many of these bridges have been built throughout the world because they are able to support long spans and the development process is relatively fast. The cable-stayed structure consists of a main girder which functions as a vehicle floor, a cable that serves to support the main girder and deliver loads from the main girder to the pylon, and the pylon as a load barrier from the cable.

This final project discusses the modification of the Lemah Ireng 1 Bridge on the Semarang-Solo Toll Road which has a span of 879 m. The cable bridge configuration uses a semi-fan type with the pylon position two inclined planes system. For the floor of the vehicle it is designed to be resistant to aerodynamic effects.

The results of this planning, used orthotropic steel deck with deck plate thickness 19 mm, deck plate width 600 mm, web ribs height 290 mm, web ribs thickness 8 mm, width flange ribs 300 mm, thick flange ribs 8 mm then arranged cable stay over 7-wire strand which has various variations in diameter and pylon which are designed using reinforced concrete material with dimensions of 6000 mm x 12000 mm with a cavity inside. For the main

structure modeling and structural analysis using MIDAS / Civil assistive programs with static and dynamic loading, then analysis of the implementation method (staging analysis) uses the demolishing procedure through the backward solution method. Furthermore the bridge was also analyzed for aerodynamic stability which included control of natural frequencies, flutter effects, and also vortex-shedding.

Keyword: *bridge, cable-stayed, semi-fan pattern, two inclined planes system, orthotropic steel deck.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat, kasih dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul “MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN” ini dengan baik dan tepat waktu. Pada akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, M.S dan Bapak Bambang Piscesa, ST., MT., Ph. D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA selaku Dosen Wali.
3. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSLK – ITS.
4. Kedua orang tua saya yang senantiasa mendukung, mendoakan, dan selalu menyemangati dikala saat-saat tersulit.
5. Geng Jembatan, Doni, Dhaifan, Oki, dan Rekan – rekan S-58 Kopassus yang lain serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas akhir ini.
6. Siti Nuralyaa Ulfah, yang selalu menyempatkan waktunya untuk membantu saya dari jarak yang jauh.
7. Ni Putu Ary Yuliadewi, yang sudah sangat membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Brian Nararya Nugraha, yang sudah menyempatkan waktunya sebagai konsultan estetika visual untuk penulis

Dalam penulisan Proposal Tugas Akhir ini, saya menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka kritik dan saran yang bersifat

membangun sangat kami harapkan demi laporan ini. Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
<i>Abstrak</i>	iii
<i>Abstract</i>	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Jembatan Kabel	9
2.2 Pembebanan	30
2.3 Stabilitas Aerodinamik	31
2.4 Metode Pelaksanaan	37
BAB III METODOLOGI	43
3.1 Diagram Alir	43
3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur	44
3.3 Preliminary Design	45
3.4 Desain <i>Orthotropic Deck</i>	51
3.5 Analisis Statis Struktur Utama	52
3.6 Analisa Metode Konstruksi	61
3.7 Desain Angker	61
3.8 Analisis Dinamis	63
3.9 Kontrol Stabilitas	66
3.10 Pengerjaan Gambar	66

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN	67
4.1 Preliminary Design	67
4.2 <i>Ribs Orthotropic Steel Deck</i>	80
4.3 Permodelan dan Analisa Struktur	84
4.4 <i>Box Orthotropic Deck</i>	95
4.5 Struktur Kabel	102
4.6 Struktur <i>Pylon</i>	117
4.7 Perilaku Aerodinamis	132
4.8 Analisa <i>Staging</i>	155
4.9 Perhitungan Angkur.....	161
4.10 Perencanaan Perletakan	172
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	175
5.1 Kesimpulan	175
5.2 Saran.....	176
DAFTAR PUSTAKA.....	179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Jembatan Lemah Ireng 1</i> (NET.TV, 2016)	2
Gambar 1. 2 <i>Orthotropic Deck</i>	3
Gambar 1. 3 Tampak samping jembatan modifikasi dan eksisting	3
Gambar 2. 1 <i>Basic load transfer</i> pada <i>cable-stayed</i> . (Chen dan Duan, 2014)	9
Gambar 2. 2 Susunan <i>cable stayed two-span</i>	10
Gambar 2. 3 Susunan <i>cable stayed three-span</i>	10
Gambar 2. 4 Susunan <i>cable stayed multi-span</i>	11
Gambar 2. 5 Susunan kabel <i>Single Planes System</i>	12
Gambar 2. 6 Susunan kabel <i>two vertical planes system</i>	12
Gambar 2. 7 Susunan kabel <i>two inclined planes system</i>	13
Gambar 2. 8 Susunan kabel <i>assymetrical planes system</i>	13
Gambar 2. 9 Susunan kabel <i>fan pattern</i>	14
Gambar 2. 10 Susunan kabel <i>harp pattern</i>	15
Gambar 2. 11 Susunan kabel <i>semi-harp pattern</i>	15
Gambar 2. 12 Susunan kabel <i>assymetric pattern</i>	16
Gambar 2. 13 Konfigurasi kabel	17
Gambar 2. 14 <i>Parallel-bar Cables</i>	18
Gambar 2. 15 <i>Parallel-wire Cables</i>	18
Gambar 2. 16 <i>Stranded Cables</i>	19
Gambar 2. 17 <i>Locked-coil Cables</i>	20
Gambar 2. 18 Penampang gelagar utama beton (Walther, 1999).....	22
Gambar 2. 19 Penampang gelagar utama baja (Walther, 1999).....	24
Gambar 2. 20 Gelagar komposit pada jembatan <i>cable stayed</i> (Brockenbrough and Merrit, 2011)	26

Gambar 2. 21 Penampang gelagar utama komposit (Walther, 1999).....	26
Gambar 2. 22 Konstruksi gelagar sistem A. (Gimsing, 1983)	27
Gambar 2. 23 Konstruksi gelagar sistem B. (Gimsing, 1983)	27
Gambar 2. 24 Konstruksi gelagar sistem C (Gimsing, 1983).	28
Gambar 2. 25 Tipe-tipe menara jembatan <i> cable-stayed</i> . (Brockenbrough and Merrit, 2011)	29
Gambar 2. 26 Tinggi optimum <i> pylon</i> . (Parke and Huson, 2008).....	29
Gambar 2. 27 Gerak torsi Jembatan Tacoma sesaat sebelum runtuh, 7 Nopember 1940 (Soegihardjo, 2007).	32
Gambar 2. 28 Keruntuhan jembatan Tacoma (Soegihardjo, 2007).....	32
Gambar 2. 29 Gaya T, N, dan M akibat angin (Walther, 1999).....	33
Gambar 2. 30 Koefisien CT, CN, dan CM	34
Gambar 2. 31 Proses terbentuknya pusaran angin (Troitsky, 1988).....	34
Gambar 2. 32 Deskripsi Fenomena <i>Flutter</i> (Walther, 1999)	36
Gambar 2. 33 Prosedur pelaksanaan <i> Staging Method</i> . (Soegihardjo, 2007).....	38
Gambar 2. 34 Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out. (Soegihardjo, 2007)	39
Gambar 2. 35 Metode pelaksanaan kantilever (Parke and Huson, 2008).....	40
Gambar 2. 36 Metode pelaksanaan kantilever (Gimsing dan T. Christos , 2012).....	41

Gambar 2. 37 Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan urutan pelaksanaan. (Gimsing, 1983)	42
Gambar 3. 1 Diagram Alir	43
Gambar 3. 2 Susunan kabel <i>three-Span</i>	45
Gambar 3. 3 Susunan kabel <i>Semi Harp Pattern</i>	46
Gambar 3. 4 Susunan kabel <i>Two Inclined Planes System</i> ..	46
Gambar 3. 5 Tinggi optimum <i>pylon</i>	47
Gambar 3. 6 <i>Orthotropic deck</i>	49
Gambar 3. 7 Bentuk <i>pylon</i> menggunakan bentuk <i>A-Tower</i>	50
Gambar 3. 8 <i>Ribs</i> dan <i>Floorbeam</i>	51
Gambar 3. 9 Permodelan di MIDAS CIVIL	53
Gambar 3. 10 Beban Lajur “D”	55
Gambar 3. 11 Beban truk.....	57
Gambar 3. 12 Faktor beban dinamis untuk beban “T” untuk pembebanan lajur “D”	57
Gambar 3. 13 Daerah umum pada penampang persegi	63
Gambar 3. 14 Representasi sederhana <i>flutter</i> pada lantai kendaraan jembatan	66
Gambar 3. 15 Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$ (Walther dkk, 1999)	66
Gambar 4. 1 Pola <i>semi-fan</i>	67
Gambar 4. 2 Penomoran kabel	69
Gambar 4. 3 Ilustrasi beban truk “T”	71
Gambar 4. 4 Panjang masing-masing kabel.....	75
Gambar 4. 5 Tampak 3 dimensi jembatan	84
Gambar 4. 6 Tampak samping jembatan	85
Gambar 4. 7 Ilustrasi gaya rem	86
Gambar 4. 8 Ilustrasi beban angin kendaraan	88
Gambar 4. 9 Konfigurasi beban hidup.....	89
Gambar 4. 10 Grafik respon spectrum.....	92
Gambar 4. 11 Konfigurasi pembebanan	94

Gambar 4. 12 Dimensi <i>box orthotropic deck</i>	95
Gambar 4. 13 Tatanan dan penamaan kabel	103
Gambar 4. 14 Diagram alir prosedur <i>unknown load factor</i>	105
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan kemampuan kabel dengan gaya tarik yang diterima (baris kabel putus).....	115
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan kemampuan kabel dengan gaya tarik yang diterima (baris kabel tidak putus)	116
Gambar 4. 17 Tampak depan <i>pylon</i> jembatan.....	117
Gambar 4. 18 <i>Section properties</i> kolom <i>pylon</i>	118
Gambar 4. 19 Desain penampang dan tulangan longitudinal pada <i>spColumn</i>	123
Gambar 4. 20 Diagram interaksi <i>pylon</i> arah <i>braced frame</i>	124
Gambar 4. 21 Diagram interaksi <i>pylon</i> arah <i>unbraced frame</i>	124
Gambar 4. 22 Penulangan pada daerah sendi plastis.....	131
Gambar 4. 23 Penulangan pada daerah luar sendi plastis.	132
Gambar 4. 24 Mode getar 1	133
Gambar 4. 25 Mode getar 2	134
Gambar 4. 26 Mode getar 3	134
Gambar 4. 27 Mode getar 4	134
Gambar 4. 28 Mode getar 5	135
Gambar 4. 29 Mode getar 6	135
Gambar 4. 30 Mode getar 7	135
Gambar 4. 31 Mode getar 8	135
Gambar 4. 32 Mode getar 9	136
Gambar 4. 33 Mode getar 10	136
Gambar 4. 34 Mode getar 145	136
Gambar 4. 35 Mode getar 146	136
Gambar 4. 36 Mode getar 147	137

Gambar 4. 37 Mode getar 149	137
Gambar 4. 38 Mode getar 150	137
Gambar 4. 39 Mode getar 152	137
Gambar 4. 40 Mode getar 154	138
Gambar 4. 41 Mode getar 155	138
Gambar 4. 42 Macam penampang <i>deck</i>	147
Gambar 4. 43 Grafik nilai C_N	147
Gambar 4. 44 Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo	149
Gambar 4. 45 Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan	150
Gambar 4. 46 Efek <i>flutter</i> dengan beda fase $\pi 2$	151
Gambar 4. 47 Kecepatan kritis teoritis untuk <i>flutter</i>	153
Gambar 4. 48 Grafik koefisien koreksi	154
Gambar 4. 49 <i>Form traveler</i> yang digunakan.....	156
Gambar 4. 50 Spesifikasi <i>form traveler</i> (Memanjang- Melintang).....	157
Gambar 4. 51 Permodelan dan <i>input</i> beban pada <i>form traveler</i>	157
Gambar 4. 52 Hasil analisa reaksi pada <i>form traveler</i>	158
Gambar 4. 53 Angkur pada <i>deck</i>	161
Gambar 4. 54 Detail angkur VSL SSI 2000 untuk <i>deck</i> ...	162
Gambar 4. 55 Plat angkur tendon.....	164
Gambar 4. 56 Daerah angkur pada <i>pylon</i>	166
Gambar 4. 57 Dimensi angkur dan <i>clearance</i> yang diperlukan	167
Gambar 4. 58 Detail angkur VSL SSI 2000 untuk <i>pylon</i> .	167
Gambar 4. 59 <i>Unidirectional Pot Bearing</i>	172
Gambar 4. 60 Ilustrasi penempatan <i>pot bearing</i> pada lantai kendaraan	173

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penampang gelagar beton (Troitsky,1988)	23
Tabel 2. 2 Penampang gelagar baja (Troitsky,1988).....	25
Tabel 3. 1 Tabel berat jenis elemen.....	53
Tabel 3. 2 Faktor Beban untuk Beban Sendiri	54
Tabel 3. 3 Faktor Beban untuk Beban Sendiri	55
Tabel 3. 4 Faktor untuk Beban Lajur “D”	56
Tabel 3. 5 Faktor Beban untuk Beban “T”	57
Tabel 3. 6 Nilai V_0 dan Z_0	59
Tabel 3. 7 Tekanan angin dasar.....	59
Tabel 3. 8 Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan.	60
Tabel 4. 1 Jenis Kabel dan Angkur	69
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan jumlah kabel	73
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan diameter kabel	74
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan E ekuivalen.....	76
Tabel 4. 5 Gaya pada kabel.....	78
Tabel 4. 6 Nilai V_0 dan Z_0	86
Tabel 4. 7 Tekanan angin dasar.....	87
Tabel 4. 8 Kombinasi dan faktor beban.....	89
Tabel 4. 9 Kombinasi pembebanan statis	90
Tabel 4. 10 Hasil analisa <i>pylon</i>	91
Tabel 4. 11 Nilai koefisien gempa.....	92
Tabel 4. 12 Faktor Modifikasi Respon	93
Tabel 4. 13 Kombinasi pembebanan dinamis	94
Tabel 4. 14 Hasil analisa <i>pylon</i>	95
Tabel 4. 15 Gaya pada <i>box</i>	96
Tabel 4. 16 Gaya pada <i>box</i> saat 1 kabel putus	101
Tabel 4. 17 Rekapitulasi gaya dan kontrol pada <i>box</i>	102
Tabel 4. 18 Spesifikasi kabel	103

Tabel 4. 19 Penampang dan jumlah <i>strand</i> kabel	104
Tabel 4. 20 Gaya kabel akibat <i>pretension</i> 1 kN (<i>tuning cable</i>)	106
Tabel 4. 21 Kebutuhan luas penampang kabel akibat <i>pretension</i> 1 kN.....	107
Tabel 4. 22 Gaya masing-masing kabel.....	108
Tabel 4. 23 Kebutuhan luas penampang kabel yang sebenarnya.....	109
Tabel 4. 24 Kontrol gaya pada kabel akibat beban aktual	110
Tabel 4. 25 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S1 putus (pada baris kabel putus).....	111
Tabel 4. 26 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S11 putus (pada baris kabel putus).....	112
Tabel 4. 27 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S1 putus (pada baris kabel tidak putus)	113
Tabel 4. 28 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S11 putus (pada baris kabel tidak putus)	114
Tabel 4. 29 Rekapitulasi hasil perhitungan tulangan	131
Tabel 4. 30 Mode getar jembatan.....	133
Tabel 4. 31 Nilai frekuensi akibat getaran yang terjadi....	139
Tabel 4. 32 Spesifikasi <i>form traveler</i>	156
Tabel 4. 33 Gaya kabel	158
Tabel 4. 34 Konfigurasi pembebanan untuk analisa <i>staging</i>	159
Tabel 4. 35 Hasil analisa <i>staging</i> pada <i>pylon</i> (kN)	160
Tabel 4. 36 Hasil analisa <i>staging</i> pada <i>crossbeam</i>	161
Tabel 4. 37 Spesifikasi teknis angkur VSL SSI 2000	162
Tabel 4. 38 Rekap kontrol angkur	164
Tabel 4. 39 Spesifikasi angkur VSL SSI 2000.....	168
Tabel 4. 40 Kontrol Tegangan Beton	169
Tabel 4. 41 Kebutuhan Tulangan untuk Pancaran	171

Tabel 4. 42 Kebutuhan Tulangan untuk Pengelupasan	171
Tabel 4. 43 Spesifikasi <i>Pot Bearing</i>	173
Tabel 5. 1 Rekap penulangan <i>pylon</i>	176

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan alat yang sangat penting dalam perkembangan pada era global saat ini. Salah satu usaha yang menunjang transportasi adalah pembangunan infrastruktur jembatan. Dalam meningkatkan dan menunjang sarana transportasi keadaan, jembatan harus dalam kondisi baik. Kondisi jembatan yang kurang baik dapat menghambat kelancaran transportasi. Contohnya Jembatan Lemah Ireng 1 yang terletak di tol Semarang-Solo, Kecamatan Bawen. Jembatan ini pernah mengalami ambles yang menyebabkan patahan hampir sepanjang 15 meter serta lebar 3,2 meter. Penyelidikan tertutup yang dilakukan oleh pihak kepolisian menghasilkan dugaan bahwa amblesnya abutment dikarenakan longsornya tanah dimana abutment berpijak.

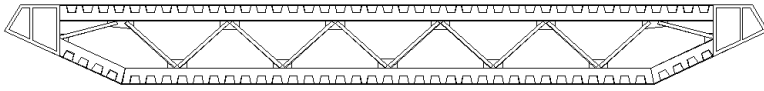
Jembatan Lemah Ireng 1 merupakan jembatan bergelagar beton pratekan dengan panjang 879 m dan lebar 25 m. Jembatan yang berlokasi di Kecamatan Bawen ini memiliki 20 buah pilar dengan rata-rata panjang bentangnya adalah 42 m. Bisa dilihat pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1. 1 *Jembatan Lemah Ireng 1* (NET.TV, 2016)

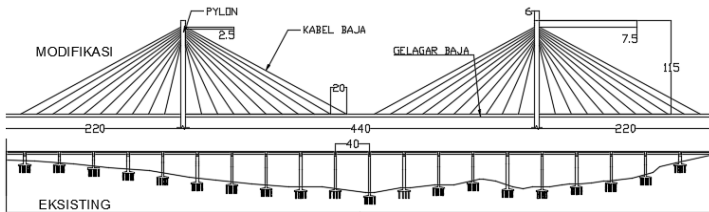
Pada saat proses perbaikannya jembatan ini mengalami penyempitan lajur tol dari arah Ungaran menuju Bawen sehingga dapat mengganggu proses antar-mengantar logistik dan kegiatan yang lainnya. Dengan kondisi lalu lintas yang ada keadaan dari Jembatan Lemah Ireng 1 sangatlah perlu diperhatikan. Salah satu hal yang harus diperhatikan adalah mengurangi jumlah pilar yang ada.

Penggunaan banyak pilar akan mengakibatkan probabilitas amblasnya jembatan semakin besar, dengan mengurangi jumlah pilar yang ada maka kejadian yang menyebabkan amblasnya Jembatan Lemah Ireng 1 bisa diminimalisir. Salah satu upaya untuk mewujudkan hal tersebut adalah dengan memodifikasi Jembatan Lemah Ireng 1 yang bertipe gelagar beton pratekan menjadi tipe *cable-stayed bridge*. Pada perencanaan ini penulis memodifikasi jembatan Lemah Ireng 1 menggunakan *box girder* seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. 2 *Orthotropic Deck*

Jembatan *cabl-stayed* adalah jembatan yang mempunyai kabel-kabel untuk menopang apa-apa saja yang dibebankan kepadanya seperti membebani plat duduk ayunan, hanya saja karena platnya sangat panjang maka diperlukan banyak kabel yang dibentangkan miring untuk menahannya. Dengan adanya kabel tersebut penggunaan pilar dapat diminimalisir. Dalam tugas akhir ini Jembatan Tol Cisomang akan direncanakan sebagai jembatan *cabl-stayed*, dengan desain jembatan ini akan didapat manfaat yang dapat mengatasi permasalahan diatas. Selain itu ada nilai estetika yang didapat dari komposisi desain lantai kendaraan, susunan kabel dan desain menara sehingga kedepannya Jembatan Lemah Ireng 1 bisa menjadi salah satu ikon untuk Tol Semarang-Solo. Bisa dilihat pada **Gambar 1.3.**



Gambar 1. 3 Tampak samping jembatan modifikasi dan eksisting

Pada perencanaan ini penulis mendesain *mid-span* sebesar 440 m dan *side-span* 220 m.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dalam modifikasi perencanaan struktur Jembatan Lemah Ireng 1 permasalahan yang ditinjau adalah:

1. Bagaimana perubahan dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi?
2. Bagaimana merencanakan *preliminary design* jembatan kabel?
3. Bagaimana merencanakan gelagar, kabel dan *pylon*?
4. Bagaimana permodelan dan analisa struktur dalam modifikasi perencanaan jembatan ini?
5. Bagaimana hasil akhir dari modifikasi perencanaan ini?

1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan suatu konstruksi jembatan dengan sistem *cable-stayed*, adapun tujuan detailnya seperti berikut:

1. Merencanakan perubahan dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi.
2. Dapat merencanakan *preliminary design* jembatan kabel.
3. Dapat merencanakan gelagar, kabel dan *pylon*.
4. Dapat memodelkan dan analisa struktur dalam modifikasi Perencanaan jembatan ini.
5. Mengetahui hasil akhir dari modifikasi perencanaan ini.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, karena keterbatasan kemampuan dan waktu maka lingkup bahasan yang akan

dianalisa hanya mencakup perencanaan struktur atas dari jembatan ini tanpa membahas hal lain yang berupa:

1. Jalan pendekat jembatan
2. Perkerasan jalan di jembatan
3. Abutmen dan pondasi
4. Anggaran biaya
5. Metode pelaksanaan

1.5 Manfaat

Penyusunan tugas akhir ini memberikan beberapa manfaat yaitu:

Umum:

1. Sebagai referensi dalam melakukan desain jembatan dengan menggunakan sistem *cable-stayed*.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait.

Bagi penulis:

1. Dapat menerapkan ilmu perencanaan jembatan, terutama untuk bentang panjang.
2. Sebagai evaluasi penguasaan ilmu ketekniksipilan terkait desain jembatan selama berkuliah.
3. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus yang disebabkan adanya halangan atau rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran drainase, saluran irigasi, jalan kereta, jalan raya, dan sebagainya. Manusia mulai menggunakan jembatan sejak zaman purba, dulu pertama kali yang digunakan manusia adalah berupa jembatan alami, seperti pohon tumbang yang melintasi rintangan yang merupakan jembatan balok sederhana (Ma'arif, 2012). Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi struktur jembatan terus mengalami kemajuan yang pesat.

2.1.1 Jenis-Jenis Jembatan Menurut Klasifikasinya

Jembatan sesuai klasifikasinya dapat dikelompokkan menjadi:

a. Menurut Kegunaan

Jembatan jalan raya (*highway bridge*)

Jembatan pejalan kaki (*footh path*)

Jembatan kereta api (*railway bridge*)

Jembatan jalan air

Jembatan jalan pipa

Jembatan penyebrangan

b. Menurut Jenis Materialnya

Jembatan jalan raya (*highway bridge*)

Jembatan kayu

Jembatan baja

Jembatan beton bertulang dan pratekann

Jembatan komposit

c. Menurut Sistem Struktur

Jembatan dengan tumpuan sederhana (*simply supported bridge*)

Jembatan menerus (*continuous bridge*)

Jembatan kantilever (*cantilever bridge*)

Jembatan integral (*integral bridge*)

Jembatan semi integral (*semi integral bridge*)

Jembatan pelengkung tiga sendi (*arches bridge*)

Jembatan rangka (*trusses bridge*)

Jembatan gantung (*suspension bridge*)

Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)

Jembatan urung-urung (*culverts bridge*)

d. Menurut Panjang Bentangnya (Barker and Puckett, 2007)

Small-Span (< 15 m)

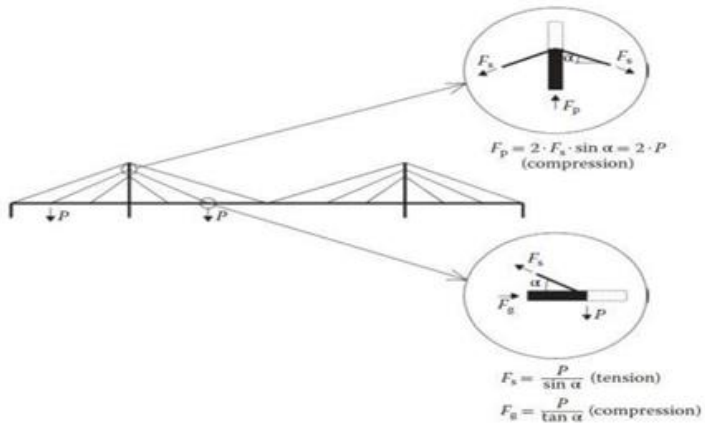
Medium-Span (< 75 m)

Large-Span (75 m – 150 m)

Extra Large Span (> 150 m)

2.2 Jembatan Kabel

Salah satu jenis jembatan bentang panjang yang dapat ditemukan adalah jembatan kabel. Bangunan atas jembatan *cable stayed* terdiri dari gelagar, *pylon*, kabel, lantai kendaraan, dan *railing*. Sedangkan bangunan bawah berupa abutmen, pilar, dan pondasi. Jembatan utama menerima beban vertikal dan ditransfer secara lokal oleh gelagar/*stiffening girder* untuk mendukung elastisitas yang disediakan oleh kabel-kabel, kemudian tegangan tersalurkan dari kabel menuju *pylon*, sedangkan *pylon* berperan menyalurkan beban yang diterima dari kabel akibat beban pada lantai kendaraan ke pondasi berupa gaya aksial. Bisa dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Basic load transfer pada *cable-stayed*. (Chen dan Duan, 2014)

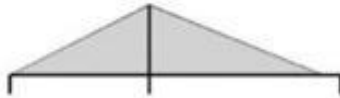
Keuntungan penggunaan jembatan jenis ini antara lain (Svensson, 2011):

1. dengan adanya transfer beban oleh struktur kabel maka besarnya momen tekuk dapat berkurang.
2. proses konstruksi jembatan kabel relatif mudah.
3. jembatan kabel lebih kaku dibanding dengan jembatan gantung.

Jembatan *cable stayed* ditinjau dari rintangan yang akan diseberangi dan lokasi, bentang jembatan dapat didesain dalam: (Walther, 1999)

Two-span

Susunan *two span* terdiri dari bentang utama dan bentang dengan sisi lebih pendek (juga disebut *back span*)



Gambar 2. 2 Susunan *cable stayed two-span*

Three-span

Susunan *three-span* merupakan susunan yang paling umum, terdiri dari bentang sisi dan dua bentang utama.



Gambar 2. 3 Susunan *cable stayed three-span*

Multi-span

Susunan *multi-span* memiliki beberapa bentang utama dan bentang sisi dikedua ujung jembatan



Gambar 2. 4 Susunan *cable stayed multi-span*

2.2.1 Kabel

Sistem kabel merupakan salah satu hal mendasar dalam perencanaan jembatan *cable stayed*. Kabel digunakan untuk menopang gelagar diantara dua tumpuan dan memindahkan beban tersebut ke menara/*pylon*.

2.2.1.1 Susunan Kabel

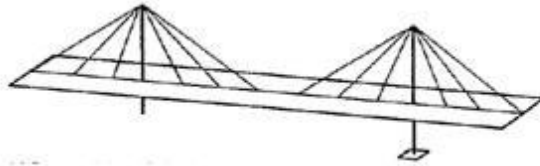
Secara umum sistem kabel dapat dilihat sebagai tatanan kabel transversal dan longitudinal. Pemilihan tatanan kabel tersebut didasarkan atas berbagai hal karena akan memberikan pengaruh yang berlainan terhadap perilaku struktur terutama pada bentuk menara/*pylon* dan tampang gelagar. Selain itu akan berpengaruh pula pada metode pelaksanaan biaya dan arsitektur jembatan.

a. Kabel Transversal

Tatanan kabel transversal atau kabel melintang terhadap area sumbu longitudinal jembatan dapat dibuat satu atau dua bidang dan sebaliknya ditempatkan secara simetri. Susunan arah melintang dapat dibedakan menjadi (Walther, 1999):

Single Plane System

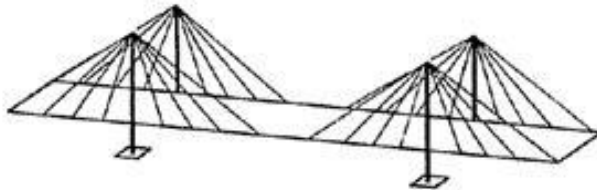
Pada konfigurasi *single plane* kabel yang digunakan disusun pada titik tengah struktur arah melintang yang akan menyebabkan terjadinya beban eksentrik pada gelagar utama. Oleh karena itu pada konfigurasi ini dibutuhkan gelagar utama yang cukup kaku



Gambar 2. 5 Susunan kabel *Single Planes System*

Two Vertical Planes System

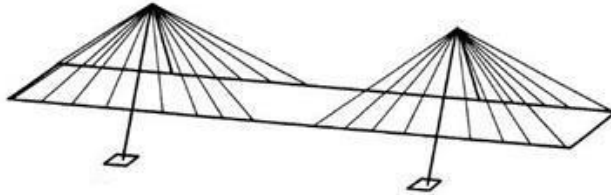
Tipe ini memiliki sistem dua kabel paralel dan menara berada diatas masing-masing sisi jembatan yang terletak di bidang vertical yang sama.



Gambar 2. 6 Susunan kabel *two vertical planes system*

Two Inclined Planes System

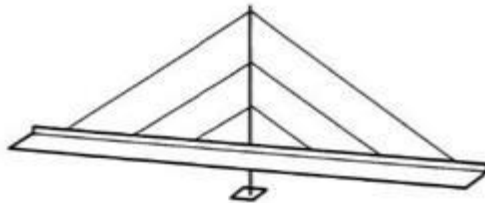
Tipe ini memiliki sistem dua kabel dengan menara berbentuk A dan kabel-kabel terletak di bidang vertikal.



Gambar 2. 7 Susunan kabel *two inclined planes system*

Assymetrical Planes System

Tipe ini memiliki sistem yang tidak simetris dan menekankan pada nilai estetika yang tinggi.



Gambar 2. 8 Susunan kabel *assymetrical planes system*

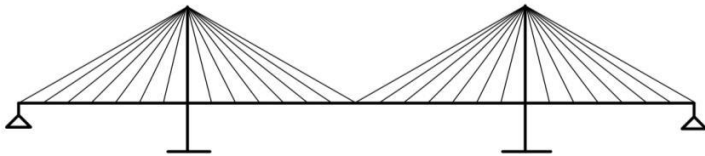
b. Kabel Longitudinal

Tatanan kabel longitudinal jembatan mempunyai banyak variasi tergantung pada pengalaman perencana menentukan perbandingan antara bentang dengan tinggi Menara/*pylon*. Untuk bentang yang lebih pendek, kabel tunggal mungkin sudah cukup untuk menahan beban rencana tetapi untuk bentang utama yang panjang dan bentang tidak simetris

yang menggunakan anker, variasi tatanan kabel tidak cukup dengan kebutuhan secara teknis tetapi harus menghasilkan konfigurasi dasar tatanan kabel longitudinal yaitu, radial, harpa, bentuk kipas dan bintang (Podolny and Scalzi, 1976). Menurut Walther (1999) macam – macam susunan kabel longitudinal adalah :

Fan Pattern (Kipas)

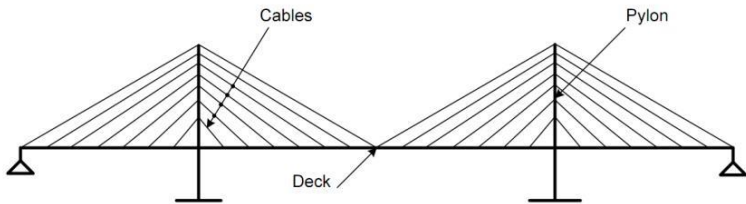
Fan pattern dalam beberapa literatur sebagai pola radial (melingkar) dimana merupakan sebuah susunan kabel yang dipusatkan pada ujung atas menara dan disebar sepanjang bentang gelagar. Kelebihan tipe ini adalah kemiringan rata-rata kabel cukup besar sehingga komponen gaya horizontal tidak terlalu besar, namun kabel yang terkumpul diatas menara/*pylon* menyulitkan dalam perencanaan dan pendetailan sambungan.



Gambar 2. 9 Susunan kabel *fan pattern*

Harp Pattern (Pola Kecapi)

Harp pattern terdiri atas kabel-kabel penggantung yang dipasang sejajar dan disambungkan ke *pylon* dengan ketinggian yang berbeda-beda antar satu terhadap lainnya.

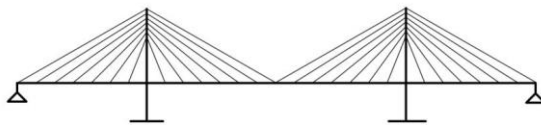


Gambar 2. 10 Susunan kabel *harp pattern*

Susunan kabel yang sejajar memberikan egek estetika yang indah namun terjadi lentur yang besar di *pylon*.

Semi Harp Pattern (Pola Setengah Kecapi)

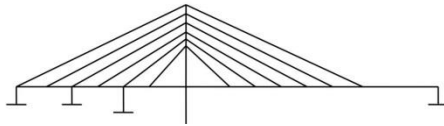
Semi harp pattern adalah kombinasi dari tipe *harp* dan *fan* yang mengasilkan tipe *semi harp* dimana kabel diletakkan secara menyebar pada bagian atas *pylon*. Pada sistem ini sudut yang dibentuk oleh kabel dan *pylon* lebih kecil dibandingkan pada tipe *harp* sehingga mengurangi kekakuan dari penghubung horizontal antara *pylon* dan pelat lantai



Gambar 2. 11 Susunan kabel *semi-harp pattern*

Assymmetric Pattern

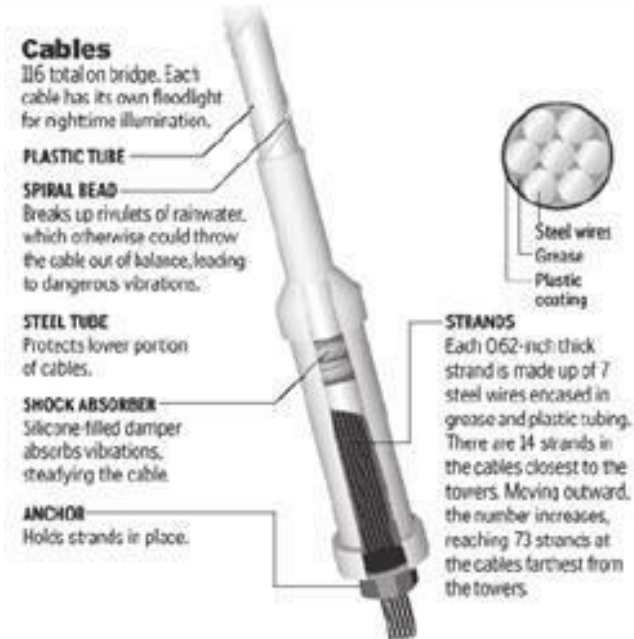
Tipe *assymmetric* adalah tipe kabel yang biasanya digunakan jika jembatan terpaksa dibangun dengan satu *pylon* dengan panjang bentang yang berbeda antara kanan dan kiri.



Gambar 2. 12 Susunan kabel *assymmetric pattern*

2.2.1.2 Jenis Kabel

Kabel merupakan bagian yang paling penting dalam desain jembatan cable stayed, karena berfungsi menyalurkan beban mati dari struktur atas (lantai jembatan) menuju ke *pylon* (Walther, 1999). Biasanya kabel yang digunakan berupa kabel prategang yang ditempatkan pada lantai jembatan. Kabel prategang dipilih guna mengurangi penyimpanan vertical dari lantai jembatan dan penyimpanan lateral dari tiang. Pemilihan jenis kabel tergantung pada segi pelaksanaan struktur dan keuangan. Bisa dilihat pada **Gambar 2.13**.

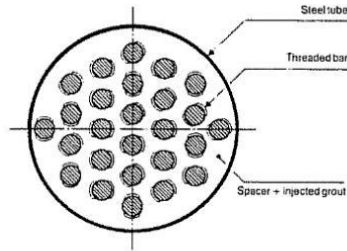


Gambar 2. 13 Konfigurasi kabel

Beberapa jenis kabel yang sering digunakan pada konstruksi *cabl stayed* antara lain (Walther, 1999) :

Paralel-bar cables

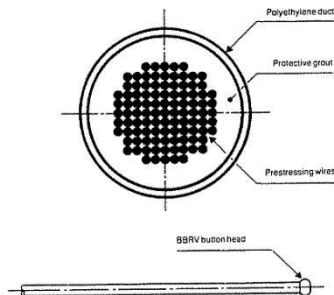
Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang disusun sejajar pada sebuah selongsong dengan *polyethylene* sebagai pengisi antar jarak ditunjukkan pada **Gambar 2.14**. Batang baja dapat bergerak bebas pada arah memanjang sehingga memungkinkan proses tensioning secara individual.



Gambar 2. 14 *Parallel-bar Cables*

Parallel-wire cables

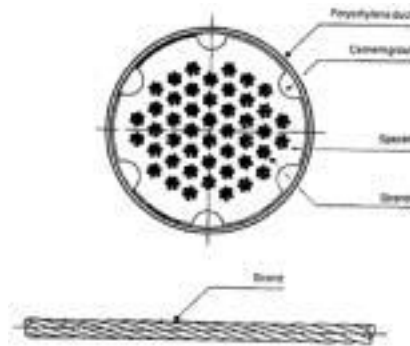
Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang disusun dan disatukan yang membentuk seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.15**. Tendon-tendon tersebut kemudian ditempatkan pada selongsong logam atau *polyethylene* yang kemudian akan diisi dengan campuran semen.



Gambar 2. 15 *Parallel-wire Cables*

Stranded cables

Ditunjukkan pada **Gambar 2.16.** jenis kabel ini merupakan selongsong kabel yang di dalamnya berisi beberapa strand kabel. *Strand* kabel merupakan beberapa batang baja dengan diameter kecil yang disusun dan dipilin sehingga membentuk sebuah tendon



Gambar 2. 16 *Stranded Cables*

Locked-coil cables

Ditunjukkan pada **Gambar 2. 17,** kabel ini terdiri dari strand kabel yang disusun di bagian tengah mengelilingi sebuah batang baja dan di bagian luarnya di lapiasi oleh batang baja berbentuk S.

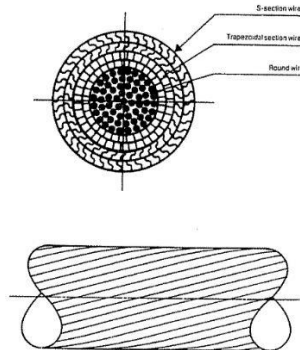


Fig. 5.5 Locked-coil cable

Gambar 2. 17 Locked-coil Cables

Merupakan jenis kabel yang sering digunakan sebagai kabel vertical pada jembatan gantung dengan penampang pada **Gambar 2.17**.

2.2.2 Gelagar

Bentuk gelagar jembatan *cable stayed* sangat bervariasi namun yang paling sering digunakan ada dua yaitu *stiffening truss* dan *solid web*. (Podolny and Scalzi,1976). *Stiffening truss* digunakan untuk struktur baja sedangkan *solid web* digunakan untuk struktur baja atau beton, baik beton bertulang maupun beton pratekan. (Chen and Duan,2014). Walther (1999) mengungkapkan bahwa bentuk profil gelagar jembatan dan pertimbangan bahannya tergantung beberapa faktor yaitu:

1. Jarak antar kabel penggantung

Pada jembatan dengan jarak kabel yang relatif besar, secara otomatis akan diperlukan gelagar yang kaku, dan biasanya sifat seperti ini didapat pada gelagar dari baja. Pada umumnya jembatan ini mempunyai rasio ketebalan gelagar dan bentang (h/L) antara 1/50 sampai 1/100.

Sedangkan pada jembatan yang memiliki jarak antar kabel yang relatif kecil, rasio ini dapat direduksi sampai 1/500 dengan bahan dari beton, karena kebutuhan akan kekakuan gelagar menjadi berkurang.

2. Konfigurasi kabel arah lateral

Pada jembatan dengan satu kabel di tengah (*single-plane*), diperlukan gelagar dengan kekakuan torsi yang tinggi. Sifat ini dapat diberikan oleh gelagar berbentuk kotak (*box*) baik itu dari baja maupun dari beton. Sedangkan untuk jembatan dengan konfigurasi kabel di tepi (*double-plans*), memungkinkan dipakai gelagar yang lebih langsung karena kekakuan torsi tidak diperlukan. Pada modifikasi perencanaan ini direncanakan konstruksi gelagar utama dari material baja. Jarak kabel pada gelagar menurut Walther dkk. (1999):

- Dek beton (5 m – 10 m)
- Dek baja (15 m – 25 m)

Disini penulis menggunakan jarak antar kabel 20 m

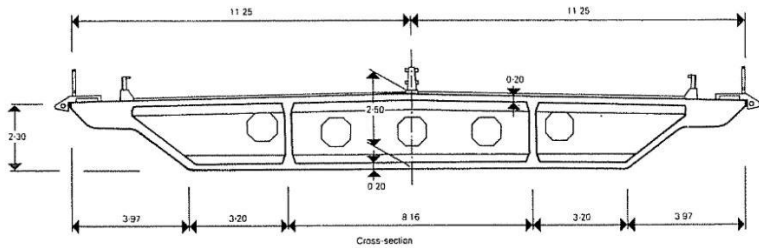
2.2.2.1 Material Gelagar

Gelagar memiliki material penyusun yang bervariasi tergantung kebutuhan. Macam-macam material gelagar, yaitu :

Beton

Lantai jembatan jenis ini dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place* dikarenakan berat sendiri yang cukup besar, lantai jenis ini cocok untuk bentang menengah dan panjang. Lantai ini dapat berupa beton bertulang maupun beton prategang. Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan lantai jembatan jenis ini

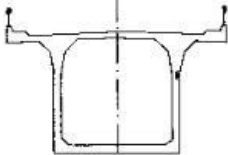
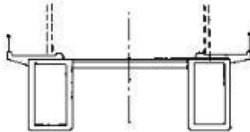
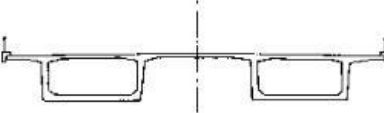
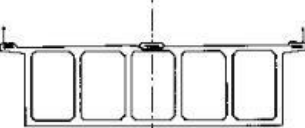
tergolong murah, namun berat sendiri pada lantai jembatan mengakibatkan adanya tambahan beban mati pada jembatan. Hal ini menjadikan perlu untuk memperbesar dimensi dari kabel, tiang, dan pengangkeran pada struktur jembatan. (Juvani, 2012). Bisa dilihat pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2. 18 Penampang gelagar utama beton (Walther, 1999)

Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material beton dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material beton dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

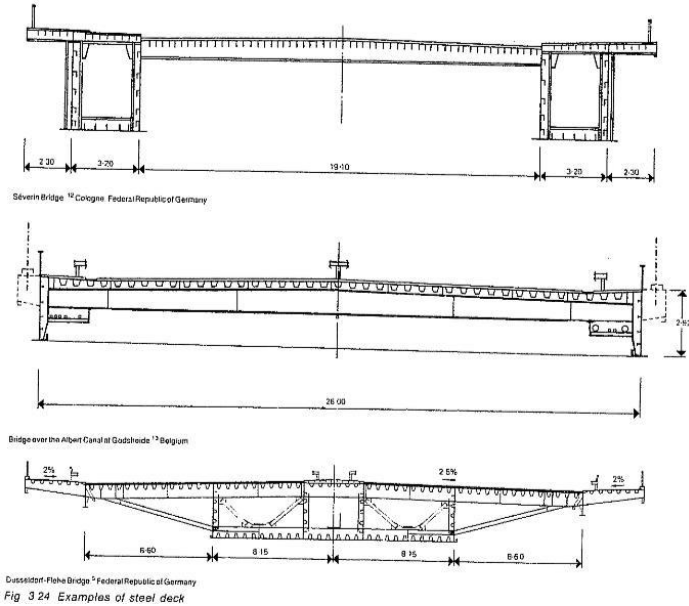
Tabel 2. 1 Penampang gelagar beton (Troitsky,1988)

Type of girder	Deck cross - section
1 Single box girder (Wadi Kuf Bridge, Libya)	
2 Twin box girders (River Parana Bridge, Argentina)	
3 Twin box girders (River Waal Bridge, Holland)	
4 Multiple box girder (Polcevera Viaduct, Italy)	

Baja

Penggunaan baja sebagai material gelagar utama bisa mengurangi keseluruhan berat struktur jika dibandingkan dengan menggunakan beton karena berat sendiri struktur baja lebih kecil daripada beton. Hal ini memungkinkan untuk mendesain jembatan lebih lebar


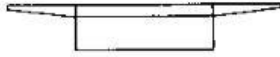
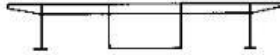
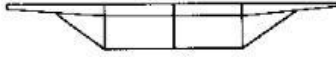



untuk digunakan pada jembatan *cable stayed* bentang panjang. (Juvani, 2012). Bisa dilihat pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2. 19 Penampang gelagar utama baja (Walther, 1999)

Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material baja dapat dilihat pada **Gambar 2. 19** dan **Tabel 2. 2**

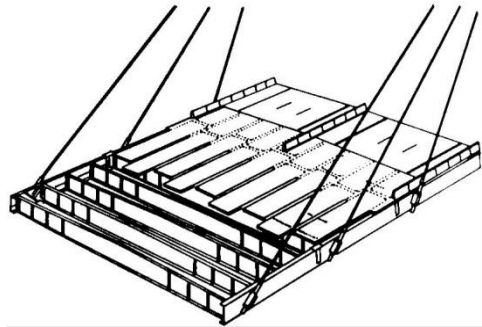
Tabel 2. 2 Penampang gelagar baja (Troitsky,1988)

Types of main girder		
Arrangement		Deck cross - sections
1	Twin I girder	
2	Single rectangular box girder	
3	Central box girder and side single web girders	
4	Single twin cellular box girder and sloping struts	
5	Single trapezoidal box girder	
6	Twin rectangular box girder	
7	Twin trapezoidal box girder	

Komposit

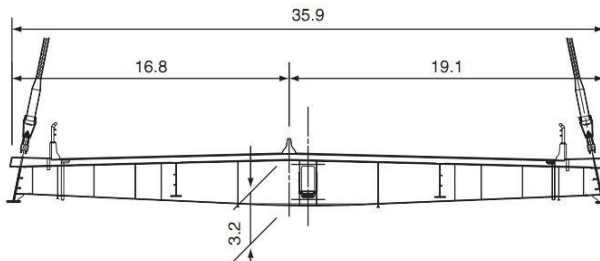
Gelagar komposit menggabungkan antara beton dan baja secara *monolit* sehingga keduanya bekerja bersama-sama. Pelat beton dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place* diatas elemen baja (balok baja). Keuntungan dari gelagar ini adalah pengurangan dari berat sendiri

gelagar (lebih berat dari gelagar baja namun lebih ringan dari gelagar beton) serta kemudahan pendirian terutama pada bagian bajanya (Walther, 1999). Elemen beton mempunyai pengaruh besar terhadap penambahan gaya normal pada lantai jembatan. (Juvani, 2012). Bisa dilihat pada **Gambar 2.20**.



Gambar 2. 20 Gelagar komposit pada jembatan *cabl*
stayed (Brockenbrough and Merrit, 2011)

Dan untuk potongan melintangnya bisa dilihat pada **Gambar 2. 21**.



Gambar 2. 21 Penampang gelagar utama komposit
(Walther, 1999)

2.2.2.2 Sistem Konstruksi Gelagar

Ada tiga kemungkinan sistem konstruksi gelagar menurut Gimsing (1983), yaitu :

Sistem A

Gelagar memiliki *expansion joint* pada *pylon* dan terjepit di kedua tepinya. Ini mengakibatkan gelagar sepenuhnya menerima tarik. $N = 0$ di *pylon*



Gambar 2. 22 Konstruksi gelagar sistem A. (Gimsing, 1983)

Sistem B

Gelagar menerus dengan perletakan rol di kedua tepi dan salah satu *pylon*-nya. Hal ini mengakibatkan gelagar sepenuhnya menerima tekan. $N = 0$ ditengah bentang utama



Gambar 2. 23 Konstruksi gelagar sistem B. (Gimsing, 1983)

Sistem C

Gelagar menerus dengan perletakan rol di semua tepi dan *pylon*-nya.



Gambar 2. 24 Konstruksi gelagar sistem C (Gimsing, 1983).

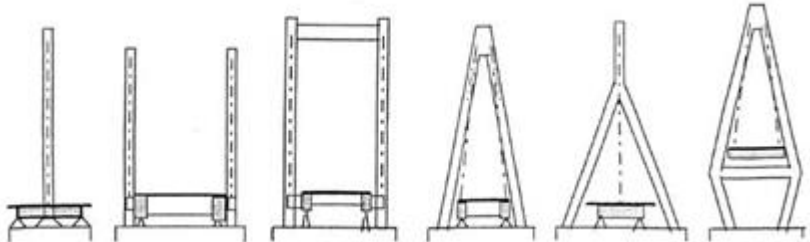
Hal ini mengakibatkan gelagar menerima tarik di tengah bentang utama dan tekan di tepi bentang utama serta bentang tepinya. $N = 0$ di perletakan akhir tepi.

2.2.3 Menara atau Pylon

Pylon merupakan elemen struktur yang paling penting pada jembatan *cable stayed* karena bentuk *pylon* direncanakan berdasarkan susunan kabelnya. Oleh karena itu, pertimbangan estetika juga termasuk hal yang dipikirkan dan cermat dalam mendetailkan sangat penting dalam kesuksesan keseluruhan tampilan jembatan (Chen dan Duan, 2014).

Pylon (menara) jembatan *cable stayed* berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur, menara dapat terbuat dari baja atau beton bertulang. Ada beberapa bentuk menara yang dapat diterapkan pada jembatan *cable stayed*, seperti *H-frame*, *Single*, *Double towers*, *Portal* dan *A-Shaped*. Bentuk-bentuk menara tersebut dipilih berdasarkan susunan kabel, estetika, pertimbangan biaya, kebutuhan perencanaan dan parameter lainnya. Kebanyakan tower memiliki struktur kolom

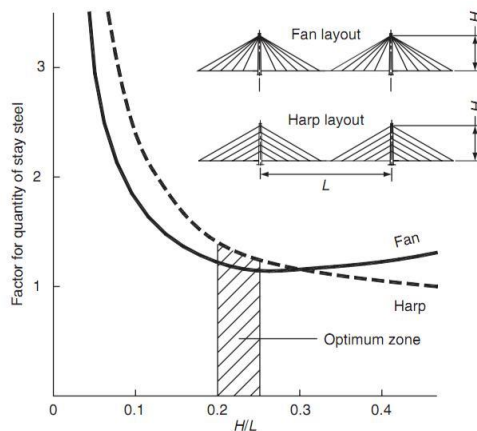
berongga (*hollow*) agar dapat mengakomodir adanya tangga, kerekan dan jaringan listrik. Bisa dilihat pada **Gambar 2.25**.



Gambar 2. 25 Tipe-tipe menara jembatan *cable-stayed*.
(Brockenbrough and Merrit, 2011)

1. Tinggi Pylon

Perencanaan untuk tinggi *pylon* dapat dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang deck (L) dengan range nilai $0,2 - 0,25$ (Parke and Huson, 2008), lihat **Gambar 2.26**



Gambar 2. 26 Tinggi optimum *pylon*. (Parke and Huson, 2008)

2. Pengangkuran Kabel

Kabel dapat diangkur pada *pylon* atau melewati *pylon* dengan bantuan *cable saddle*. *Cable saddles* digunakan pada bentang yang pendek dan menengah, juga pada daerah yang memiliki geometri sederhana. Bagaimanapun, biaya dan tegangan tambahan pada kabel yang menjadi pertimbangan dalam pembatasan penggunaan *saddle*. (Chen dan Duan, 2014)

3. Material Pylon

Walaupun pada awalnya jembatan *cable stayed* dibangun menggunakan *pylon* baja, namun beton menjadi alternatif pilihan yang lebih ekonomis. Beton saat ini umumnya dipilih sebagai material *pylon* untuk jembatan *cable-stayed* yang besar dan selalu menggunakan perancah yang dapat bergerak ke atas dalam konstruksinya. Bagaimanapun, *pylon* baja masih menjadi opsi yang lebih baik untuk area yang memiliki gempa tinggi. (Chen dan Duan, 2014)

2.2 Pembebanan

Pembebanan pada struktur jembatan berdasarkan SNI 1725-2016 meliputi:

1. Pembebanan pada Struktur Sekunder

Pembebanan pada trotoar (SNI 1725-2016 pasal 8.9)

Pembebanan pada railing (SNI 1725-2016 pasal 11)

2. Pembebanan pada Struktur Utama

Pembebanan pada Lantai Kendaraan

Beban permanen, berupa berat sendiri box girder, palat kendaraan, lapisan aspal, dan beban mati lainnya (SNI 1725-2016 pasal 7)

Beban lalu lintas, berupa beban terbagi rata, beban garis, beban truk, gaya rem, gaya sentrifugal, beban fatik, dll (SNI 1725-2016 pasal 8)

Penentuan beban angin (SNI 1725-2016 pasal 9.6)

Penentuan beban gempa (SNI 1725-2016 pasal 9.7)

Penentuan beban aksi lingkungan (SNI 1725-2016 ps.9)

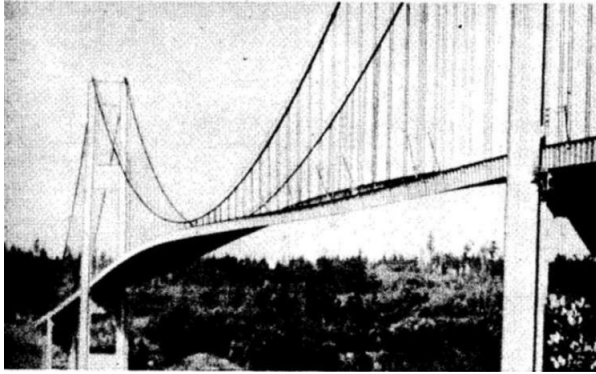
3. Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan untuk struktur jembatan *cable-stayed* dilakukan berdasarkan ketentuan Pasal 7.4 Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/2015 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel.

2.3 Stabilitas Aerodinamik

Stabilitas aerodinamik dilakukan untuk mengetahui perilaku angin terhadap struktur. Perilaku aerodinamik terjadi karena bentang jembatan yang relatif besar. Aliran angin yang mengenai struktur jembatan dapat mengakibatkan terjadinya osilasi torsi dan lentur. Selain itu besarnya sudut datang angin terhadap struktur jembatan juga dapat mempengaruhi terjadinya gaya angkat. Hal pertama yang harus dilakukan pada kontrol stabilitas aerodinamik adalah mengetahui besarnya frekuensi alam struktur.

Pada jembatan *cable-stayed*, bentang utama biasanya memiliki bentang yang besar, angin yang menabrak *deck* jembatan menyebabkan struktur mengalami osilasi lentur dan torsi. Tacoma *Bridge* adalah contoh kegagalan struktur *cable-stayed* (**Gambar 2. 27** dan **Gambar 2. 28**) dimana struktur nya terlalu langsing dengan bentang $L=853$ m dan lebar kendaraan $B=12$ m. (Soegihardjo, 2007)

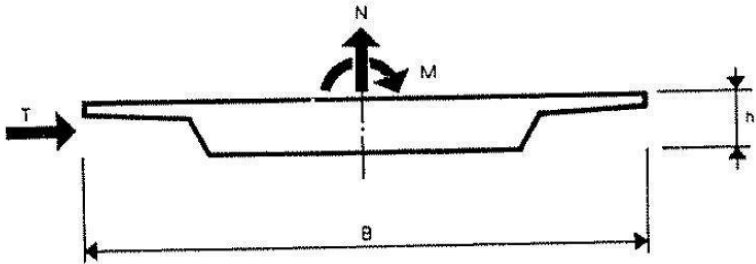


Gambar 2. 27 Gerak torsi Jembatan Tacoma sesaat sebelum runtuh, 7 Nopember 1940 (Soegihardjo, 2007).



Gambar 2. 28 Keruntuhan jembatan Tacoma (Soegihardjo, 2007).

Pada bagian struktur yang dikenai gaya angin akan terjadi gaya statis yang terbagi menjadi 3, yaitu: gaya horizontal (T), gaya vertikal (N), dan momen torsi (M)



Gambar 2. 29 Gaya T, N, dan M akibat angin (Walther, 1999)

Ketiga gaya tersebut (**Gambar 2.29**) bergantung pada faktor tekanan angin (q), bentuk penampang yang berpengaruh pada koefisien C_T , C_N , dan C_M serta besarnya sudut datang angin terhadap struktur. Gaya-gaya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = C_T \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2-1)$$

$$N = C_N \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2-2)$$

$$M = C_M \cdot q \cdot B \cdot h \cdot l \quad (2-3)$$

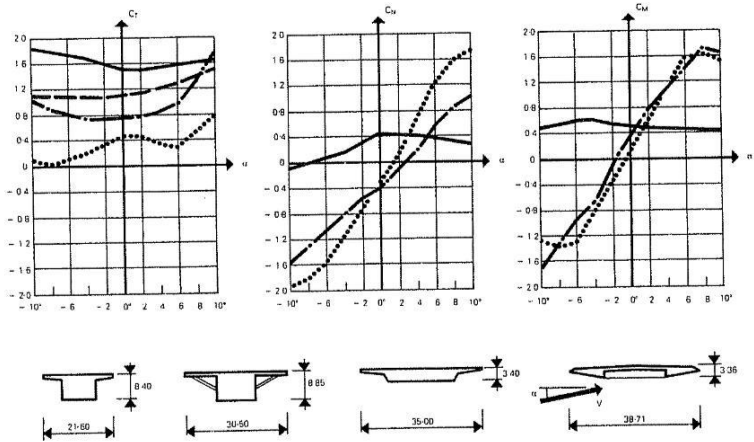
Dimana :

l = Panjang struktur

h = Tinggi total lantai kendaraan

B = Lebar lantai kendaraan.

Nilai koefisien C_T , C_N , dan C_M tergantung pada penampang gelagar utama jembatan seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.30**



Gambar 2. 30 Koefisien C_T , C_N , dan C_M

Pengaruh akibat beban angin dinamis:

1. Vortex-shedding (Pusaran Angin)

Terjadinya fenomena vortex-shedding **Gambar 2.31** digambarkan sebagai terbentuknya pusaran angin pada saat angin mengalir di sekitar silinder yang diam. Setiap pusaran angin yang terbentuk akan mengakibatkan terjadinya gaya lateral yang bekerja pada silinder. Dalam pemodelan aerodinamik jembatan cable-stayed, silinder yang diam dapat dianggap sebagai penampang gelagar jembatan.



Gambar 2. 31 Proses terbentuknya pusaran angin (Troitsky, 1988).

Dalam sebuah studi yang dilakukan oleh Von Karman, efek dari *vortex-shedding* dapat dievaluasi menggunakan angka Reynolds (Re) dan angka Strouhal (S). angka Strouhal digunakan untuk mengetahui besarnya kecepatan angin sedangkan angka Reynold digunakan untuk mengetahui apakah struktur berada dalam rentang nilai $10^5 < Re < 10^7$ seperti disyaratkan.

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu} \quad (2.4)$$

$$S = \frac{f \cdot h}{V} \quad (2.5)$$

Dimana:

- V = kecepatan angin (cm/s)
- B = lebar gelagar utama (cm)
- ν = viskositas kinematis udara (0,15 cm²/s)
- h = tinggi gelagar utama (m)
- f = frekuensi pusaran angin

Besarnya frekuensi yang ditinjau ada dua, yaitu frekuensi akibat lentur dan torsi:

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{max}} \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

$$f_r = \frac{\bar{b}}{2r} f_B \quad (2.7)$$

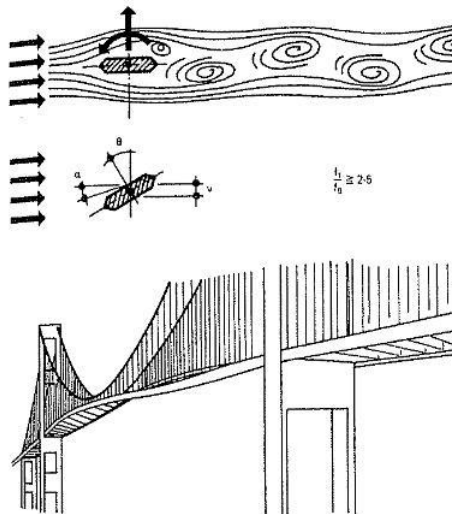
Dimana:

- f_B = frekuensi akibat lentur
- f_r = frekuensi akibat torsi

- g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
 v_{\max} = deformasi statik maksimum
 \bar{b} = jarak antar kabel arah horizontal
 r = radius girasi

2. *Flutter* (Efek Ayun)

Flutter merupakan sebuah keadaan dimana gelagar mengalami tekanan dari angin dengan kecepatan tertentu sehingga mengalami perpindahan dan torsi yang jika nilainya terlalu besar akan mengakibatkan deformasi yang berlebihan dan mengarah pada kerusakan struktur. Untuk meminimalisasi terjadinya *flutter* maka struktur harus direncanakan berdasarkan kecepatan angin rencana yang lebih besar dibanding kecepatan angin terbesar yang pernah terjadi di lokasi.



Gambar 2. 32 Deskripsi Fenomena *Flutter* (Walther, 1999)

Deskripsi fenomena *flutter* dapat dilihat pada **Gambar 2.32**. Dalam kontrol efek *flutter* dengan menggunakan metode *Kloepfel* akan didapatkan besarnya kecepatan angin maksimum yang dapat diterima struktur.

2.4 Metode Pelaksanaan

Ada tiga cara yang umum dipakai untuk *stiffening girder* (Soegihardjo, 2007), yaitu *Staging method*, *Push out method*, dan *Cantilever method*.

2.5.1 *Staging method*

Metode *staging* biasanya digunakan pada lokasi jembatan dengan lalu lintas yang tidak terlalu padat dan tinggi bebasnya memungkinkan untuk pemasangan menggunakan perancah. Pada metode ini setiap segmen jembatan dicor dengan menggunakan bekisting yang ditahan oleh perancah. Kabel dapat dipasang pada saat pengecoran beton atau pengelasan baja (tergantung material gelagar utama) dan di *jacking* setelah konstruksi gelagar utama selesai.

Keuntungan menggunakan *staging method* adalah :

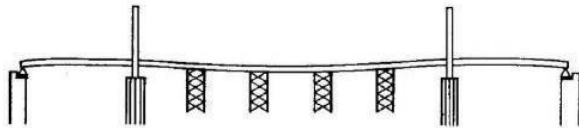
1. Teliti dalam mengikuti bentuk geometrik dan tahanan yang dipersyaratkan pada *erection*.
2. Biaya rendah pada ruang bebas yang rendah.

Urutan pelaksanaannya menggunakan *staging method* adalah :

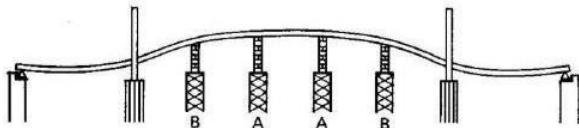
1. Setelah tembok pangkal dan pilar selesai dibuat, mulai dibuat pilar penolong sementara.
2. Gelagar dipasang dengan sistem *cantilevering*, sampai pada pilar penolong.
3. Pada saat itu pilar penolong berikutnya sudah selesai

dan gelagar dapat dipasang terus sampai pada pilar penolong kedua.

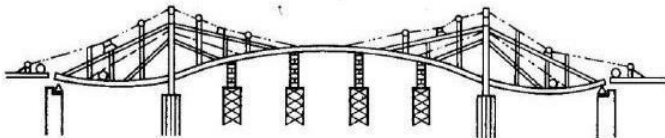
4. Dan seterusnya, sampai keseberang (berat tiap bagian gelagar dapat mencapai: 27,5 ton; dengan panjang: 20m).



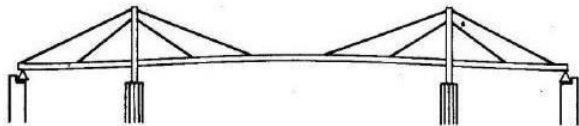
1. Installation of main girder and tower



2. Jack up (Point A = 140 cm, point B = 85 cm)



3. Installation of cables



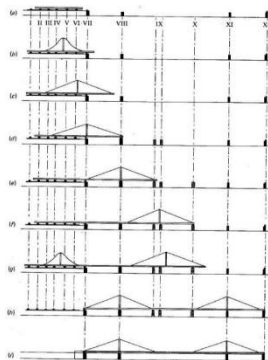
Gambar 2.33 Prosedur pelaksanaan *Staging Method*.
(Soegihardjo, 2007)

5. *Pylon* diselesaikan pemasangannya.
6. Kabel – kabel dipasang .
7. Pada pilar penolong dapat dipasang *jack*, untuk memberi bentuk geometrik yang ditentukan, pada tahap *erection*.

2.5.2 *Push out method*

Dipakai terutama bila lalulintas di bawah jembatan tidak boleh diganggu oleh adanya sistem *erection* jembatan; sedangkan pemakaian cara *cantilever* dinilai tidak praktis pada situasi yang ada di tempat jembatan.

Pada metode ini, bagian-bagian bangunan atas dirangkai di tepian sungai, kemudian secara bertahap didorong maju melintas bentangan-bentangan antara pilar-pilar yang telah dibuat lebih dahulu, termasuk rol atau perletakan geser teflon di atasnya. Gelagar ini dapat didorong dari dua sisi, masing-masing tepian, atau hanya dari satu tepian saja. Bisa dilihat pada **Gambar 2. 34**

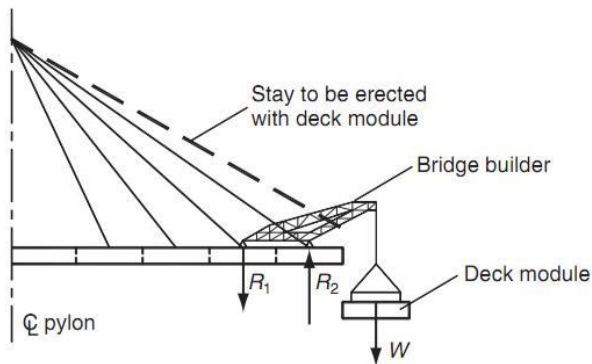


Gambar 2. 34 Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out.
(Soegihardjo, 2007)

Pylon (dengan kabelnya) saat didorong maju, duduk diatas gelagar; setelah sampai ke tempat *pylon* yang direncanakan, *pylon* dihubungkan dengan pilarnya. Berat yang dapat didorong kedepan mencapai 1500 ton.

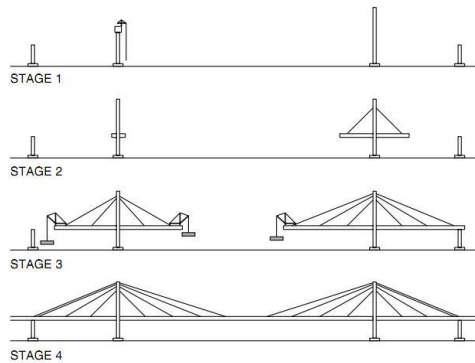
2.5.3 Cantilever Method

Pelaksanaan menggunakan metode kantilever biasanya digunakan untuk struktur jembatan dengan material beton atau baja dengan tinggi bebasa yang besar sehingga kurang memungkinkan untuk penggunaan perancah. Untuk jembatan dengan gelagar utama dari material beton urutan pekerjaan dimulai dengan pemasangan *traveler* pada bagian abutmen, pemasangan bekisting, pemasangan ducting kabel pada gelagar utama, pengecoran gelagar utama, pemasangan kabel dan dilanjutkan *jacking* kabel, kemudian *launching traveler*. Bisa dilihat pada **Gambar 2.35**.



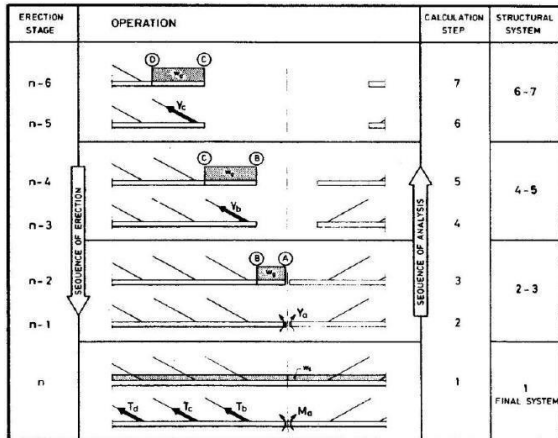
Gambar 2. 35 Metode pelaksanaan kantilever (Parke and Huson, 2008)

Proses tersebut diulangi hingga kedua sisi jembatan bertemu di tengah sedangkan untuk jembatan dengan gelagar utama dari material baja pelaksanaannya hampir sama hanya pada proses pemasangan bekisting diganti menjadi pemasangan profil dilanjutkan dengan pengelasan atau penyambungan dengan segmen sebelumnya, serta tidak ada proses pengecoran. Bisa dilihat pada **Gambar 2.36**.



Gambar 2. 36 Metode pelaksanaan kantilever (Gimsing dan T. Christos , 2012).

Dalam kenyataannya urutan antara analisis dan pelaksanaan jembatan pada sistem kantilever berlawanan arah, seperti terlihat pada contoh ilustrasi jembatan dengan enam kabel pada bentang utama di bawah:

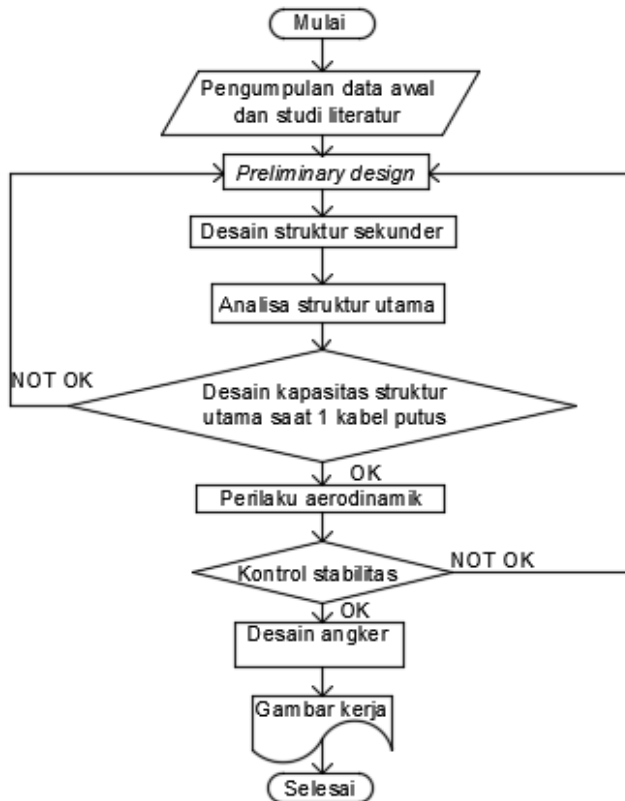


Gambar 2. 37 Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan urutan pelaksanaan. (Gimsing, 1983)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Alur perencanaan jembatan *cable-stayed* dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Dalam studi literatur penulis menggunakan beberapa referensi terkait berupa jurnal, modul kuliah, buku, majalah, peraturan, maupun internet. Data perencanaan yang dibutuhkan antara lain:

1. Nama dan lokasi: Jembatan Lemah Ireng 1, Kecamatan Bawen
2. Panjang bentang: 879 m
3. Lebar *existing*: 25 m (4/2 D)
4. Material utama: Beton

Perencanaan ulang Jembatan Lemah Ireng 1 ini mengacu pada beberapa peraturan antara lain:

1. Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016)
2. Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa (RSNI 2833:2016)
3. Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T 03:2005)
4. Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T 12:2004)

Data Angin (meteoblue.com, 9/11/2018):

1. Arah S: 15 km/h
2. Arah SSE: 10 km/h
3. Arah SE: 10 km/h
4. Arah ESE: 15 km/h
5. Arah E: 15 km/h
6. Arah ENE: 15 km/h
7. Arah NE: 15 km/h
8. Arah NNE: 15 km/h
9. Arah N: 10 km/h

Untuk arah yang lain bernilai 0 km/h.

Data Temperatur (meteoblue.com, 9/11/2018):

Suhu tertinggi yang pernah terjadi: 37° C

Suhu terendah yang pernah terjadi: 21° C

Data Tanah (petagempa.pusjatan.pu.go.id)

Lokasi: Bawen

Kelas tanah: Tanah Keras (C)

S_s (g): 0,516

S₁ (g): 0,247

3.3 Preliminary Design

3.3.1 Konfigurasi Susunan Kabel

Susunan kabel arah memanjang berupa *semi fan pattern*, sedangkan susunan arah melintang berupa *Two Inclined Planes System*.

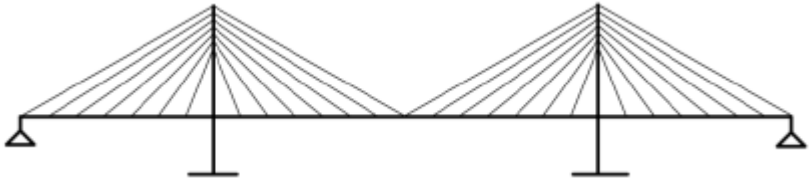
pattern. Plan design sebagai berikut :

1. Susunan jembatan, *cable-stayed* menggunakan *Three-span* seperti pada gambar

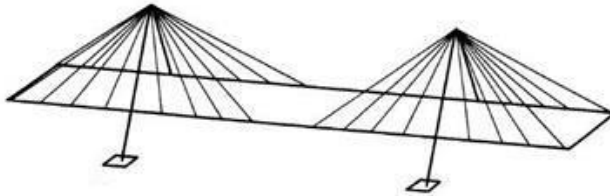


Gambar 3. 2 Susunan kabel *three-Span*

2. Konfigurasi kabel, memanjang menggunakan *semi fan pattern* dengan kondisi posisi kabel melintang *two inclined planes system* seperti pada gambar



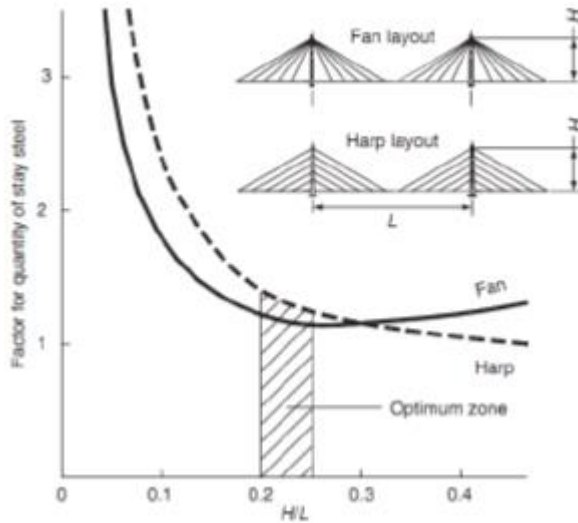
Gambar 3. 3 Susunan kabel *Semi Harp Pattern*



Gambar 3. 4 Susunan kabel *Two Inclined Planes System*

3. Jarak kabel pada gelagar,
 - a) Jika berupa gelagar baja maka jaraknya (15 m s.d 25 m) (Walther dkk, 1999)
 - b) Jika berupa gelagar beton maka jaraknya (5 m s.d 10 m) (Walther dkk, 1999)

4. Tinggi *pylon* (H), perencanaan untuk tinggi *pylon* dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang *deck* (L) dengan range nilai 0,2-0,25 (Parke and Hudson,2008)



Gambar 3. 5 Tinggi optimum *pylon*

3.3.2 Dimensi Kabel

Menurut Gimsing (1983) dimensi awal kabel didekatkan dengan persamaan berikut :

$$Asc = \frac{(W\lambda + P)\cos\theta}{(0,8f_u)\sin 2\theta/2 - \gamma a} \quad (3. 1)$$

Dimana :

Asc : Luas penampang *strand*

W : Beban mati dan hidup merata

P : Beban terpusat

λ : Jarak antar angker kabel pada gelagar

θ : Sudut kabel terhadap horisontal

γ : Berat jenis kabel (77.01 kN/m^3)

f_u : Tegangan putus kabel (1860 Mpa)

a: jarak mendatar dari *pylon* ke angker kabel pada gelagar (*girder*)

Menghitung jumlah kabel (Gimsing, 1983):

$$n = \frac{Asc}{As} \quad (3.2)$$

Dimana:

As : Luas penampang kabel

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan akibat berat sendiri. Tetapi dalam analisa dapat digunakan kabel yang lurus dengan koreksi pada nilai modulus elastisitasnya, sebagai berikut (Munaf dan Ryanto, 2004):

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{(\gamma l)^2}{12\sigma^3} E} \quad (3.3)$$

Dimana:

E_{eq} : Modulus elastisitas ekivalen

E : Modulus elastisitas kabel (200000 MPa)

γ : Berat jenis kabel (77.01 kN/m³)

l : Jarak titik gantung kabel

3.3.3 Dimensi Gelagar Melintang

Dimensi gelagar melintang dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$d \geq \frac{L}{9} \quad (3.4)$$

Untuk menentukan dimensi gelagar melintang kantilever dapat digunakan persamaan berikut:

$$d \geq \frac{L}{6} \quad (3.5)$$

3.3.4 Dimensi Lantai Kendaraan

Menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Construction & Design of Cable-Stayed Bridges*”, nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) s.d. (1/100).

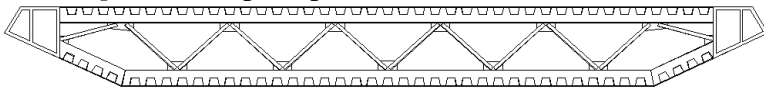
Untuk Dimensi struktur utama (box baja) preliminary design nya dapat didekati dengan rumusan berikut:

$$h = \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \quad (3.6)$$

Sedangkan untuk dimensi gelagar memanjang sebagai pengaku dari gelagar melintang dapat didekati dengan rumusan berikut:

$$d \geq \frac{L}{12} \quad (3.7)$$

Bentuk gelagar jembatan di desain menggunakan *orthotropic deck* seperti pada **Gambar 3.6**



Gambar 3. 6 Orthotropic deck

3.3.5 Dimensi Pylon

Preliminary pylon berdasarkan besarnya gaya aksial tekan dan momen lentur (akibat lentur diasumsikan 50% dari pengaruh aksial) dari gaya aksial pada kabel untuk satu sisi kolom vertikal *pylon* tersebut.

1. Material : Beton bertulang
2. f_c' : 70 MPa
3. f_y : 410 MPa
4. Bentuk : *Pylon A-Tower* dengan sistem *two inclined planes*



Gambar 3. 7 Bentuk pylon menggunakan bentuk *A-Tower*

Tinggi *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$h \geq \frac{L}{6} \text{ sampai } \frac{L}{8} \quad (3.8)$$

(Troitsky, 1977)

$$\frac{h}{L} = 0,2 \quad (3.9)$$

(Podolny, 1986)

Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{perlu}} = \frac{T}{f'c} \quad (3.10)$$

Dimana:

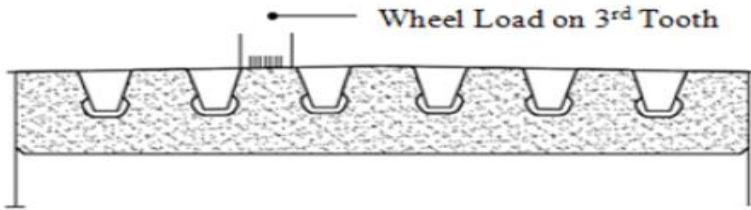
A_{perlu} : Luas penampang *pylon*

T : Gaya aksial total pada *pylon*

3.4 Desain *Orthotropic Deck*

3.4.1 Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan berupa *ribs* dan *floorbeam* seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 8 *Ribs dan Floorbeam*

Menurut manual desain dek ortotropik yang dikeluarkan oleh U.S. *Department of Transportation*, perlu dilakukan kontrol tegangan kritis dari *orthotropic deck* menggunakan persamaan dibawah:

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$F_{cr} = Q \left[0.658^{QF_y/F_c} \right] F_y$$

$$\frac{KL}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

Dimana:

Fe: tegangan kritis tekuk elastis = $\pi^2 E / (KL/r)^2$

Q : faktor reduksi akibat kelangsingan elemen = A_{eff} / A

K : faktor panjang efektif

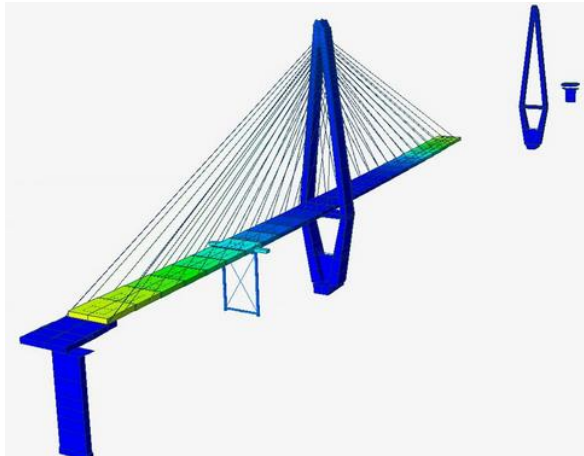
L : panjang bentang dari *rib*

r : radius girasi = I_x / A

3.5 Analisis Statis Struktur Utama

Struktur utama terdiri dari gelagar utama (*Twin Box Girder*), kabel dan struktur *Pylon*. Analisa menggunakan program MIDAS/Civil. Analisis jembatan *cable stayed* terdiri dari analisis statik dan dinamik, hal ini dimaksudkan untuk menentukan variasi gaya pada elemen pendukung beban (gelagar, *pylon*, dan kabel), sedangkan analisis dinamis digunakan untuk menentukan kestabilan struktur.

Permodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu *MIDAS/Civil*.



Gambar 3. 9 Permodelan di MIDAS CIVIL

Dengan pembebanan struktur utama sebagai berikut:

Beban tetap

a) Berat sendiri

Berat sendiri merupakan berat elemen bahan dari struktur, ditambah dengan elemen bahan non struktur yang dianggap tetap. Berikut merupakan berat isi dan kerapatan massa untuk berat sendiri dari beberapa bahan SNI 1725-2016 Pasal 7.1 tabel 2. Bisa dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Tabel berat jenis elemen

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (hard wood)	11,0	1125

Berikut merupakan faktor beban untuk berat sendiri dari beberapa bahan menurut SNI 1725-2016 Pasal 7.2 pada tabel 3. Bisa dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Faktor Beban untuk Beban Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

b) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada struktur yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah seiring dengan bertambahnya umur struktur. Berikut merupakan faktor beban untuk beban mati tambahan menurut SNI 1725-2016 Pasal 7.3 pada tabel 4. Bisa dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Faktor Beban untuk Beban Sendiri

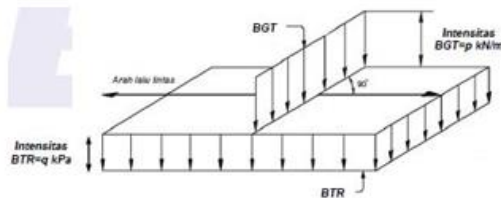
Tipe beban	Faktor beban (γ_{MH})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MH}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MH}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Beban Lalu lintas

a) Beban lajur “D”

Beban lajur “D” menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.3 terdiri dari beban tersebar merata (UDL) yang digabung dengan beban garis (KEL), lihat Gambar 3.13 berikut :



Gambar 3. 10 Beban Lajur “D”

Beban terbagi rata (UDL) mempunyai intensitas q kPa, dengan besarnya q tergantung pada panjang total:

$$L \leq 30r: q = 9.0 \text{ kPa} \quad (3.40)$$

$$L > 30r: q = 9.0 (0.5 + 15/L) \text{ kPa} \quad (3.41)$$

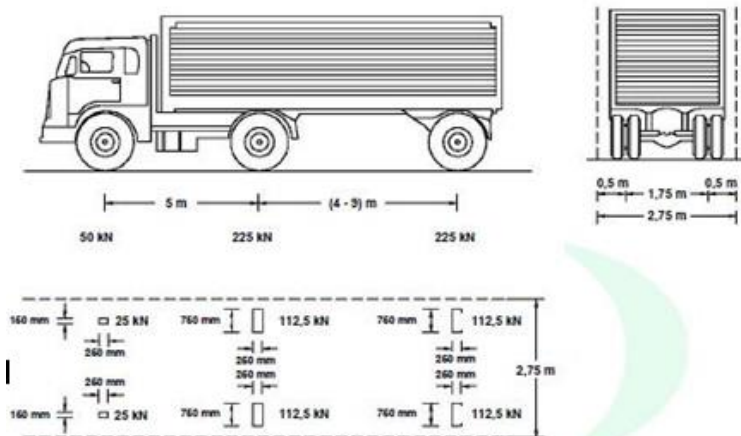
Panjang yang dibebankan L adalah panjang total UDL yang bekerja pada jembatan. Beban garis (KEL) dengan intensitas p KN/m harus ditempatkan tegak lurus arah lalu-lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49.0 kN/m. Bisa dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 4 Faktor untuk Beban Lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{DP})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{DP}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{DP}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Garder Baja	1,00	2,00

b) Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.4 terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada Gambar 3.6. Berat sendiri dari masing-masing as disebar menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai, jarak antara dua as tersebut antara 4.0 m sampai dengan 9.0m, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.

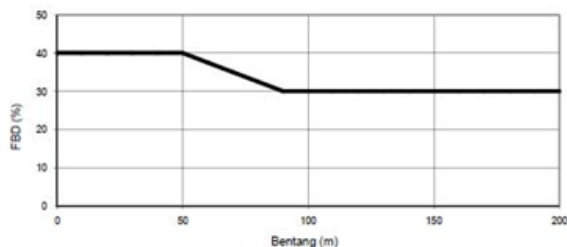


Gambar 3. 11 Beban truk

Tabel 3. 5 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Dan untuk faktor pembesarnya (FBD) bisa dilihat di **Gambar 3. 13**, dimana nilai FBD dipengaruhi oleh bentang jembatan



Gambar 3. 12 Faktor beban dinamis untuk beban “T” untuk pembebanan lajur “D”

Beban Lingkungan

Beban lingkungan dapat terjadi karena pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan penyebab lainnya.

Beban Angin

a) Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1 yang ditentukan untuk angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.42)$$

Dimana,

- V_{DZ} : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
- V_{10} : kecepatan angin pada elevasi 10000 m di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- V_B : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
- Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin rencana dihitung ($Z > 10000$ mm)

- V_0 : kecepatan gesekan angin, yang meruakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 2.18, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meterologi, ditentukan pada tabel 2.18 (mm)

V_{10} diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survei angin pada lokasi jembatan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 3. 6 Nilai V_0 dan Z_0

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

b) Beban Angin pada Struktur (EW_S)

Tekanan angin rencana dapat ditetapkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.43)$$

Dimana:

P_B : Tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam **Tabel 3. 7**

Tabel 3. 7 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/m pada bidang tekan dan 2,2 kN/m pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/m pada balok atau gelagar.

c) Gaya Angin pada Kendaraan (EW_I)

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan. Komponen beban angin yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil sesuai dalam **Tabel 3. 8** di mana sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 3. 8 Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan.

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Pengaruh Gempa

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.7 menyatakan bahwa jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (3.44)$$

Dimana,

E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : koefisien respons gempa elastis

R_d : faktor modifikasi respons

W_t : berat total struktur terdiri dari beban mati dan hidup yang sesuai (kN)

Beban gempa diambil sebagai beban horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) yang bergantung pada jenis struktur itu sendiri. Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai daerah gempa dan periode ulang gempa rencana.

3.6 Analisa Metode Konstruksi

Analisa metode konstruksi jembatan *cable stayed* ini didesain dengan *balanced-cantilver method*. Semua beban-beban yang ada didalam proses konstruksi tersebut di-inputkan kedalam program MIDAS/Civil sehingga didapat hasil gaya per tahapan analisa.

3.7 Desain Angker

3.7.1 Desain angker pada gelagar

Pada desain ini anker dipasang sesuai dengan jumlah *strand* yang direncanakan dari perhitungan sebelumnya. Dilakukan kontrol tegangan pelat baja pada saat *stressing* (pemberian gaya tarik).

- Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik :

$$f_{yp} = 0,8.f_y \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p}} - 0,2 \quad (3.45)$$

- Tegangan di bawah pelat anker :

$$f_t = \frac{P}{A_p} \quad (3.46)$$

- Kuat lentur pelat sayap

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.2

$$\phi R_b = \phi . 6,25 . t_f^2 . f_y \quad (3.47)$$

- Kuat leleh pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3

$$\phi R_b = \phi . (5k + N) . t_w . f_y \quad (3.48)$$

dimana :

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

N = dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k .

- Kuat tekuk dukung pelat badan

SNI 03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)

$$\phi R_b = 0,39 . t_w^2 \left[1 + \left\{ 4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E . f_y . t_f}{t_w}} \quad (3.49)$$

- Kuat tekuk lentur pelat badan

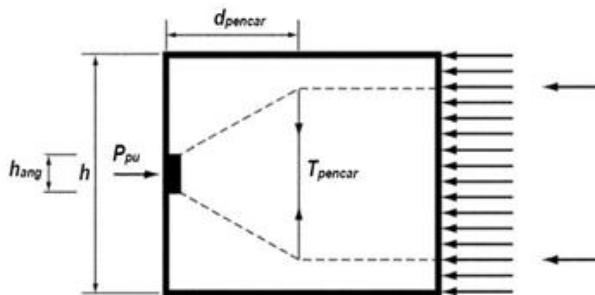
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.6

$$\phi R_b = \frac{12,08 t_w^3}{h} \sqrt{E f_y} \quad (3.50)$$

3.7.2 Desain anker pada *pylon*

Anker kabel yang dipasang menyesuaikan jumlah *strand* kabel yang telah dihitung. Analisa ini meliputi cek tegangan pada beton pada saat pemberian gaya tarik (*stressing*). Pada daerah pengangkuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau ankur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan *stressing*. Bisa dilihat pada **Gambar 3.14**. Sesuai SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.2 untuk daerah umum digunakan rumus :

$$T_{\text{peccar}} \sim 0,25P_{pu} \quad (3.51)$$



Gambar 3. 13 Daerah umum pada penampang persegi

3.8 Analisis Dinamis

Perilaku aerodinamis akibat angin terhadap jembatan *cablc staycd* perlu untuk dianalisa dan dikontrol, karena perilaku ini merupakan salah satu penyebab terjadinya kegagalan struktur. Analisa stabilitas pada desain ini meliputi *vortex-shedding* (tumpahan pusaran angin) dan *flutter* (efek ayunan). Akan tetapi dalam menganalisa efek angin yang bekerja pada jembatan seperti desain ini,

sebenarnya perlu juga adanya *wind tunnel test* menggunakan model.

3.8.1 *Efek Vortex-Shedding* (Pusaran Angin)

Pada kecepatan angin tertentu yang disebut dengan kecepatan kritis, akan terjadi pusaran angin (*vortex-shedding*). Untuk memperoleh nilai percepatan kritis tersebut, digunakan persamaan angka Strouhal (S).

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (3.52)$$

(Walther, 1999)

Dimana :

S = Angka Strouhal

f_B = Frekwensi alami lentur balok

h = Tinggi lantai kendaraan

V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

Selanjutnya dilakukan evaluasi efek pusaran dengan angka *Reynold* (Re). Akibat kecepatan angin yang bekerja besarnya angka *Reynold* harus memenuhi persyaratan, nilai *Re* harus berkisar antara $10^5 - 10^7$. Berikut persamaan untuk angka *Reynold*.

$$Re = \frac{VB}{\nu} \quad (3.53)$$

(Walther, 1999)

Dimana :

Re = Angka *Reynold*

V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

B = Lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$ = Viskositas kinematik udara (0,15 cm²/dt)

Akibat adanya terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Fo = \rho \frac{V^2}{2} Ch \quad (3.54)$$

(Walther, 1999)

Dimana :

Fo = Gaya angkat

ρ = Berat volume udara (1,3 kg/m³)

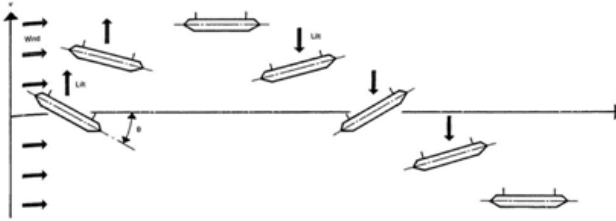
V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

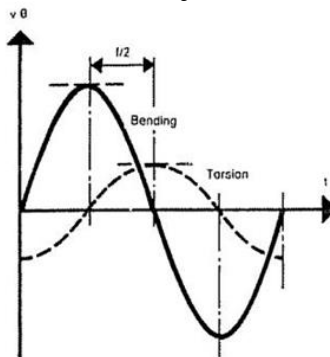
h = Tinggi lantai kendaraan

3.8.2 Efek *Flutter* (Efek Ayun)

Fenomena efek ayunan yang terjadi pada kecepatan kritis akan menimbulkan ayunan lentur (fB) dan ayunan torsi (fT), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Maka dari itu desain yang ideal, nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase sebesar $\pi/2$ atau berkisar 1,57 detik. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada **Gambar 3.15** dan **Gambar 3.16** berikut ini:



Gambar 3. 14 Representasi sederhana *flutter* pada lantai kendaraan jembatan



Gambar 3. 15 Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$
(Walther dkk, 1999)

3.9 Kontrol Stabilitas

Analisa permodelan stabilitas aerodinamis jembatan *cable-stayed* menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

3.10 Pengerjaan Gambar

Tahapan akhir dari perencanaan berupa penyusunan gambar kerja, dalam pengerjaannya digunakan program bantu AutoCAD.

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

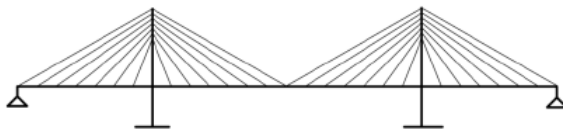
4.1 Preliminary Design

Dalam melakukan perhitungan suatu struktur jembatan, perlu dilakukan perkiraan dari dimensi-dimensi elemen struktur awal jembatan berdasarkan referensi terkait yang disesuaikan dengan parameter yang telah ada sebelumnya. Tatanan sistem kabel, dimensi awal gelagar, kabel dan pylon akan digunakan sebagai data awal untuk menganalisa struktur tersebut. Jika dalam analisa selanjutnya ternyata dimensi awal tidak memenuhi syarat kemampuan strukturnya, maka parameter-parameter sebelumnya dapat diubah seperlunya.

4.1.1 Kabel

4.1.1.1 Konfigurasi Susunan Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa *Two Inclined Planes System*, sedangkan untuk arah memanjang berupa *Semi Fan Pattern*, lihat **Gambar 4. 1**



Gambar 4. 1 Pola *semi-fan*

1) Jarak Pemasangan

Pada modifikasi perencanaan ini direncanakan konstruksi gelagar utama dari material baja. Jarak kabel pada gelagar menurut Whalter dkk. (1999) :

- Dek beton (5 m – 10m)

- Dek baja (15 m – 25 m)

Pada desain ini menggunakan jarak kabel pada gelagar sejauh 20 m.

2) Material

Kabel yang digunakan berupa stranded-cables yang tersusun dari 7 buah kawat diameter 15,2 mm ASTM A416-74 Grade 270 dengan spesifikasi pada **Tabel 4. 1**.

3) Tinggi *pylon* (H)

Menurut Parke dan Huson (2008), tinggi *pylon* dapat diperkirakan dengan perbandingan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang utama (L) dengan kisaran nilai 0,2 – 0,25. H adalah jarak antara muka lantai kendaraan dengan angker tertinggi yang ada pada *pylon*.

Direncanakan $0,2 < \frac{H}{L} < 0,25$

L = 440 m

Maka diperoleh $88 < H < 110$. Digunakan H = 107,5 m.

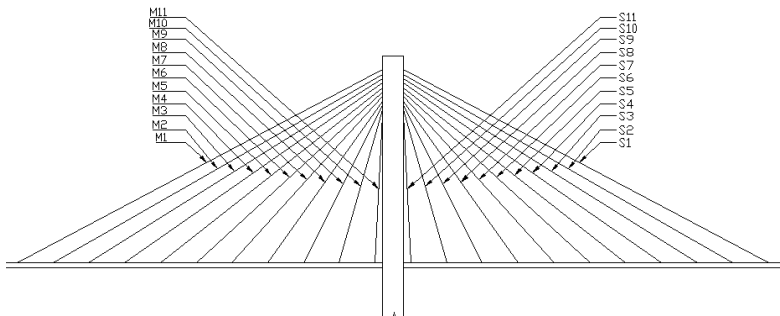
4.1.1.2 Dimensi Kabel dan Angker

Menurut RSNI T-03-2005 pasal 12.6 kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm². Ada dua jenis kabel paralel VSL *7-wire strand* yang dapat digunakan untuk jembatan kabel, lihat **Tabel 4. 1**

Tabel 4. 1 Jenis Kabel dan Angkur

Standard	ASTM A 416-06 Grade 270	<u>Euronorme</u> 138-3
Ø (mm)	15,2	15,7
A _s (mm ²)	140	150
f _u (f _{ijin} =0,7f _u)(Mpa)	1860 (1302)	1770 (1239)
<u>Ukuran anker</u>	7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand	

Dalam perencanaan akan digunakan kabel tipe ASTM A 417-06 Grade 270 (15,2 mm; 1860 MPa). Kabel bentang tepi (*side span*) diberi simbol “S” dan bentang tengah (*mid span*) diberi simbol “M”. Penomoran kabel dimulai dari kabel yang terjauh dengan *pylon*.

**Gambar 4. 2** Penomoran kabel

Dimensi awal kabel didekatkan dengan persamaan berikut (Gimsing, 1983):

$$A_{sc} = \frac{(W\lambda + P)\cos\theta}{\frac{(0,8f_u)\sin 2\theta}{2} - \gamma \cdot a}$$

Dimana

A_{sc} = Luas penampang kabel yang diperlukan

W = Beban mati dan hidup merata

P = Beban terpusat

λ = Jarak antar angker kabel pada gelagar

θ = Sudut kabel terhadap horizontal

γ = Berat jenis kabel (77,01 kN/m³)

f_u = Tegangan putus kabel (1860 MPa)

a = Jarak mendatar dari pylon ke angker pada gelagar

Jumlah kabel (n)

$$n = \frac{A_{sc}}{A_s}$$

Dimana

A_s = Luas penampang kabel yang disediakan

Perhitungan $W_\lambda + P$:

Masing-masing kabel dibebani oleh gelagar sepanjang 20 m, lebar jalan selebar 2 x 11,7 m; dan lebar gelagar selebar 29 m.

Akibat beban hidup:

BGT (Beban Garis Terpusat):

P = 49 kN/m

FBD = 0,3

$W_{BGT} = P \times \text{Lebar jalan} \times (1 + \text{FBD}) \times 0,5$

= 49 x 23,4 x (1 + 0,3) x 0,5

= 745,29 kN

BTR (Beban Terbagi Rata):

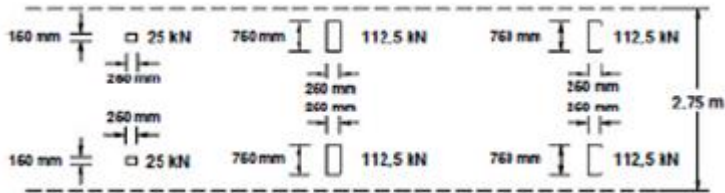
q = 9 kN/m²

$$\text{FBD} = 0,3$$

$$\begin{aligned} W_{\text{BTR}} &= q \times \text{Lebar jalan} \times \text{Panjang gelagar} \times (1+\text{FBD}) \times 0,5 \\ &= 9 \times 23,4 \times 20 \times (1+0,3) \times 0,5 \\ &= 2737,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{BGT}} + W_{\text{BTR}} &= 745,29 \text{ kN} + 2737,8 \text{ kN} \\ &= 3483,09 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Truk “T”:



Gambar 4. 3 Ilustrasi beban truk “T”

$$\text{Beban 1 truk} = 500 \text{ kN}$$

Dalam rentang 20 m bisa saja terdiri dari 2 buah truk, maka beban truk dikalikan dengan 2

$$\text{Beban total akibat truk} = 1000 \text{ kN}$$

Digunakan BGT + BTR karena $\text{BGT} + \text{BTR} > \text{T}$

Akibat beban mati:

Beban akibat *Orthotropic deck*, berdasarkan Surat Edaran Menteri PUPR tentang Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel, untuk perkiraan awal bisa diambil $3,5 \text{ kN/m}^2$

$$q = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_{\text{deck}} &= q \times \text{Lebar gelagar} \times \text{Panjang gelagar} \times 0,5 \\ &= 3,5 \times 29 \times 20 \times 0,5 \end{aligned}$$

$$= 1015 \text{ kN}$$

Beban akibat aspal:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{aspal}} &= 7,073 \text{ kN/m}^3 \\ \text{tebal aspal} &= 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} \\ W_{\text{aspal}} &= \gamma_{\text{aspal}} \times \text{Tebal aspal} \times \text{Lebar jalan} \times \\ &\quad \text{Panjang gelagar} \times 0,5 \\ &= 7,073 \times 0,1 \times 23,4 \times 20 \times 0,5 \\ &= 16,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban akibat utilitas:

Untuk beban utilitas diambil 30% dari $W_{\text{BGT}} + W_{\text{BTR}}$

$$\begin{aligned} W_{\text{util}} &= 0,3 \times (W_{\text{BGT}} + W_{\text{BTR}}) \times 0,5 \\ &= 0,3 \times (3483,09) \times 0,5 \\ &= 674,714 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban akibat ankur:

P_{ankur} diasumsikan sebesar 500 kg

$$\begin{aligned} P_{\text{ankur}} &= 500 \text{ kg} \\ &= 4,91 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\lambda} &= W_{\text{BGT}} + W_{\text{BTR}} + W_{\text{aspal}} + W_{\text{util}} + W_{\text{deck}} \\ W_{\lambda+P} &= W_{\text{BGT}} + W_{\text{BTR}} + W_{\text{aspal}} + W_{\text{util}} + W_{\text{deck}} + P_{\text{ankur}} \\ W_{\lambda+P} &= 745,29 + 2737,8 + 16,55 + 674,714 + 1015 + 4,91 \\ &= 5194,264 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kabel diberikan contoh kabel S_1

$$\begin{aligned} a &= 210 \text{ m} \\ \theta &= 27,44^\circ \\ W_{\lambda} + P &= 5480,7 \text{ kN} \\ A_s &= 140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{(W\lambda + P) \cos \theta}{\frac{(0,45fu) \sin(2\theta)}{2} - \gamma_a} \\
 &= \frac{(5480,7) \cos 27,79}{\frac{(0,45 \times 1860000) \sin(2 \times 27,44)}{2} - 77,01 \times 210} \\
 &= 0,0139 \text{ m}^2 \\
 &= 13964,73 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kabel} &= \frac{Asc}{As} \\
 &= \frac{13964,73}{193,59} \\
 &= 73
 \end{aligned}$$

Untuk rekap hasil perhitungan jumlah kabel bisa dilihat pada **Tabel 4. 2**.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan jumlah kabel

Kabel	α ($^{\circ}$)	$W\lambda + P$ (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah kabel)
S1	27.79	5194.26434	210	0.013964733	13964.73337	140.00	100
S2	29.71	5194.26434	190	0.013051593	13051.59285	140.00	94
S3	32.01	5194.26434	170	0.012129694	12129.69356	140.00	87
S4	34.78	5194.26434	150	0.011209435	11209.43496	140.00	81
S5	38.18	5194.26434	130	0.010292962	10292.96166	140.00	74
S6	42.41	5194.26434	110	0.009392446	9392.445556	140.00	68
S7	47.76	5194.26434	90	0.008524262	8524.262413	140.00	61
S8	54.58	5194.26434	70	0.007720468	7720.4678	140.00	56
S9	63.3	5194.26434	50	0.007027042	7027.041813	140.00	51
S10	74.23	5194.26434	30	0.006517312	6517.311576	140.00	47
S11	87.22	5194.26434	10	0.006333411	6333.410771	140.00	46
M11	87.22	5194.26434	10	0.006333411	6333.410771	140.00	46
M10	74.23	5194.26434	30	0.006517312	6517.311576	140.00	47
M9	63.3	5194.26434	50	0.007027042	7027.041813	140.00	51
M8	54.58	5194.26434	70	0.007720468	7720.4678	140.00	56
M7	47.76	5194.26434	90	0.008524262	8524.262413	140.00	61
M6	42.41	5194.26434	110	0.009392446	9392.445556	140.00	68
M5	38.18	5194.26434	130	0.010292962	10292.96166	140.00	74
M4	34.78	5194.26434	150	0.011209435	11209.43496	140.00	81
M3	32.01	5194.26434	170	0.012129694	12129.69356	140.00	87
M2	29.71	5194.26434	190	0.013051593	13051.59285	140.00	94
M1	27.79	5194.26434	210	0.013964733	13964.73337	140.00	100

Perhitungan diameter kabel diberikan oleh contoh kabel S₁,

$$A_{sc} = 0,0139 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A_{sc}}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,0139}{\pi}}$$

$$r = 0,067 \text{ m}$$

$$d = 2r$$

$$= 2 \times 0,067$$

$$= 0,134 \text{ m}$$

Untuk rekam hasil perhitungan diameter kabel bisa dilihat pada **Tabel 4. 3**.

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan diameter kabel

Kabel	r (m)	d (m)
S1	0.067	0.134
S2	0.065	0.13
S3	0.063	0.126
S4	0.06	0.12
S5	0.058	0.116
S6	0.055	0.11
S7	0.053	0.106
S8	0.05	0.1
S9	0.048	0.096
S10	0.046	0.092
S11	0.045	0.09
M11	0.045	0.09
M10	0.046	0.092
M9	0.048	0.096
M8	0.05	0.1
M7	0.053	0.106
M6	0.055	0.11
M5	0.058	0.116
M4	0.06	0.12
M3	0.063	0.126
M2	0.065	0.13
M1	0.067	0.134

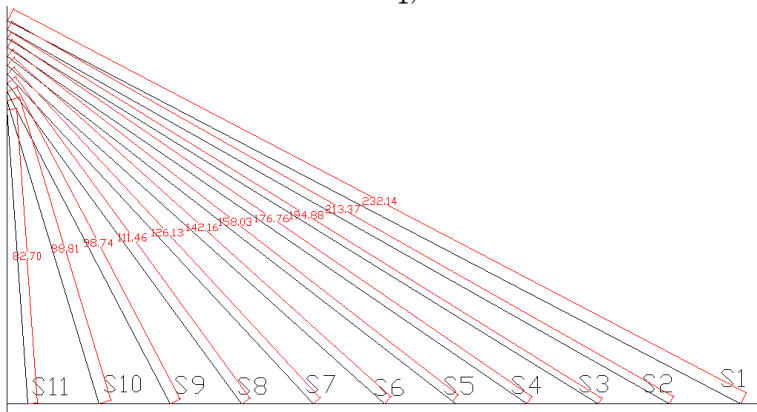
Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan akibat berat sendiri. Tetapi dalam analisa dapat digunakan kabel yang lurus dengan koreksi pada nilai modulus elastisitasnya, sebagai berikut (Munaf dan Ryanto, 2004):

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{(\gamma l)^2}{12 \cdot \sigma^3} E}$$

Dimana :

- E_{eq} = Modulus elastisitas ekivalen
- E = Modulus elastisitas kabel = 200000000 kPa
- γ = Berat jenis kabel = 77,01 kN/m³
- σ = Tegangan tarik dalam kabel = 0,45 f_u = 837 MPa
- l = Panjang kabel

Perhitungan modulus elastisitas ekivalen masing-masing kabel diberikan contoh kabel S₁,



Gambar 4. 4 Panjang masing-masing kabel

Kabel S₁:

$$L = 230,59 \text{ m}$$

Karena *pylon* merupakan *inclined plane*, maka perlu dikoreksi panjang L (L*) sebesar +3%

$$\begin{aligned} L^* &= L + 3\% \cdot L \\ &= 230,59 + 3\% \times 230,59 = 237,51 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{eq} &= \frac{E}{1 + \frac{(\gamma \times L)^2}{12 \times \sigma^3} \times E} \\ &= \frac{2 \times 10^8}{1 + \frac{(77,01 \times 237,51)^2}{12 \times 837000^3} \times (2 \times 10^8)} = 199590065.30 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel rekapitulasi dari nilai E_{eq} masing-masing kabel.

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan E ekuivalen

Kabel	L (m)	L* (m)	E (kPa)	γ (kN/m ³)	σ (kPa)	$(\gamma \times L)^2$	$12 \times \sigma^3$	E _{eq} (kPa)	E _{eq} / E (%)
S1	230.59	237.51	200000000	77.01	837000	334541218.8	7.03652E+18	198116169.03	99.05808
S2	211.85	218.21	200000000	77.01	837000	282374602.7	7.03652E+18	198407584.93	99.20379
S3	193.40	199.20	200000000	77.01	837000	235332352.2	7.03652E+18	198671110.92	99.33556
S4	175.32	180.58	200000000	77.01	837000	193388934.3	7.03652E+18	198906664.80	99.45333
S5	157.74	162.47	200000000	77.01	837000	156549746.7	7.03652E+18	199114014.58	99.55701
S6	140.86	145.09	200000000	77.01	837000	124837213	7.03652E+18	199292855.50	99.64643
S7	124.95	128.70	200000000	77.01	837000	98229337.98	7.03652E+18	199443157.04	99.72158
S8	110.44	113.75	200000000	77.01	837000	76739946.51	7.03652E+18	199564711.08	99.78236
S9	97.94	100.88	200000000	77.01	837000	60351614.9	7.03652E+18	199657510.77	99.82876
S10	88.32	90.97	200000000	77.01	837000	49077995.56	7.03652E+18	199721398.28	99.8607
S11	82.60	85.08	200000000	77.01	837000	42926827.27	7.03652E+18	199756274.15	99.87814
M11	82.60	85.08	200000000	77.01	837000	42926827.27	7.03652E+18	199756274.15	99.87814
M10	88.32	90.97	200000000	77.01	837000	49077995.56	7.03652E+18	199721398.28	99.8607
M9	97.94	100.88	200000000	77.01	837000	60351614.9	7.03652E+18	199657510.77	99.82876
M8	110.44	113.75	200000000	77.01	837000	76739946.51	7.03652E+18	199564711.08	99.78236
M7	124.95	128.70	200000000	77.01	837000	98229337.98	7.03652E+18	199443157.04	99.72158
M6	140.86	145.09	200000000	77.01	837000	124837213	7.03652E+18	199292855.50	99.64643
M5	157.74	162.47	200000000	77.01	837000	156549746.7	7.03652E+18	199114014.58	99.55701
M4	175.32	180.58	200000000	77.01	837000	193388934.3	7.03652E+18	198906664.80	99.45333
M3	193.40	199.20	200000000	77.01	837000	235332352.2	7.03652E+18	198671110.92	99.33556
M2	211.85	218.21	200000000	77.01	837000	282374602.7	7.03652E+18	198407584.93	99.20379
M1	230.59	237.51	200000000	77.01	837000	334541218.8	7.03652E+18	198116169.03	99.05808

Dari **Tabel 4. 4** dapat diamati bahwa koreksi elastisitas yang terjadi sangatlah kecil (kurang dari 0,5%) sehingga dapat diabaikan. Hal ini berarti lendutan kabel yang terjadi

sangatlah kecil, sehingga dapat dianggap sebagai kabel lurus.

4.1.2 Struktur *pylon*

Besarnya dimensi *pylon* diperkirakan berdasar nilai jumlah gaya aksial tekan kabel untuk satu sisi kolom vertikal.

- 1) Material *pylon* = beton bertulang
- 2) $f'c$ = 70 MPa
- 3) f_y = 410 MPa

Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{perlu}} = \frac{T}{f'c}$$

Dimana:

- A_{perlu} = Luas penampang *pylon*
 T = Gaya aksial total *pylon*

Dan disini diasumsikan $A_{\text{perlu}} = b \times h$, dimana b adalah lebar penampang dan h adalah tinggi penampang ($h = 2b$). Besarnya gaya yang terjadi pada *pylon* akibat kabel dapat dilihat pada **Tabel 4. 5**.

Tabel 4. 5 Gaya pada kabel

Kabel	α (°)	T (kN)
S1	27.79	5194.264343
S2	29.71	5194.264343
S3	32.01	5194.264343
S4	34.78	5194.264343
S5	38.18	5194.264343
S6	42.41	5194.264343
S7	47.76	5194.264343
S8	54.58	5194.264343
S9	63.3	5194.264343
S10	74.23	5194.264343
S11	87.22	5194.264343
M11	87.22	5194.264343
M10	74.23	5194.264343
M9	63.3	5194.264343
M8	54.58	5194.264343
M7	47.76	5194.264343
M6	42.41	5194.264343
M5	38.18	5194.264343
M4	34.78	5194.264343
M3	32.01	5194.264343
M2	29.71	5194.264343
M1	27.79	5194.264343
Total		114273.8156

Gaya aksial (T) total = 114273,815 kN

b = lebar penampang

h = tinggi penampang (1,5b)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \frac{T}{f'c} \\
 &= \frac{114273815,6}{70}
 \end{aligned}$$

$$= 1632483,079 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 1,5A_{\text{perlu}} \\ &= 1,5 \times 1632483,079 \\ &= 2448724,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= b \times h \\ &= b \times 1,5b \\ &= 1,5b^2 \end{aligned}$$

$$b = \sqrt{\frac{A_{\text{total}}}{1,5}}$$

$$b = \sqrt{\frac{2448724,619}{1,5}}$$

$$b = 1277 \text{ mm}$$

b pakai = 6000 mm (digunakan)

$$\begin{aligned} h &= 1,5b \\ &= 1,5 \times 6000 \\ &= 9000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perlu diketahui bahwa dimensi yang diperlukan hanya untuk menahan tekanan akibat $\frac{T}{A}$, maka penampang harus diperbesar untuk mengantisipasi gaya akibat $\frac{My}{I}$. Digunakan faktor pembesaran untuk h adalah 1,3 (asumsi).

$$\begin{aligned} h &= 1,3 \times 9000 \\ &= 11700 \text{ mm} \\ &= 11,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan h = 12 m

4.2 *Ribs Orthotropic Steel Deck*

Keberadaan dari gaya tekan yang besar akibat kabel dapat menyebabkan tekuk lokal pada *deck plate* atau *rib* itu sendiri. Pada analisis dibawah ini akan ditinjau kekuatan topang satu *rib* yang menerima gaya tersebut. Jika variabel yang di-*input* memenuhi persamaan yang diberikan, maka harus ada faktor kelangsingan, Q , yang dipertimbangkan.

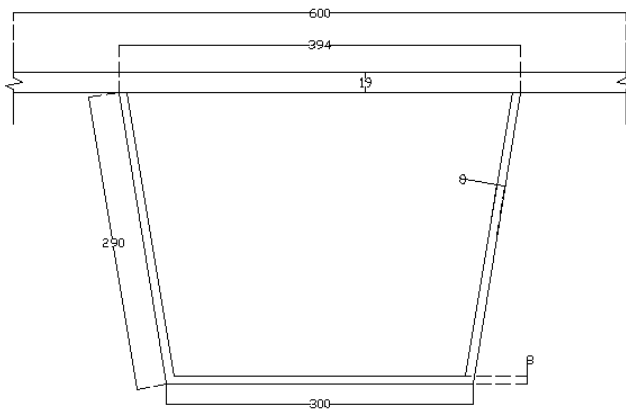
Data umum: $E = 200000 \text{ MPa}$
 $F_y = 290 \text{ MPa (BJ 50)}$

$$\frac{b}{t} \geq 1,4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{b}{t} \geq 1,4 \sqrt{\frac{200000}{290}}$$

$$\frac{b}{t} \geq 36,76$$

Dimensi dari *rib* yang digunakan bisa dilihat pada **Gambar 4.5** dibawah ini:



Untuk *deck plate* (sepanjang 394 mm)

$$\frac{b}{t} \geq 36,76$$

$$\frac{394}{19} \geq 36,76$$

20,737 < 36,76...(tidak ada tekuk lokal)

Untuk sayap *rib* (sepanjang 300 mm)

$$\frac{b}{t} \geq 36,76$$

$$\frac{300}{8} \geq 36,76$$

37,5 \geq 36,76...(diperlukan faktor kelangsingan)

Untuk badan *rib* (sepanjang 290 mm)

$$\frac{b}{t} \geq 36,76$$

$$\frac{290}{8} \geq 36,76$$

36,25 < 36,76...(tidak ada tekuk lokal)

Lebar efektif (b_e) dari elemen yang dianggap langsing dihitung menggunakan persamaan dibawah:

$$b_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,38}{\lambda} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Diasumsikan $f = F_y$

$$b_e = 1,92(8) \sqrt{\frac{200000}{290}} \left(1 - \frac{0,38}{37,5} \sqrt{\frac{200000}{290}} \right) \leq b$$

$$b_e = 296 \text{ m} \leq b$$

Faktor reduksi akibat elemen langsing, Q , dihitung dengan membandingkan luas efektif dan luas sebenarnya (satu *rib*). Bisa dilihat pada persamaan dibawah:

$$Q = \frac{A_{eff}}{A}$$

$$Q = \frac{600(19) + 296(8) + 2 \times 290(8)}{600(19) + 300(8) + 2 \times 290(8)}$$

$$Q = 0,998$$

Selanjutnya dihitung F_{cr} sebagai acuan untuk menghitung gaya tekan yang mampu dipikul *rib*.

$$F_{cr} = Q \left[0,685 \frac{Q F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

Hitung radius girasinya:

$$A = 18317 \text{ mm}^2$$

$$I = 230838672 \text{ mm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{230838672}{18440}}$$

$$r = 111,88 \text{ mm}$$

Dengan $L = 5000$ mm dan nilai K bernilai 0,65 (SNI 1729:2015, Tabel C-A-7.1 karena *ribs* diasumsikan mempunyai perletakan jepit-jepit, maka:

$$\frac{K \times L}{r} = \frac{0,65 \times 5000}{111,88} = 29,04 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Q \times F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{0,998 \times 290}} = 123,8$$

Karena persamaan diatas terpenuhi, maka F_{cr} dihitung menggunakan rumus:

$$F_{cr} = Q \left[0,685 \frac{Q F_y}{F_e} \right] F_y$$

Hitung F_e :

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(28,95)^2} = 2339,2 \text{ MPa}$$

Hitung F_{cr} :

$$F_{cr} = Q(0,685 \exp(Q \times F_y/F_e)) \times F_y$$

$$F_{cr} = 0,998(0,685 \exp(0,998 \times 290/2339,2)) \times 290$$

$$F_{cr} = 276,18 \text{ MPa}$$

Hitung ϕP_n ($\phi = 0,9$):

$$\phi P_n = \phi(A \times F_{cr})$$

$$\phi P_n = 0,9(18440 \times 276,18)$$

$$\phi P_n = 4583483,28 \text{ N} = 4583,48 \text{ kN}$$

$$P_u = 758,817 \text{ kN}$$

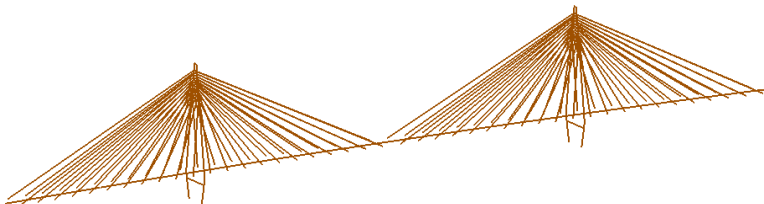
$$\phi P_n > P_u \text{ (OK)}$$

4.3 Permodelan dan Analisa Struktur

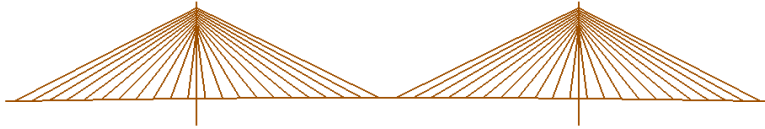
Pada bab ini akan dibahas gaya-gaya yang terjadi pada struktur *orthotropic deck*, kabel, dan pylon. Dalam analisa struktur ini digunakan program bantu MIDAS CIVIL V2011. Beban yang bekerja berupa beban statik (berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin), dinamik (beban gempa dengan menggunakan analisa respon spektrum).

4.3.1 Permodelan Struktur

Permodelan struktur jembatan menggunakan permodelan dengan tiga dimensi, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Gambar 4. 5** dan **Gambar 4. 6**.



Gambar 4. 5 Tampak 3 dimensi jembatan



Gambar 4. 6 Tampak samping jembatan

4.3.2. Analisa Statis

4.3.2.1. Analisa Pembebanan Statis

Beberapa beban yang termasuk beban statik antara lain beban mati tetap, beban hidup, dan beban angin. Untuk beban sendiri struktur akan dihitung secara otomatis oleh program bantu MIDAS.

1. Beban Mati Struktur (MS)

- *Orthotropic deck*

Berat sendiri = 3,5 kN/m² (SE PUPR No:08/SE/M/2015, Ps. 4.6.3)

2. Beban Mati Perkerasan dan Utilitas (MA)

Aspal = 1687,1 kg/m
Utilitas = 216,03 kg/m

3. Beban Jalur (TD)

BTR = 33167,346 kg/m
BGT = 4996,61 kg/m

4. Gaya Akibat Rem (TB)

Untuk gaya rem, sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.7 gaya yang diambil terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain TB
= 25 % . (T . 2roda) . tinggi

$$= 25 \% \cdot (112,5\text{kN} \cdot 2) \cdot 1,8\text{m}$$

$$= 101,25 \text{ kNm}$$

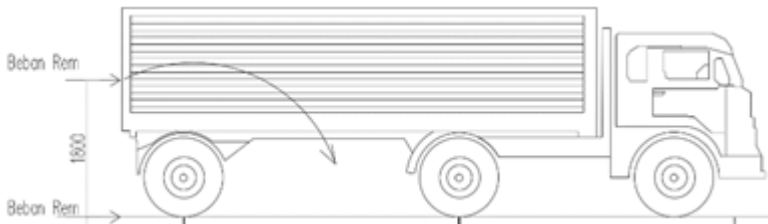
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

$$= 5\% \cdot (\text{beban truk} + \text{BTR}) \cdot \text{tinggi}$$

$$= 5\% \cdot (500 \text{ kN} + 1626,328 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}) \cdot 1,8\text{m}$$

$$= 106,316 \text{ kNm}$$

Dari hasil diatas akan diambil nilai terbesar dari gaya rem sebesar 106,316 kNm



Gambar 4. 7 Ilustrasi gaya rem

6. Beban Angin (EW)

- Beban angin struktural (E_{ws})

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1, tekanan angin horizontal untuk bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air maka kecepatan angin rencana, V_{DZ} , sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Tabel 4. 6 Nilai V_0 dan Z_0

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

$$V_{DZ} = 2,5 \times 13,2 \times \left(\frac{126}{126}\right) \times \ln\left(\frac{143000}{70}\right)$$

$$V_{DZ} = 251,53 \text{ km/jam}$$

Dengan mengetahui kecepatan angin yang bekerja, dapat ditentukan beban angin pada struktur dimana tekanan angin rencana dalam MPa dengan menggunakan persamaan:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Tabel 4. 7 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

$$P_D = 0,0019 \left(\frac{251,53}{126}\right)$$

$$P_D = 0,00757 \text{ MPa}$$

$$P_D = 7,57 \text{ kN/m}^2$$

Beban pada struktur akan diterima pada gelegar utama yang berupa *orthotropic deck* sehingga dikalikan dengan tinggi penampang *orthotropic deck*.

$$P_D = 7,57 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m}$$

$$P_D = 22,715 \text{ kN/m}$$

Kontrol,

$$P_D > P_{Dmin}$$

$$22,715 \text{ kN/m} > 2.95 \text{ kN/m (SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.1)}$$

- Beban angin kendaraan (E_{w1})

Beban angin juga akan dibebankan pada kendaraan yang melintas (E_{w1}) dimana telah diatur di SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.2 dengan asumsi sebagai tekanan yang menerus sebesar $1,46 \text{ N/mm}$ yang bekerja tegak lurus dan bekerja diatas 1800 mm diatas permukaan jalan. Maka beban angin pada kendaraan yang akan diinput.

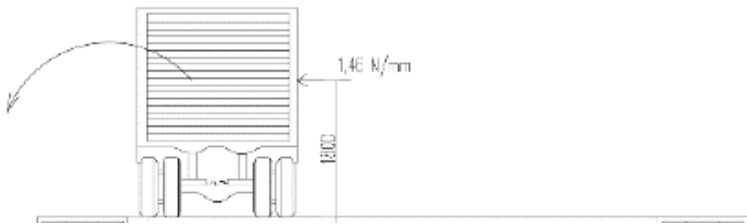
$$E_{w1} = 1,46 \text{ N/mm}$$

$$E_{w1} = 1,46 \text{ kN/m} \cdot (\text{tinggi} + y \text{ deck}) \cdot \text{panjang segmen}$$

$$E_{w1} = 1,46 \text{ kN/m} \cdot (1,8\text{m} + 1 \text{ m}) \cdot 5 \text{ m}$$

$$E_{w1} = 20,44 \text{ kNm}$$

Untuk beban angin pada kendaraan akan diinput sebagai momen torsi.



Gambar 4. 8 Ilustrasi beban angina kendaraan

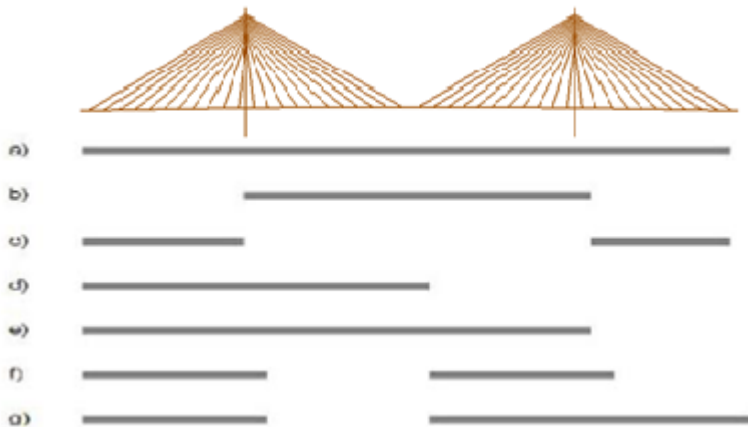
4.3.2.2. Konfigurasi Pembebanan

Untuk kombinasi beban dan faktor-faktor perbesarannya bisa dilihat pada **Tabel 4. 8**.

Tabel 4. 8 Kombinasi dan faktor beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _s	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{RE}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{RE}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{RE}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{RE}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{RE}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	0	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	1,0
Daya Jajan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{RE}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Jajan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Jajan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{RE}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Jajan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Untuk *Load Factor* masing-masing beban mengacu pada SNI 1725-2016 (**Tabel 4. 9**), sedangkan untuk konfigurasi pembebanan LL mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9**

**Gambar 4. 9** Konfigurasi beban hidup

Tabel 4. 9 Kombinasi pembebanan statis

Kuat I	Tipe a	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
	Tipe b	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
	Tipe c	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
	Tipe d	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
	Tipe e	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
	Tipe f	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
	Tipe g	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$		
Kuat III		$1,1MS + 2MA + 1,4EW_s$		
Daya Layan I	Tipe a	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
	Tipe b	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
	Tipe c	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
	Tipe d	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
	Tipe e	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
	Tipe f	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
	Tipe g	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EW_s + 1EW_l$		
Daya Layan II	Tipe a	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
	Tipe b	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
	Tipe c	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
	Tipe d	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
	Tipe e	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
	Tipe f	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
	Tipe g	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$		
Daya Layan IV		$1MS + 1MA + 0,7EW_s$		

4.3.2.3. Hasil Analisa Statis

Diperlihatkan pada **Tabel 4. 10**, berikut adalah gaya-gaya yang diterima oleh struktur:

Tabel 4. 10 Hasil analisa *pylon*

GAYA PYLON							
		Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Kuat 1	Tipe A	294131.2648	26450.15456	94665.69985	660902.5995	1754101.775	2976187.125
	Tipe B	282612.4195	30177.52835	90696.70344	740433.1847	1676171.867	3334391.82
	Tipe C	266846.578	17181.16205	85196.19423	443385.8248	1566651.441	1996601.797
	Tipe D	288948.2552	23670.41548	92855.84109	591281.8036	1718030.903	2668820.485
	Tipe E	295535.0262	28280.68024	95154.34649	706667.0436	1763806.86	3182307.742
	Tipe F	274855.8973	23711.20554	87989.9747	607528.0627	1622266.384	2735827.906
	Tipe G	287462.3876	21751.60688	92338.26628	558208.3619	1707743.613	2513697.688
Kuat 3		396219.19	35939.14	98961.64	830245.22	2014476.84	3777841.44
Daya Layan 1	Tipe A	251616.7598	23061.98651	79265.4742	564622.5935	1539877.124	2550868.516
	Tipe B	245857.4441	24925.67341	77280.9776	604385.0973	1500912.17	2729970.864
	Tipe C	237974.4179	18427.48585	74530.72139	455870.0829	1446151.956	2061075.856
	Tipe D	249025.255	21672.11697	78360.54643	529814.1281	1521841.688	2394114.766
	Tipe E	252318.6405	23972.11201	79509.79913	587503.5354	1544729.665	2653928.829
	Tipe F	241979.076	21692.5076	75927.61484	537936.6176	1473959.427	2430688.907
	Tipe G	248329.7242	20712.70826	77258.99335	513278.1512	1501137.699	2319623.802
Daya Layan 2	Tipe A	257279.6824	22638.38723	82557.67816	565531.3136	1525482.728	2547383.833
	Tipe B	249792.5706	25061.18461	79977.83291	617375.8171	1474828.291	2780216.889
	Tipe C	239544.6359	16613.5496	76402.49919	424295.0378	1304630.01	1910653.376
	Tipe D	253910.7241	20831.59948	81381.27109	520427.4169	1502036.665	2343603.958
	Tipe E	258192.1271	23828.23113	82875.29896	595427.8258	1531791.034	2681362.239
	Tipe F	244750.6912	20858.07082	78218.45842	530987.4878	1439789.726	2391150.342
	Tipe G	252901.0091	19584.33609	81029.65181	498929.6877	1495050.002	224675.702
Daya Layan 4		232322.3669	21994.5569	74201.13786	522423.4808	1477323.545	2372116.538

4.3.3. Analisa Dinamis

4.3.3.1. Analisa Pembebanan Dinamis

Untuk pembebanan gempa pada desain jembatan ini digunakan metode response spectrum dengan program bantu MIDAS/Civil. Berdasarkan peta gempa yang dikeluarkan oleh Pusjatan (akses: <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id>), untuk kota Bawen didapat data sebagai berikut:

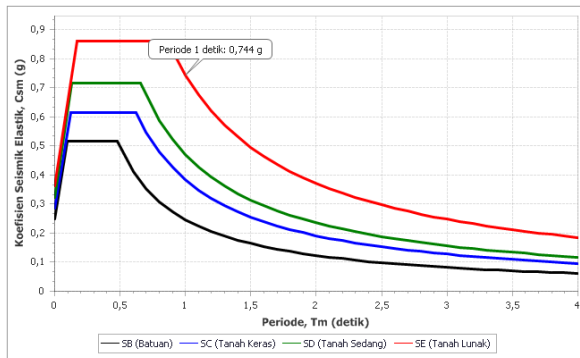
- Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) : 0,248
- Percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_s) : 0,516
- Percepatan 1 detik di batuan dasar (S_1) : 0,247

Perancangan jembatan terhadap beban gempa dapat dilihat dari website <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id> dengan memasukkan lokasi Kota Bawen dengan jenis batuan tanah keras (Kelas situs C). Lalu data diinput pada program bantu untuk kemudian diolah secara otomatis sehingga didapatkan grafik respon spektrum.

Tabel 4. 11 Nilai koefisien gempa

T (detik)	Data spektral (g)	T (detik)	Data spektral (g)
0	0,285	2,1	0,183
0,125	0,615	2,2	0,174
0,2	0,615	2,3	0,167
0,623	0,615	2,4	0,160
0,7	0,548	2,5	0,153
0,8	0,479	2,6	0,147
0,9	0,426	2,7	0,142
1,0	0,383	2,8	0,137
1	0,383	2,9	0,132
1,1	0,349	3	0,128
1,2	0,319	3,1	0,124
1,3	0,295	3,2	0,120
1,4	0,274	3,3	0,116
1,5	0,256	3,4	0,113
1,6	0,240	3,5	0,110
1,7	0,226	3,6	0,106
1,8	0,213	3,7	0,104
1,9	0,202	3,8	0,101
2	0,192	3,9	0,098
		4	0,096

Berikut adalah grafik respon spektrum yang didapat dari *website* Pusjatan:

**Gambar 4. 10** Grafik respon spektrum

Untuk faktor modifikasi respons (R) gempa pada perencanaan ini berorientasi pada SNI 2833-201X tabel 6, Pada tugas akhir ini, jembatan pada arah sumbu X

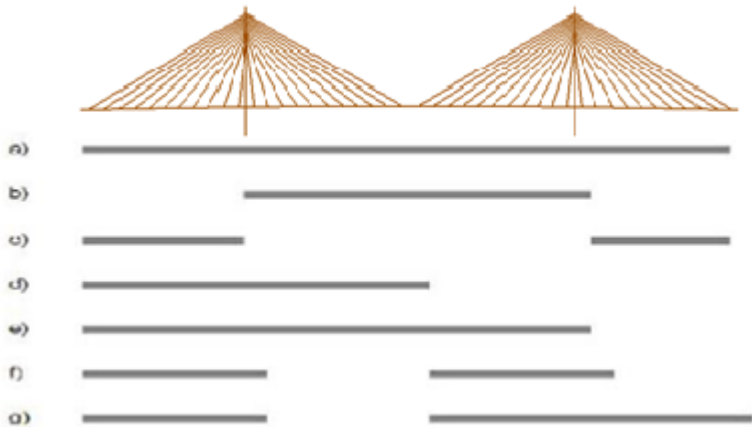
dikategorikan sebagai kolom tunggal dan tingkat kepentingan “Penting” maka diambil factor modifikasi respons (R) sebesar 2, untuk arah y dikategorikan sebagai kategori kolom majemuk dan tingkat kepentingan Penting maka diambil nilai factor modifikasi respon (R) sebesar 3,5.

Tabel 4. 12 Faktor Modifikasi Respon

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

4.3.3.2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban untuk response spektrum adalah ekstrem 1 dengan konfigurasi beban untuk analisa dinamis yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa response spectrum (**Tabel 4. 13**). Untuk konfigurasi pembebanan tetap mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada **Gambar 4. 11**



Gambar 4. 11 Konfigurasi pembebanan

Tabel 4. 13 Kombinasi pembebanan dinamis

Ekstrem I X	Tipe a	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe b	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe c	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe d	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe e	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe f	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe g	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
Ekstrem I Y	Tipe a'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe b'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe c'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe d'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe e'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe f'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe g'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$

4.3.3.3. Hasil Analisa Dinamis

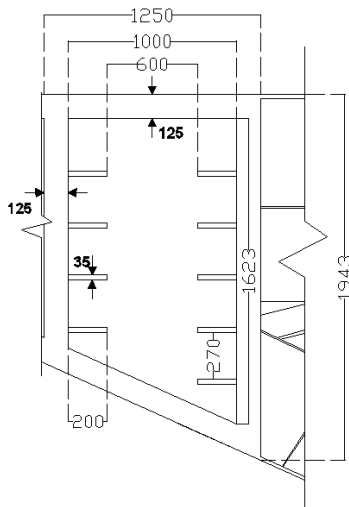
Diperlihatkan pada **Tabel 4. 14**, berikut adalah gaya-gaya yang diterima oleh struktur:

Tabel 4. 14 Hasil analisa *pylon*

GAYA PYLON							
		Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Ekstrim 1 X	Tipe A	126330.1772	21477.06532	64518.91418	255300.3775	340265.3129	856086.1699
	Tipe B	125164.0244	22778.55	63926.81099	273247.62	627498.0432	919068.24
	Tipe C	123837.8592	19350.02051	63240.30627	224236.5061	333235.1721	747045.0787
	Tipe D	126114.5101	20950.02171	64405.68685	248179.1825	633576.21	839360.8421
	Tipe E	126455.78	22633.59773	64583.24106	270868.3655	340615.9586	908647.9631
	Tipe F	124653.4353	22285.2849	63653.28822	265015.052	624166.5896	888078.1037
	Tipe G	125922.7987	21066.20707	70479.90202	248546.8557	365142.5151	830296.597
Ekstrim 1 Y	Tipe A'	119477.0525	16353.62593	70718.84313	235102.8712	366337.8193	812063.5117
	Tipe B'	118310.8997	17655.11061	70126.73993	253050.1148	362991.609	875046.1952
	Tipe C'	116984.7345	14226.71178	69440.23521	204039.0009	359307.6773	703023.4369
	Tipe D'	119261.3853	15826.58232	70605.61579	228542.0932	508962.1278	792739.7379
	Tipe E'	119602.6564	17510.15633	70783.17	250670.8603	511275.9305	866685.4263
	Tipe F'	117810.753	17161.84349	69835.08227	244817.5467	361507.8255	846115.5669
	Tipe G'	119080.1164	15942.76567	70479.90202	228349.3504	365142.5151	788334.0602

4.4 Box Orthotropic Deck

Pada *Orthotropic deck* terdapat *box* yang berguna menjadi gelagar utama pada jembatan *cabl stay* ini. Dimensi dari *box* yang digunakan bisa dilihat pada **Gambar 4.12** berikut ini:

**Gambar 4. 12** Dimensi *box orthotropic deck*

4.4.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur gelagar utama dilakukan dengan program bantu MIDAS/Civil. Dengan hasil analisa seperti pada bab analisa struktur didapatkan nilai gaya dalam maksimum dari semua kombinasi, lihat **Tabel 4.15** berikut ini.

Tabel 4. 15 Gaya pada *box*

GAYA BOX						
MAX	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
	187633.372	877.650	32293.140	187.011	135461.177	8047.221

4.4.2 Kontrol Kekuatan Penampang

Box orthotropic deck didesain dengan $E = 200000$ MPa, $A_g = 626000$ mm², $f_u = 550$ MPa dan $f_y = 410$ MPa. Untuk analisa kekuatannya bisa dilihat dibawah ini.

4.4.2.1 Analisa Kuat Tekan

Analisa kelangsingan

Sumbu Z

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 5,7\sqrt{E/f_y} \\ &= 125,89\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h/tw &= 1685 / 125 \\ &= 13,48\end{aligned}$$

$\lambda_r > h/tw$ (penampang kompak)

$$r_z = 1718,4 \text{ mm}$$

$$L_z = 15000 \text{ mm (jarak antar kabel)}$$

$$K_z = 1$$

$$\begin{aligned}\lambda_z &= (L_z.K_z) / r_z \\ &= 11,638\end{aligned}$$

Sumbu Y

$$\lambda_r = 1,4\sqrt{E/f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= 90,92 \\
 b/t_f &= 1250 / 125 \\
 &= 10 \\
 \lambda_r &> b/t_f \text{ (penampang kompak)} \\
 r_y &= 1186,3 \text{ mm} \\
 L_y &= 5000 \text{ mm (jarak antar } \textit{floorbeam}) \\
 K_y &= 1 \\
 \lambda_y &= (L_y \cdot K_y) / r_y \\
 &= 4,215
 \end{aligned}$$

Karena $\lambda_z > \lambda_y$, maka $\lambda_{\text{pakai}} = 11,638$.

Tegangan kritis, F_{cr} , ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 K \cdot L / r &\leq 4,71 \sqrt{E / f_y} && \text{(SNI 1729-2015 E3-2)} \\
 11,638 &\leq 104,026
 \end{aligned}$$

Maka F_{cr} ,

$$\begin{aligned}
 f_e &= \pi^2 E / (K \cdot L / r)^2 \\
 &= 14571,97 \\
 F_{cr} &= (0,658^{(f_y / f_e)}) \times f_y \\
 &= 405,2 \text{ MPa} \\
 \phi P_n &= \phi F_{cr} \times A_g \\
 &= 228289672,5 \text{ N} \\
 &= 456579,3451 \text{ kN (2 } \textit{box})
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &> P_u \\
 456579,3451 &> 187633,372 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

4.4.2.2 Analisa Kuat Geser

Sumbu Y (pada sayap)

$$\begin{aligned}
 A_f &= 2 \times t_f \times b \\
 &= 312500 \text{ mm}^2 \\
 b/t_f &= 10
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 1000 \text{ mm} \\ K_v &= 5 + (5/(a/h)^2) \\ &= 10 \end{aligned}$$

$$1,10\sqrt{K_v \cdot E/f_y} = 76,827$$

$$1,10\sqrt{K_v \cdot E/f_y} > h/t_w$$

Maka, $C_v = 1$ (SNI 1729-2015 G2-3)

$$\phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times F_y \times A_f \times C_v$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 69187500 \text{ N} \\ &= 13875 \text{ kN (2 box)} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_u \\ 13875 &> 877,65 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Sumbu Z (pada badan)

$$\begin{aligned} A_w &= 2 \times t_w \times h \\ &= 421250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$h/t_w = 13,48$$

$$a = 270 \text{ mm}$$

$$h = 1220 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} K_v &= 5 + (5/(a/h)^2) \\ &= 107,085 \end{aligned}$$

$$1,10\sqrt{K_v \cdot E/f_y} = 2012,25$$

$$1,10\sqrt{K_v \cdot E/f_y} > h/t_w$$

Maka, $C_v = 1$ (SNI 1729-2015 G2-3)

$$\phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times F_y \times A_w \times C_v$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 24359171,3 \text{ N} \\ &= 48718,35 \text{ kN (2 box)} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}\phi V_n &> V_u \\ 48718,35 &> 32293,14 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

4.4.2.3 Analisa Kuat Lentur

Untuk analisa kuat lentur diperlukan nilai Z_z dan Z_y . Dari program bantu MIDAS CIVIL didapat nilai $Z_z = 0,2652 \text{ m}^3$ dan nilai $Z_y = 0,3526$.

Kontrol tekuk lokal

Sayap:

$$\begin{aligned}\lambda &= b/2tf \\ &= 1250 / (2 \times 125) \\ &= 5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,12\sqrt{E/f_y} \\ &= 24,736\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (OK)}$$

Badan:

$$\begin{aligned}\lambda &= h/2tw \\ &= 1685 / (2 \times 125) \\ &= 6,74\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 2,42\sqrt{E/f_y} \\ &= 53,448\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (OK)}$$

Maka gelagar box termasuk penampang kompak.

$$M_n = Z_y \cdot F_y \quad (\text{SNI 1729-2015 F7-1})$$

Momen arah Z

$$\begin{aligned}\phi M_{nz} &= 0,9 \times Z_z \times F_y \\ &= 97858800000 \text{ N.mm} \\ &= 195717,6 \text{ kN.m (2 box)}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{nz} = 195717,6 \text{ kN.m} > M_{uz} = 8047,221 \text{ kN.m (OK)}$$

Momen arah Y

$$\begin{aligned}\phi M_{ny} &= 0,9 \times Z_y \times F_y \\ &= 130109000000 \text{ N.mm} \\ &= 260218,8 \text{ kN.m (2 box)}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{ny} = 260218,8 \text{ kN.m} > M_{uy} = 135461,177 \text{ kN.m (OK)}$$

4.4.2.4 Analisa Kombinasi Lentur dan Aksial

$$P_r = P_u$$

$$P_c = \phi P_n$$

$$P_r/P_c = 0,4109 > 0,2$$

Maka, digunakan rumus (SNI 1729-2015 H1-1a):

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1$$

dimana,

$$P_r = P_u$$

$$P_c = \phi P_n$$

$$M_{rz} = M_{uz}$$

$$M_{cz} = \phi M_{nz}$$

$$M_{ry} = M_{uy}$$

$$M_{cy} = \phi M_{ny}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,9102$$

Kontrol:

$$0,9102 < 1 \text{ (OK)}$$

4.4.2.5 Analisa Kuat Torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga.

$$h/t_w = 13,48$$

$$2,45\sqrt{E/f_y} = 54,111$$

$$h/t \leq 2,45\sqrt{E/f_y} \quad (\text{SNI 1729-2015, H3-3})$$

Maka,

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,6f_y \\ &= 246 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta nilai torsi, C, dapat secara konservatif diambil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B &= 1250 \text{ mm} \\ H &= 1685 \text{ mm} \\ t &= 125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 2(B - t)(H - t) \times t - 4,5(4 - \pi)t^3 \\ &= 438755247,4 \text{ mm}^3 \\ &= 0,438755247 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi T_n &= 0,9 \times F_{cr} \times C \\ &= 194,28 \text{ kN.m (2 box)} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi T_n &> T_u \\ 194,28 &> 187,011 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.4.3 Hasil Analisa Struktur saat 1 Kabel Putus

Analisa struktur gelagar utama dilakukan dengan program bantu MIDAS/Civil. Dengan hasil analisa seperti pada bab analisa struktur didapatkan nilai gaya dalam maksimum dari semua kombinasi saat kabel paling dekat dengan perletakan (S1) dan kabel paling dekat dengan *pylon* (S11) putus, lihat **Tabel 4.16** berikut ini:

Tabel 4. 16 Gaya pada *box* saat 1 kabel putus

GAYA BOX SAAT 1 KABEL PUTUS						
	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
S1 PUTUS	180116.334	1204.110	199781.554	201.400	155831.664	8876.451
S11 PUTUS	93411.654	1077.614	198015.443	198.128	140778.092	8122.706

4.4.4 Rekapitulasi Hasil Analisa *Box Orthotropic Deck*

Untuk rekapitulasi dari gaya-gaya yang bekerja dan kekuatan penampang *box* dapat dilihat pada **Tabel 4.17** berikut ini:

Tabel 4. 17 Rekapitulasi gaya dan kontrol pada *box*

REKAPITULASI GAYA PADA BOX						
	ϕP_n	Pu	ϕV_{n_z}	Vuz	ϕV_{n_y}	Vuy
SEBELUM KABEL PUTUS	456579.3451	187633.37	186529.50	125667.81	138375.00	877.65
	OK		OK		OK	
	ϕM_{n_y}	Muy	ϕM_{n_z}	Muz	ϕT_n	Tu
	260218.8	135461.18	195717.60	8047.22	194.28	187.01
	OK		OK		OK	
REKAPITULASI GAYA PADA BOX SAAT 1 KABEL PUTUS						
	ϕP_n	Pu	ϕV_{n_z}	Vuz	ϕV_{n_y}	Vuy
KABEL S1 PUTUS	456579.3451	180116.33	186529.50	177454.33	138375.00	1204.11
	OK		OK		OK	
	ϕM_{n_y}	Muy	ϕM_{n_z}	Muz	ϕT_n	Tu
	260218.8	155831.66	195717.60	8876.45	194.28	191.22
	OK		OK		OK	
REKAPITULASI GAYA PADA BOX SAAT 1 KABEL PUTUS						
	ϕP_n	Pu	ϕV_{n_z}	Vuz	ϕV_{n_y}	Vuy
KABEL S11 PUTUS	456579.3451	93411.65	186529.50	175991.07	138375.00	1077.61
	OK		OK		OK	
	ϕM_{n_y}	Muy	ϕM_{n_z}	Muz	ϕT_n	Tu
	260218.8	140778.09	195717.60	8122.71	194.28	189.99
	OK		OK		OK	

4.5 Struktur Kabel

Struktur kabel merupakan salah satu struktur utama pada jembatan cable-stayed, struktur kabel akan memikul beban dari lantai kendaraan. Beban yang dipikul berupa beban tetap, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban saat pelaksanaan. Semua beban tersebut kemudian akan disalurkan ke menara (pylon).

4.5.1 Data Perencanaan

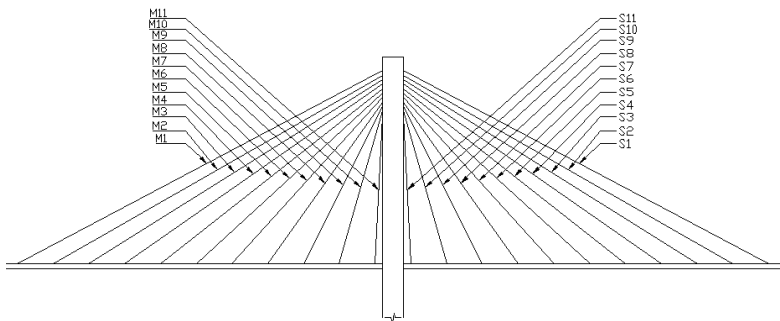
Pada bab preliminary desain telah dijelaskan bahwa ada dua jenis kabel paralel VSL 7-wire strand yang dapat digunakan untuk desain jembatan kabel. Pada desain ini digunakan kabel yang spesifikasinya disesuaikan dengan persyaratan RSNI T-03-2005 pasal 12.6, yang menyatakan bahwa kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk

struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm², maka dipakai kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270

Tabel 4. 18 Spesifikasi kabel

Standard	ASTM A 416-06 Grade 270	<u>Euronorme</u> 138-3
Ø (mm)	15,2	15,7
A _s (mm ²)	140	150
<u>F_u</u> (<u>f_{lim}</u> =0,7F _u)(Mpa)	1860 (1302)	1770 (1239)
<u>Ukuran anker</u>	7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand	

Untuk tatanan dan penamaan kabel bisa dilihat pada **Gambar 4. 13** dibawah ini:



Gambar 4. 13 Tatanan dan penamaan kabel

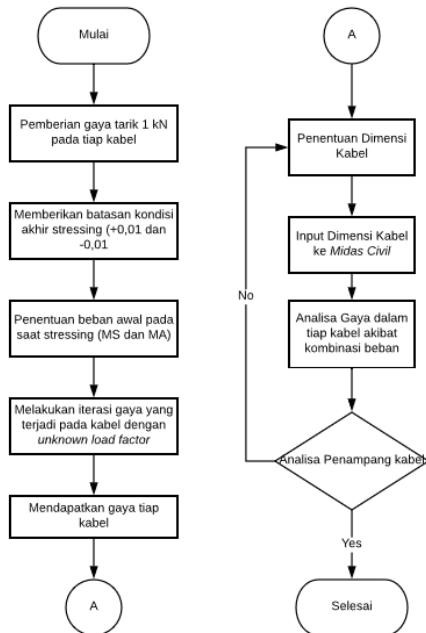
Diameter kabel yang akan diinput ke program bantu bisa dilihat pada **Tabel 4. 19** berikut:

Tabel 4. 19 Penampang dan jumlah *strand* kabel

Kabel	α ($^{\circ}$)	$W\lambda + P$ (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah kabel)
S1	27.79	5194.26434	210	0.013964733	13964.73	140.00	50
S2	29.71	5194.26434	190	0.013051593	13051.59	140.00	41
S3	32.01	5194.26434	170	0.012129694	12129.69	140.00	36
S4	34.78	5194.26434	150	0.011209435	11209.43	140.00	34
S5	38.18	5194.26434	130	0.010292962	10292.96	140.00	32
S6	42.41	5194.26434	110	0.009392446	9392.446	140.00	28
S7	47.76	5194.26434	90	0.008524262	8524.262	140.00	27
S8	54.58	5194.26434	70	0.007720468	7720.468	140.00	25
S9	63.3	5194.26434	50	0.007027042	7027.042	140.00	22
S10	74.23	5194.26434	30	0.006517312	6517.312	140.00	22
S11	87.22	5194.26434	10	0.006333411	6333.411	140.00	21
M11	87.22	5194.26434	10	0.006333411	6333.411	140.00	21
M10	74.23	5194.26434	30	0.006517312	6517.312	140.00	22
M9	63.3	5194.26434	50	0.007027042	7027.042	140.00	22
M8	54.58	5194.26434	70	0.007720468	7720.468	140.00	25
M7	47.76	5194.26434	90	0.008524262	8524.262	140.00	27
M6	42.41	5194.26434	110	0.009392446	9392.446	140.00	28
M5	38.18	5194.26434	130	0.010292962	10292.96	140.00	32
M4	34.78	5194.26434	150	0.011209435	11209.43	140.00	34
M3	32.01	5194.26434	170	0.012129694	12129.69	140.00	36
M2	29.71	5194.26434	190	0.013051593	13051.59	140.00	41
M1	27.79	5194.26434	210	0.013964733	13964.73	140.00	50

4.5.2 Gaya *Stressing* Kabel

Dalam pelaksanaannya masing-masing kabel diberi gaya Tarik (*stressing*) terlebih dahulu sebelum dibebani. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur posisi gelagar agar sesuai dengan posisi akhir sebelum menerima beban hidup. Apabila gaya Tarik ini tidak diberikan pada kabel, gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum menerima beban hidup, hal ini terjadi akibat deformasi kabel karena dibebani lantai kendaraan. Dengan bantuan program MIDAS CIVIL dapat dianalisa besarnya gaya tarik masing-masing kabel dengan fitur *unknown load factors calculation*. Langkah-langkah analisa gaya tarik kabel akan dijelaskan dengan **Gambar 4. 14** berikut:



Gambar 4. 14 Diagram alir prosedur *unknown load factor*.

Untuk pemrosesan perhitungan *tuning cable* ini hanya digunakan beban sendiri struktur dengan kondisi batasan +0,01 sampai -0,01. Gaya yang dihasilkan bisa dilihat pada **Tabel 4. 20** dibawah ini:

Tabel 4. 20 Gaya kabel akibat *pretension* 1 kN (*tuning cable*)

Kabel	Preliminary (kN)
M1	6494.390
M2	6724.400
M3	6379.826
M4	5748.200
M5	5077.639
M6	4528.085
M7	4145.927
M8	3796.795
M9	3263.582
M10	2783.646
M11	2611.394
S11	2582.196
S10	2704.077
S9	3102.337
S8	3738.118
S7	4338.539
S6	4613.227
S5	4773.325
S4	5094.832
S3	5696.150
S2	6561.940
S1	7578.556

Dari gaya tarik awal (*pretension*) tersebut dapat diperoleh kebutuhan *strand* dan luas penampang kabel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada berikut :

$$F_u \text{ kabel} = 1860 \text{ mpa}$$

$$F_u \text{ ijin} = 0,45 \times 1860 \text{ mpa}$$

$$= 83700000 \text{ kg/m}^2$$

$$A_s = 140 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan diameter masing-masing kabel dapat dilihat pada

Tabel 4. 21 berikut ini:

Tabel 4. 21 Kebutuhan luas penampang kabel akibat *pretension* 1 kN

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	6494.390	210	0.01746011	17460.1096	140	50
M2	29.71	6724.400	190	0.016896354	16896.3543	140	41
M3	32.01	6379.826	170	0.014898228	14898.228	140	36
M4	34.78	5748.200	150	0.012404851	12404.8508	140	34
M5	38.18	5077.639	130	0.010061857	10061.8567	140	32
M6	42.41	4528.085	110	0.008187837	8187.8374	140	28
M7	47.76	4145.927	90	0.006803845	6803.84504	140	27
M8	54.58	3796.795	70	0.005643347	5643.34651	140	25
M9	63.3	3263.582	50	0.004415125	4415.12516	140	22
M10	74.23	2783.646	30	0.003492677	3492.67713	140	22
M11	87.22	2611.394	10	0.003184095	3184.09495	140	21
S11	87.22	2582.196	10	0.003148494	3148.49358	140	21
S10	74.23	2704.077	30	0.003392841	3392.84087	140	22
S9	63.3	3102.337	50	0.004196985	4196.98544	140	22
S8	54.58	3738.118	70	0.005556132	5556.13225	140	25
S7	47.76	4338.539	90	0.007119939	7119.93893	140	27
S6	42.41	4613.227	110	0.008341794	8341.79406	140	28
S5	38.18	4773.325	130	0.009458828	9458.82765	140	32
S4	34.78	5094.832	150	0.010994856	10994.8559	140	34
S3	32.01	5696.150	170	0.013301702	13301.7015	140	36
S2	29.71	6561.940	190	0.016488142	16488.1422	140	41
S1	27.79	7578.556	210	0.02037488	20374.8802	140	50

Kemudian A pakai diinput pada MIDAS, dan didapatkan gaya kabel yang baru, diambil gaya-gaya maksimum dari semua kombinasi yang ada. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4. 22** dibawah ini:

Tabel 4. 22 Gaya masing-masing kabel

Kabel	Gaya tarik (kN)
M1	9914.701
M2	12514.882
M3	13952.594
M4	14636.906
M5	14766.855
M6	15036.185
M7	15964.552
M8	16483.084
M9	16431.419
M10	15972.120
M11	16258.833
S11	15560.807
S10	14519.511
S9	13642.884
S8	13606.600
S7	13508.898
S6	12364.492
S5	11449.136
S4	10929.542
S3	10936.483
S2	12534.585
S1	14189.546

Dari gaya-gaya maksimum tersebut dapat diperoleh kebutuhan strand dan luas penampang kabel yang sebenarnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4.23** berikut ini:

Tabel 4. 23 Kebutuhan luas penampang kabel yang sebenarnya

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.026655585	26655.5852	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.031446059	31446.0593	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.032582225	32582.225	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587042	31587.042	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262021	29262.021	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.027188941	27188.9414	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.026199289	26199.2886	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.024499546	24499.5462	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.022229186	22229.186	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.020040428	20040.4284	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.019824534	19824.5336	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.018973425	18973.4246	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.018217821	18217.8208	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.018456726	18456.7265	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.020224099	20224.0992	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.022169336	22169.336	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.022357895	22357.8952	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.022687624	22687.6243	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.023586399	23586.3988	140	76
S3	32.01	10936.483	170	0.025538975	25538.975	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.031495567	31495.5669	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.038148468	38148.4679	140	95

4.5.3 Analisa Penampang Kabel

4.5.3.1. Analisa Penampang Kabel Akibat Beban Aktual

Penampang kabel akan dicek, apabila kabel dengan desain A_{pakai} tersebut mampu untuk menahan gaya kabel sebenarnya (P), maka penampang kabel memenuhi syarat. Berikut contoh perhitungannya.

Kabel S1 :

$$A_{Spakai} = 43743,536 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_{ijin} \cdot A_{Spakai} \\ &= 0,837 \text{ kN/mm}^2 \cdot 43743,536 \text{ mm}^2 \\ &= 36613,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P = 14189,546 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$P_n = 36613,34 \text{ kN} > P = 14189,546 \text{ kN (OK)}$$

Perhitungan kontrol kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik yang terjadi lainnya dapat dilihat pada **Tabel 4.24** berikut ini:

Tabel 4. 24 Kontrol gaya pada kabel akibat beban aktual

Kabel	f izin (N/mm ²)	n (buah strand)	Pn (kN)	Pu (kN)	Kontrol
M1	837	95	22742.65838	9914.701	OK
M2	837	88	26823.66263	12514.882	OK
M3	837	81	27357.45378	13952.594	OK
M4	837	76	26823.66263	14636.906	OK
M5	837	72	24741.0883	14766.855	OK
M6	837	68	23234.37732	15036.185	OK
M7	837	63	22256.19846	15964.552	OK
M8	837	59	20828.37288	16483.084	OK
M9	837	56	18998.23179	16431.419	OK
M10	837	51	16828.88353	15972.120	OK
M11	837	46	18998.23179	16258.833	OK
S11	837	46	16828.88353	15560.807	OK
S10	837	51	16828.88353	14519.511	OK
S9	837	56	16828.88353	13642.884	OK
S8	837	59	17252.23513	13606.600	OK
S7	837	63	18553.84409	13508.898	OK
S6	837	68	18998.23179	12364.492	OK
S5	837	72	18998.23179	11449.136	OK
S4	837	76	19902.78428	10929.542	OK
S3	837	81	24233.59228	10936.483	OK
S2	837	88	31241.24456	12534.585	OK
S1	837	95	36613.33972	14189.546	OK

4.5.3.2. Analisa Penampang Kabel Akibat 1 Kabel Putus

Perhitungan kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik yang terjadi saat satu kabel putus. Untuk perumpamaan kabel yang putus diambil kabel dengan gaya tarik yang paling besar (S1) dan pada kabel yang paling dekat dengan *pylon* (S11), untuk gaya tarik akibat satu kabel putus dapat dilihat pada **Tabel 4.25** s/d **Tabel 4.28** berikut ini:

Tabel 4. 25 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S1 putus
(pada baris kabel putus)

Kabel	f izin (N/mm ²)	n (buah strand)	Pn (kN)	Pu (kN)	Kontrol
M1	837	95	22742.658	14394.800	OK
M2	837	88	26823.663	16759.740	OK
M3	837	81	27357.454	18447.110	OK
M4	837	76	26823.663	18468.360	OK
M5	837	72	24741.088	18929.320	OK
M6	837	68	23234.377	18585.660	OK
M7	837	63	22256.198	18064.770	OK
M8	837	59	20828.373	17510.670	OK
M9	837	56	18998.232	16178.960	OK
M10	837	51	16828.884	14421.260	OK
M11	837	46	18998.232	13974.810	OK
S11	837	46	16828.884	13608.410	OK
S10	837	51	16828.884	13402.300	OK
S9	837	56	16828.884	14006.530	OK
S8	837	59	17252.235	14245.160	OK
S7	837	63	18553.844	14291.480	OK
S6	837	68	18998.232	14537.470	OK
S5	837	72	18998.232	15000.700	OK
S4	837	76	19902.784	16759.700	OK
S3	837	81	24233.592	23312.750	OK
S2	837	88	31241.245	30908.720	OK
S1	837	95	36613.340	-	-

Tabel 4. 26 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S11 putus
(pada baris kabel putus)

Kabel	f izin (N/mm ²)	n buah strand	Pn (kN)	Pu (kN)	Kontrol
M1	837	95	22742.658	11382.333	OK
M2	837	88	26823.663	16240.783	OK
M3	837	81	27357.454	19026.698	OK
M4	837	76	26823.663	20600.859	OK
M5	837	72	24741.088	20335.108	OK
M6	837	68	23234.377	19929.138	OK
M7	837	63	22256.198	19555.843	OK
M8	837	59	20828.373	18582.946	OK
M9	837	56	18998.232	17319.121	OK
M10	837	51	16828.884	16065.115	OK
M11	837	46	18998.232	17351.537	OK
S11	837	46	16828.884	-	-
S10	837	51	16828.884	16229.543	OK
S9	837	56	16828.884	15603.603	OK
S8	837	59	17252.235	16654.268	OK
S7	837	63	18553.844	17264.469	OK
S6	837	68	18998.232	16950.461	OK
S5	837	72	18998.232	16115.297	OK
S4	837	76	19902.784	15896.499	OK
S3	837	81	24233.592	16234.644	OK
S2	837	88	31241.245	18560.077	OK
S1	837	95	36613.340	20777.732	OK

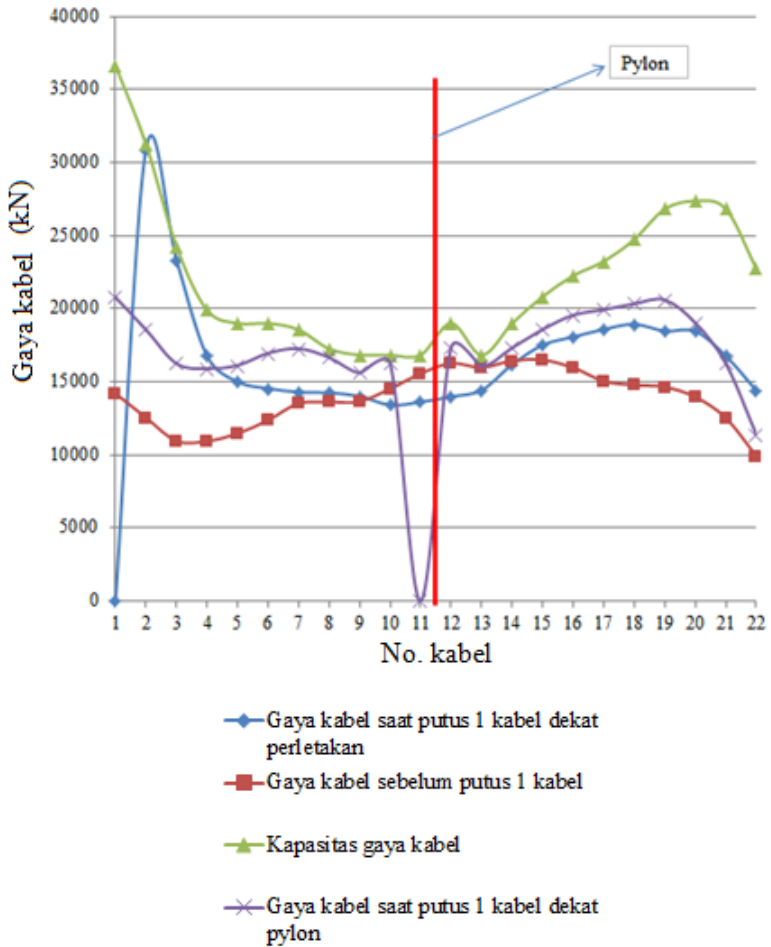
Tabel 4. 27 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S1 putus
(pada baris kabel tidak putus)

Kabel	f izin (N/mm ²)	n (buah strand)	Pn (kN)	Pu (kN)	Kontrol
M1	837	95	22742.6584	14106.9	OK
M2	837	88	26823.6626	16424.55	OK
M3	837	81	27357.4538	18078.17	OK
M4	837	76	26823.6626	18098.99	OK
M5	837	72	24741.0883	18550.73	OK
M6	837	68	23234.3773	18213.95	OK
M7	837	63	22256.1985	17703.47	OK
M8	837	59	20828.3729	17160.46	OK
M9	837	56	18998.2318	15855.38	OK
M10	837	51	16828.8835	14132.83	OK
M11	837	46	18998.2318	13695.31	OK
S11	837	46	16828.8835	13336.24	OK
S10	837	51	16828.8835	13134.25	OK
S9	837	56	16828.8835	13726.4	OK
S8	837	59	17252.2351	13960.26	OK
S7	837	63	18553.8441	14005.65	OK
S6	837	68	18998.2318	14246.72	OK
S5	837	72	18998.2318	14700.69	OK
S4	837	76	19902.7843	16424.51	OK
S3	837	81	24233.5923	22846.5	OK
S2	837	88	31241.2446	30290.55	OK
S1	837	95	36613.3397	33501.44	OK

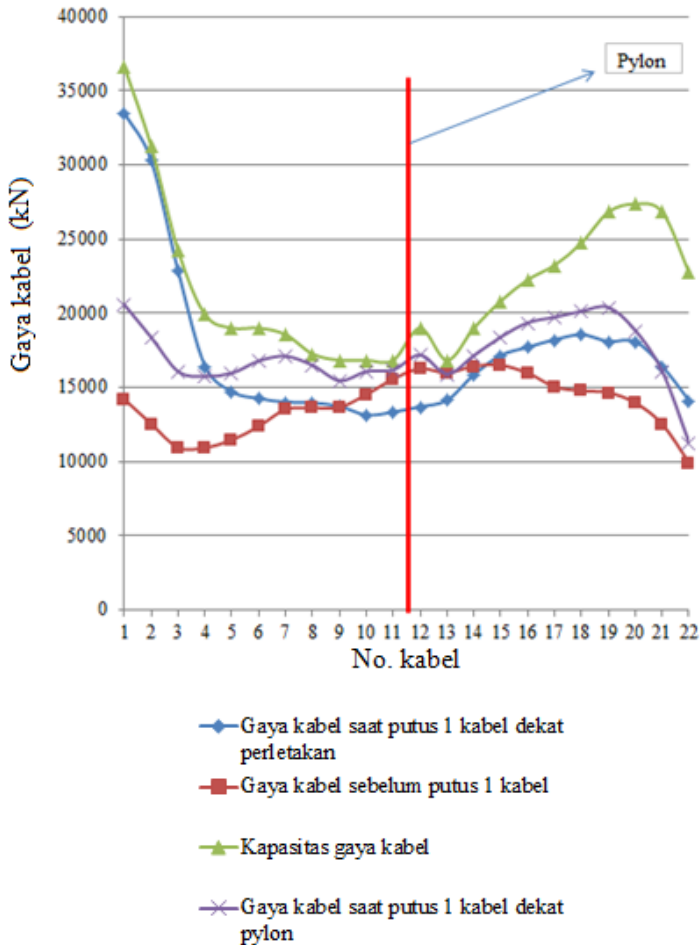
Tabel 4. 28 Kontrol gaya pada kabel akibat kabel S11 putus
(pada baris kabel tidak putus)

Kabel	f izin (N/mm ²)	n buah strand	Pn (kN)	Pu (kN)	Kontrol
M1	837	95	22742.6584	11268.51	OK
M2	837	88	26823.6626	16078.38	OK
M3	837	81	27357.4538	18836.43	OK
M4	837	76	26823.6626	20394.85	OK
M5	837	72	24741.0883	20131.76	OK
M6	837	68	23234.3773	19729.85	OK
M7	837	63	22256.1985	19360.28	OK
M8	837	59	20828.3729	18397.12	OK
M9	837	56	18998.2318	17145.93	OK
M10	837	51	16828.8835	15904.46	OK
M11	837	46	18998.2318	17178.02	OK
S11	837	46	16828.8835	16177.25	OK
S10	837	51	16828.8835	16067.25	OK
S9	837	56	16828.8835	15447.57	OK
S8	837	59	17252.2351	16487.73	OK
S7	837	63	18553.8441	17091.82	OK
S6	837	68	18998.2318	16780.96	OK
S5	837	72	18998.2318	15954.14	OK
S4	837	76	19902.7843	15737.53	OK
S3	837	81	24233.5923	16072.3	OK
S2	837	88	31241.2446	18374.48	OK
S1	837	95	36613.3397	20569.95	OK

Kapasitas gaya kabel, gaya kabel akibat beban aktual dan gaya kabel akibat 1 kabel putus lebih jelasnya bisa dilihat pada grafik (**Gambar 4. 15** dan **Gambar 4. 16**) berikut:



Gambar 4. 15 Grafik perbandingan kemampuan kabel dengan gaya tarik yang diterima (baris kabel putus)



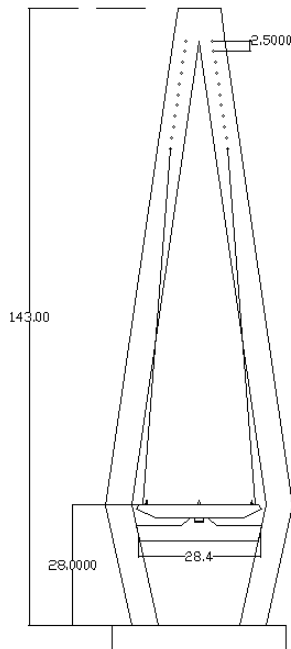
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan kemampuan kabel dengan gaya tarik yang diterima (baris kabel tidak putus)

Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa setiap kabel mengalami perbesaran tegangan karena kabel S1 dan S11 dianggap putus, perbesaran yang dialami berbeda-beda dikarenakan sudut dari masing-masing kabel berbeda-beda

pula, semakin kecil sudut kabel maka semakin besar perbesaran gaya yang terjadi. Dari hasil kontrol diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kebutuhan luas penampang dan jumlah *strand* kabel yang dipakai sudah mampu untuk menahan gaya tarik maksimum yang terjadi.

4.6 Struktur *Pylon*

Struktur *pylon* berfungsi memikul beban yang terjadi pada lantai kendaraan. Berikut adalah bentuk penampang *pylon* yang digunakan. Dimana penampang *pylon* dibagi menjadi 2 bagian, yaitu kolom *pylon* dan *cross beam*. Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4. 17**.



Gambar 4. 17 Tampak depan *pylon* jembatan

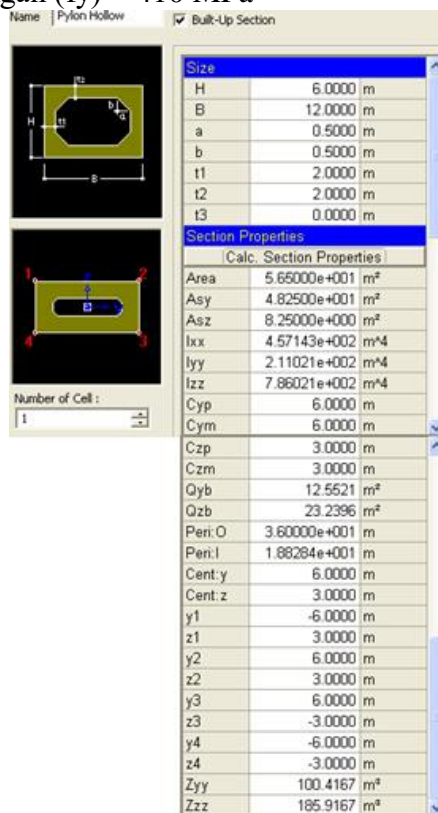
4.6.1 Kolom *pylon*

Dalam perencanaan kolom *pylon* perlu dihitung tulangan lentur, geser dan torsi yang digunakan. Berikut adalah perhitungannya.

4.6.1.1 Perencanaan kolom *pylon*

Berikut adalah properti dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat **Gambar 4. 18**.

- Mutu beton ($f'c$) = 70 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 410 MPa



Size	
H	6.0000 m
B	12.0000 m
a	0.5000 m
b	0.5000 m
t1	2.0000 m
t2	2.0000 m
t3	0.0000 m

Section Properties	
[Calc. Section Properties]	
Area	5.65000e+001 m ²
Asy	4.82500e+001 m ²
Asz	8.25000e+000 m ²
Ixx	4.57143e+002 m ⁴
Iyy	2.11021e+002 m ⁴
Izz	7.86021e+002 m ⁴
Cyp	6.0000 m
Cym	6.0000 m
Czp	3.0000 m
Czm	3.0000 m
Qyb	12.5521 m ³
Qzb	23.2396 m ³
Peri:O	3.60000e+001 m
Peri:I	1.88284e+001 m
Cent:y	6.0000 m
Cent:z	3.0000 m
y1	-6.0000 m
z1	3.0000 m
y2	6.0000 m
z2	3.0000 m
y3	6.0000 m
z3	-3.0000 m
y4	-6.0000 m
z4	-3.0000 m
Zyy	100.4167 m ²
Zzz	185.9167 m ²

Gambar 4. 18 *Section properties* kolom *pylon*

4.6.1.2. Penulangan lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan harus memenuhi syarat dibawah ini:

$$\begin{aligned} P_u &< 0,10 \cdot f_c \cdot A_g && \text{(SNI 2847 2013 Ps 10)} \\ 296219190 \text{ N} &< 339000000 \text{ N} && \text{(OK)} \end{aligned}$$

1. Arah *braced frame*

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$kl/r \leq 34 - 12(M1/M2) \leq 40 \quad \text{(SNI 2847-2013 Ps.10.10.1)}$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

l = panjang bebas komponen tekan (123,113 m)

r = jari-jari girasi penampang (1,933 m)

M1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil (-237900 kNm)

M2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar (2014476,84 kNm)

maka,

$$\frac{1 \times 123,113}{1,933} \leq 34 - 12\left(\frac{-237900}{2014476,84}\right) \leq 40$$

$$63,69 \geq 35,417 \leq 40 \quad \text{(NOT OK)}$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

$$Q = (\Sigma P_u \cdot \Delta \alpha) / (V_u \cdot l) \leq 0,05 \quad \text{(SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2)}$$

Dimana:

Pu = gaya tekan terfaktor (296219,19 kN)

$\Delta \alpha$ = simpangan relatif (0,01 m)

Vuy = gaya geser terfaktor (35939,14 kN)

Iy = inersia (211,021 m⁴)

maka,

$$Q = \frac{296219,19 \times 0,01}{35939,14 \times 211,021} = 0,00039 < 0,05 \text{ (kolom dianggap tidak bergoyang)}$$

• Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = (0,4Ec.I) / (1 + \beta_{dns}) \text{ (SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1)}$$

Dimana,

$$\beta_{dns} = 0,5 \text{ (SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.2)}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 36406043454 \times 211,021}{1 + 0,5} = 2,04865 \times 10^{12}$$

$$Pc = \frac{(\pi^2 \cdot EI) / (k \cdot l)^2}{\pi^2 \times 2,04865 \times 10^{12}} \text{ (SNI 2847-2013 Pers. 10-13)}$$

$$= \frac{(1 \times 123,113)^2}{1334012224 \text{ kN}}$$

$Pc \gg Pu$ (OK)

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = Cm / (1 - (Pu / 0,75Pc)) \geq 1,0$$

dimana,

$$Cm = 1,0 \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 10.10.6.4)}$$

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{296219,19}{0,75 \times 1334012224}} = 1,00029$$

• Momen desain

$$Mc = \delta_{ns} \cdot Mu$$

$$= 1,00029 \times 2014476,84 \text{ kNm}$$

$$= 2015073,44 \text{ kNm}$$

2. Arah *unbraced frame*

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan
 $kl/r \leq 34 - 12(M1/M2) \leq 40$ (SNI 2847-2013 Ps.10.10.1)

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

l = panjang bebas komponen tekan (123,113 m)

r = jari-jari girasi penampang (3,73 m)

maka,

$$\frac{1 \times 123,113}{3,73} \leq 22$$

$$33,006 \geq 22 \text{ (NOT OK)}$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

$$Q = (\Sigma Pu \cdot \Delta\alpha) / (Vu \cdot l) \leq 0,05 \text{ (SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2)}$$

Dimana:

Pu = gaya tekan terfaktor (296219,19 kN)

$\Delta\alpha$ = simpangan relatif (0,01 m)

Vuy = gaya geser terfaktor (35939,14 kN)

Iz = inersia (786,021 m⁴)

maka,

$$\begin{aligned} Q &= \frac{296219,19 \times 0,01}{35939,14 \times 786,021} \\ &= 0,000104 < 0,05 \text{ (kolom dianggap tidak bergoyang)} \end{aligned}$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = (0,4Ec \cdot I) / (1 + \beta_{dns}) \text{ (SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1)}$$

Dimana,

$$\beta_{dns} = 0,5 \text{ (SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.2)}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 36406043454 \times 786,021}{1 + 0,5} = 7,63091 \times 10^{12}$$

$$P_c = (\pi^2 \cdot EI) / (k \cdot l)^2 \quad (\text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13})$$

$$= \frac{\pi^2 \times 7,63091 \times 10^{12}}{(1 \times 123,113)^2}$$

$$= 4968991816 \text{ kN}$$

$P_c \gg P_u$ (OK)

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = Cm / (1 - (P_u / 0,75P_c)) \geq 1,0$$

dimana,

$$C_m = 1,0 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 10.10.6.4})$$

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{296219,19}{0,75 \times 4968991816}}$$

$$= 1,000079$$

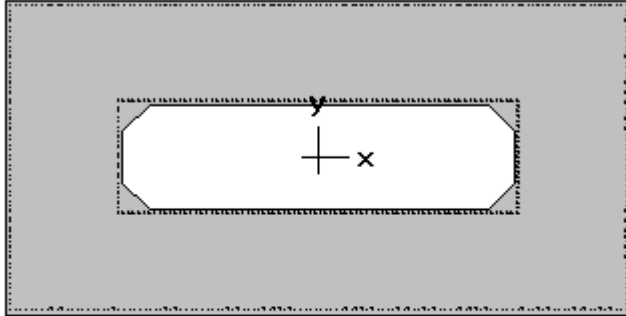
• Momen desain

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_u$$

$$= 1,000079 \times 3777841,11 \text{ kNm}$$

$$= 3778141,745 \text{ kNm}$$

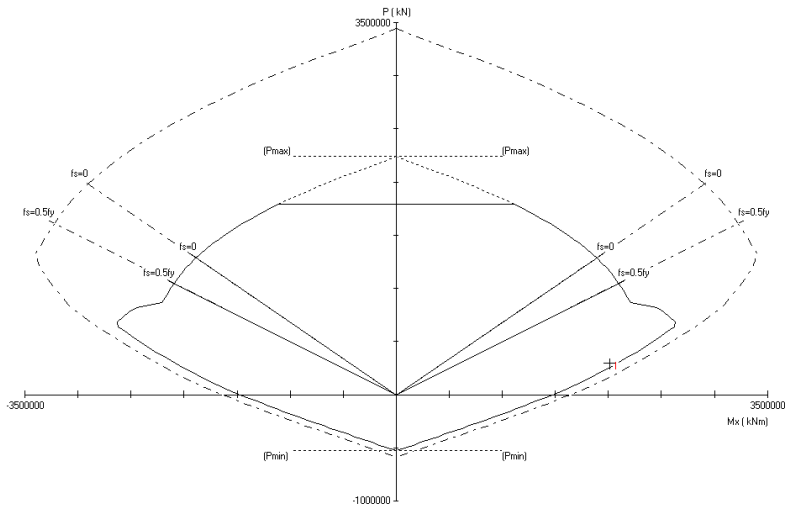
Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D57. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan spColumn. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4. 19**.



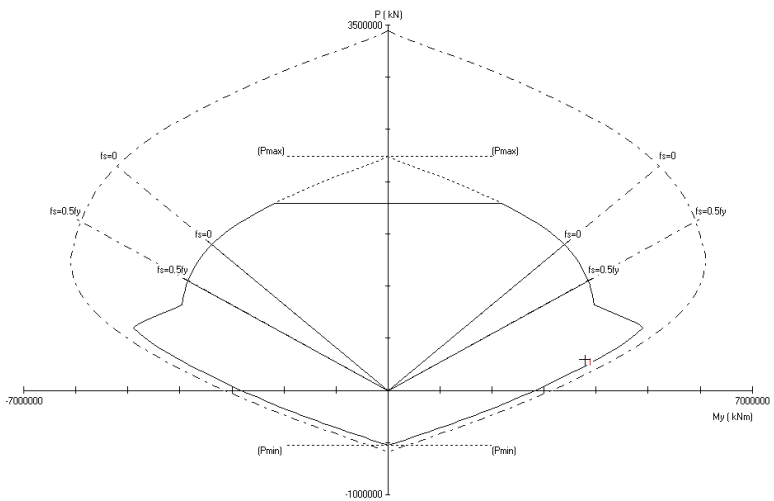
12000 × 6000 mm
2.49% reinf.

Gambar 4. 19 Desain penampang dan tulangan longitudinal pada spColumn

Pada program bantu spColumn kita juga bisa melihat diagram interaksi dari kolom akibat beban tekan dan momen yang ada. Untuk diagram interaksi bisa dilihat pada **Gambar 4. 20** dan **Gambar 4. 21** dibawah ini:



Gambar 4. 20 Diagram interaksi pylon arah *braced frame*



Gambar 4. 21 Diagram interaksi pylon arah *unbraced frame*

Dari hasil analisa didapat 554 buah tulangan D57 ($\rho = 2,49\%$) dengan jarak antar tulangan sebesar 10 cm memenuhi persyaratan yang ada.

4.6.1.3. Penulangan geser

1. Arah Y (*braced frame*)

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai tekan aksial (SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{296219190}{14 \times 56500000}\right) \times 1 \times \sqrt{70} \times 57218000 \\ &= 111859079,4 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,85 \times 111859079,4 \\ &= 95080217,45 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$\phi V_c = 95080,217 \text{ kN} < V_u = 98961,64 \text{ kN}$ (butuh tulangan geser)

Maka perlu tulangan geser

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang 10 dimana persyaratan 10 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 12 m
2. 1/6 Tinggi Kolom = 24,13 m (Menentukan)
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

$$1. \frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = 0,25 \times (6000-200) = 4000 \text{ mm}$$

$$2. 6D_{\text{lentur}} = 6 \times 57,33 = 343,98 \text{ mm}$$

$$3. 100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$$

$$4. S_o = 100 + \left(\frac{350 - \left(0,5 \times \left((2000+2000) - 2 \left(70 + \left(\frac{25}{2} \right) \right) \right) \right)}{3} \right) = 422,5 \text{ mm}$$

Digunakan $s = 100 \text{ mm}$

$A_{sh_{\min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut:

$$b_{cy} = 2000 + 2000 - 2 \times 70 = 3860 \text{ mm}$$

$$A_{\text{hollow}} = 13600000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = ((6000 - 2 \times 70) \times (12000 - 2 \times 70)) - 13600000 = 55899600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,3 \times \frac{s \times bc \times f'c}{f_{yt}} \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) = 212,35 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \times \frac{s \times bc \times f'c}{f_{yt}} = 5931,21 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan 12D25-100 dengan $A_{sh \text{ pakai}} = 6108 \text{ mm}^2 > 5931,21 \text{ mm}^2$ (OK)

- Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_s = (V_u / \phi) - V_c$$

$$= (98961,64 / 0,85) - 95080,217$$

$$= 21345,24 \text{ kN}$$

Desain tulangan geser

$$f_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$n = 6$$

$$d = 5901,5 \text{ mm}$$

maka,

$$\begin{aligned} A_v &= n \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2 \\ &= 6 \times \pi \times 0,25 \times 25^2 \\ &= 2945,243 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{2945,243 \times 410 \times 5901,5}{21345,24} \\ &= 333,861 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan

Syarat jarak tulangan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

$$- 8D_{\text{lentur}} = 8 \times 57,33 \text{ mm} = 458,64 \text{ mm}$$

$$- 24D_{\text{sengkang}} = 24 \times 25 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

$$- \frac{1}{4} \text{ dimensi kolom terkecil} = (2000 + 2000)/4 = 1000 \text{ mm}$$

$$- 300 \text{ mm}$$

Diambil spasi terkecil yaitu 300 mm

Kontrol :

$$s_{\text{max}} = 300 \text{ mm} \geq s = 300 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan sengkang 6D25-300

2. Arah Z (*unbraced frame*)

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai tekan aksial (SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{296219190}{14 \times 56500000}\right) \times 1 \times \sqrt{70} \times 57218000 \\
 &= 111859079,4 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,85 \times 111859079,4 \\
 &= 95080217,45 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$\phi V_c = 95080,217 \text{ kN} > V_u = 35939,14 \text{ kN}$ (hanya butuh tulangan geser praktis)

1518,

- Perhitungan tulangan geser
- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang 10 dimana persyaratan 10 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 12 m
2. 1/6 Tinggi Kolom = 24,13 m (Menentukan)
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

1. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = 0,25 \times (6000-200) = 4000 \text{ mm}$
2. $6D_{\text{lentur}} = 6 \times 57,33 = 343,98 \text{ mm}$
3. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$

$$4. S_o = 100 + \left(\frac{350 - \left(0,5 \times \left((2000 + 2000) - 2 \left(70 + \left(\frac{25}{2} \right) \right) \right) \right)}{3} \right) = 422,5 \text{ mm}$$

Digunakan $s = 100 \text{ mm}$

Ash_{min} sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut:

$$b_{cy} = 2000 + 2000 - 2 \times 70 = 3860 \text{ mm}$$

$$A_{\text{hollow}} = 13600000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{ch}} = ((6000 - 2 \times 70) \times (12000 - 2 \times 70)) - 13600000 \\ = 55899600 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{sh1}} = 0,3 \times \frac{s \times bc \times f'c}{fyt} \times \left(\frac{Ag}{A_{\text{ch}}} - 1 \right) = 217,659 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{sh2}} = 0,09 \times \frac{s \times bc \times f'c}{fyt} = 6079,5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan 12D25-100 dengan Ash pakai = 6108 mm² > 6079,5 mm² (OK)

- Daerah Luar Sendi Plastis

Syarat jarak tulangan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

$$- 8D_{\text{lentur}} = 8 \times 57,33 \text{ mm} = 458,64 \text{ mm}$$

$$- 24D_{\text{sengkang}} = 24 \times 25 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

$$- \frac{1}{4} \text{ dimensi kolom terkecil} = (2000 + 2000)/4 = 1000 \text{ mm}$$

$$- 300 \text{ mm}$$

Diambil spasi terkecil yaitu 300 mm

$$A_{V_{\text{min1}}} = 0,062 \times \sqrt{f'c} \times \frac{bw \times s}{fy} \\ = 0,062 \times \sqrt{70} \times \frac{(2000+2000) \times 300}{410} \\ = 1518,231 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

$$A_{V_{\text{min2}}} = \frac{0,35 \times bw \times s}{fy} \\ = 1024,39 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan 6D19-300 dengan Av pakai = 1704 mm² > 1518,231 mm².

4.6.1.4. Penulangan torsi

Torsi bisa diabaikan jika $Tu^* > Tu$

$$Tu^* = \phi 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \sqrt{1 + \frac{Nu}{0,33Ag \times \lambda \times \sqrt{f'c}}}$$

(SNI 2847-2013 Ps. 11.5)

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= 56500000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 36000 \text{ mm}^2 \\
 \phi &= 0,85 \\
 Tu^* &= 89116,26 \text{ kN.m} \\
 Tu &= 830245,22 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Karena $Tu^* < Tu$, maka diperlukan tulangan torsi.

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned}
 T_n &= Tu/\phi \\
 &= 830245,22/0,85 \\
 &= 976759,082 \text{ kNm} \\
 A_o &= 0,85 A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot (70121025) \\
 &= 59602871,25 \text{ mm}^2 \\
 T_n &= (2A_o \cdot A_t \cdot f_y \cdot \cot\theta)/s \text{ maka} \\
 A_t/s &= T_n/(2A_o \cdot f_y \cdot \cot\theta) \\
 &= 19,985 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan punter

$$\begin{aligned}
 A_l &= (A_t/s) \cdot Ph \cdot (f_{yl}/f_{yt}) \cdot \cot^2\theta \text{ (SNI 2847 2013 Ps} \\
 &11.5.3.7) \\
 &= 711070,019 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$\begin{aligned}
 s &\leq P_h/8 = 4447,5 \text{ mm} \\
 s &\leq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

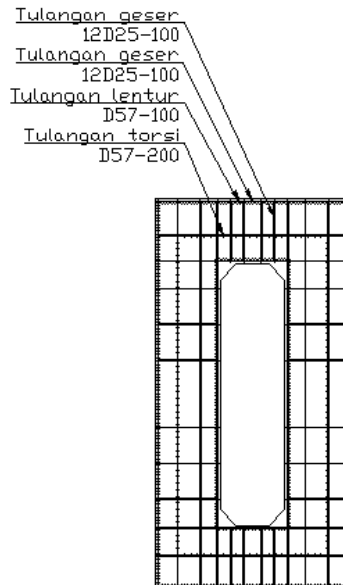
$$\begin{aligned}
 \text{Dipakai } 288D57 \text{ dengan } A_s \text{ pakai} &= 743328 \text{ mm}^2 > \\
 &711070,019 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

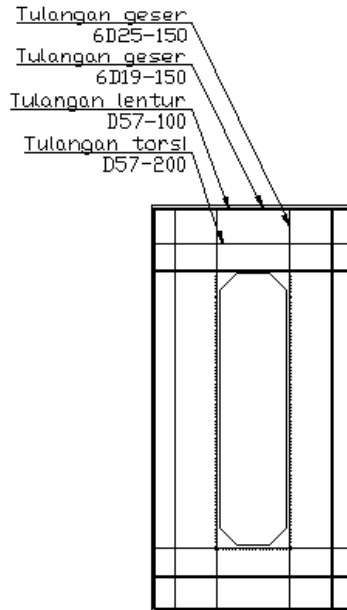
Rekapitulasi penulangan bisa dilihat pada **Tabel 4. 29** dibawah ini:

Tabel 4. 29 Rekapitulasi hasil perhitungan tulangan

Tulangan Lentur	554D57
Tulangan Sengkang arah unbraced frame (sendi plastis)	12D25-100
Tulangan Sengkang arah unbraced frame (luar sendi plastis)	6D19-300
Tulangan Sengkang arah braced frame (sendi plastis)	12D25-100
Tulangan Sengkang arah braced frame (luar sendi plastis)	6D25-300
Tulangan Torsi	288D57

Untuk lebih jelas bisa dilihat pada **Gambar 4.22** Dan **Gambar 4.23** berikut:

**Gambar 4. 22** Penulangan pada daerah sendi plastis



Gambar 4. 23 Penulangan pada daerah luar sendi plastis

4.7 Perilaku Aerodinamis

Pada jembatan bentang panjang, beban yang mempengaruhi kegagalan struktur adalah efek angin. Kontrol terhadap stabilitas aerodinamis pada jembatan cable stayed perlu dilakukan, analisa stabilitas pada desain ini meliputi vortex-shedding (tumpahan pusaran angin) dan flutter (efek ayunan).

4.7.1 Frekuensi Alami

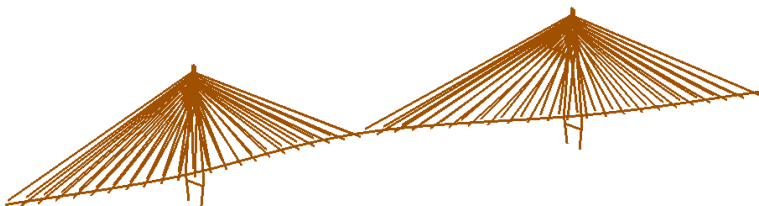
Frekuensi alami yang dihitung adalah frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_T). Dengan program bantu MIDAS CIVIL nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) dan frekwensi alami torsi (f_T) dapat dicari dengan menggunakan

modal melalui tahapan mode pada menu result vibration mode shapes. Berikut adalah nilai frekwensi alami lentur balok (fB) dan frekwensi alami torsi (fT) yang didapat dari program bantu MIDAS CIVIL. Pada MIDAS juga harus dipastikan bahwa partisipasi massa pada mode terakhir yang ditinjau harus $\geq 90\%$, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Tabel 4. 30** dibawah ini:

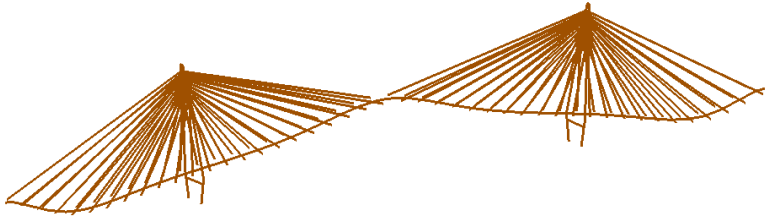
Tabel 4. 30 Mode getar jembatan

Node	Mode	LX	UY	UZ	RX	RY	RZ
EIGENVALUE ANALYSIS							
	Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance		
	1	0.944248	0.150282	6.654170	0.0000e+000		
	2	1.061946	0.169014	5.916672	0.0000e+000		
	3	1.373244	0.218559	4.575433	0.0000e+000		
	4	2.141135	0.340772	2.934512	0.0000e+000		
	5	2.384076	0.381028	2.624472	0.0000e+000		
	6	2.420966	0.385313	2.595290	0.0000e+000		
	7	2.475694	0.394017	2.537960	0.0000e+000		
	8	2.730883	0.434634	2.300789	0.0000e+000		
	9	2.753643	0.438256	2.281772	0.0000e+000		
	10	3.313172	0.527308	1.896426	0.0000e+000		
	11	3.439550	0.547421	1.826746	0.0000e+000		
Node	Mode	LX	UY	UZ	RX	RY	RZ
143	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.21	0.00
144	0.00	86.74	0.00	97.00	0.05	92.25	0.00
145	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.25	0.00
146	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.25	0.00
147	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.25	0.00
148	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.25	0.00
149	0.00	86.74	0.00	97.00	0.03	92.28	0.00
150	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.28	0.00
151	0.00	86.74	0.00	97.00	0.66	92.94	0.38
152	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.94	0.05
153	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.94	0.00
154	0.00	86.74	0.00	97.00	0.00	92.94	0.00
155	6.04	92.78	0.00	97.00	0.00	92.94	0.00

Dan untuk bentuk dari jembatan pada mode-mode tersebut bisa dilihat pada gambar-gambar dibawah ini:



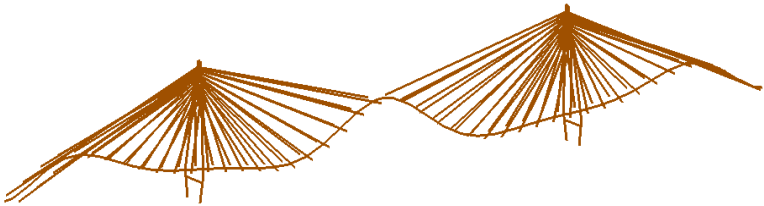
Gambar 4. 24 Mode getar 1



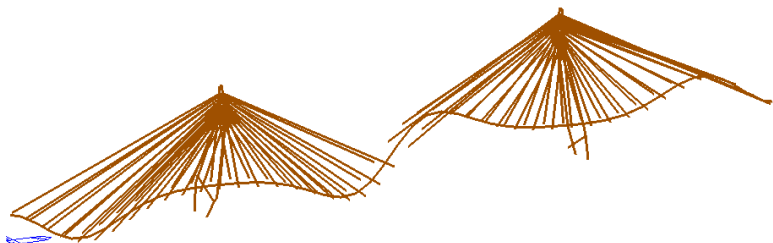
Gambar 4. 25 Mode getar 2



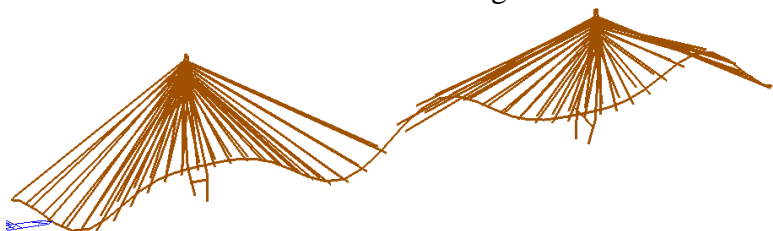
Gambar 4. 26 Mode getar 3



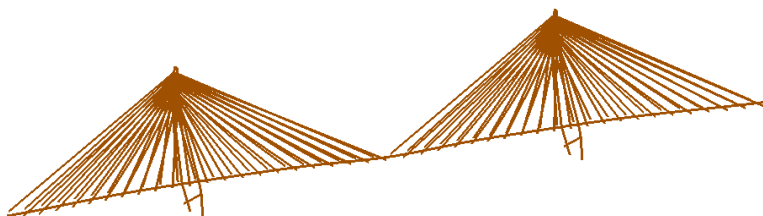
Gambar 4. 27 Mode getar 4



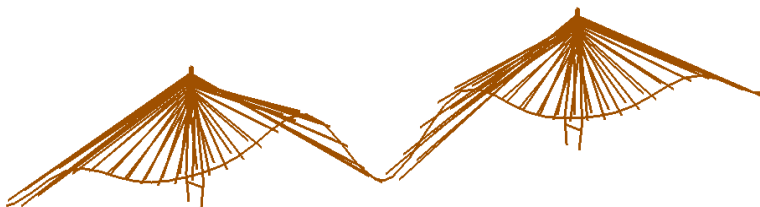
Gambar 4. 28 Mode getar 5



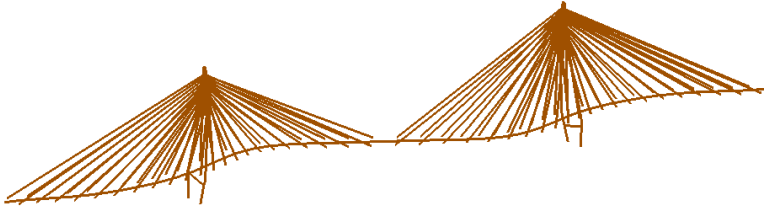
Gambar 4. 29 Mode getar 6



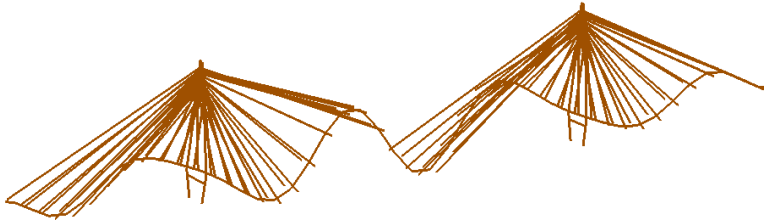
Gambar 4. 30 Mode getar 7



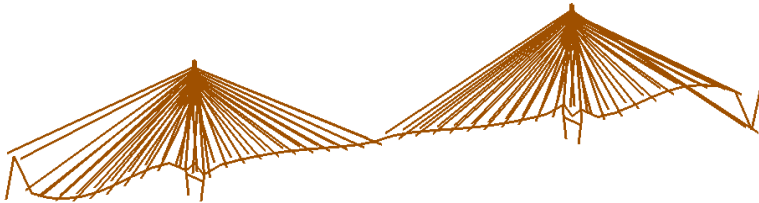
Gambar 4. 31 Mode getar 8



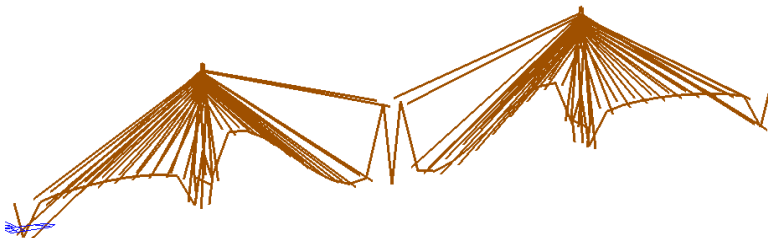
Gambar 4. 32 Mode getar 9



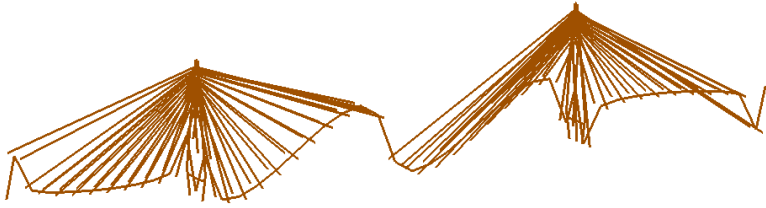
Gambar 4. 33 Mode getar 10



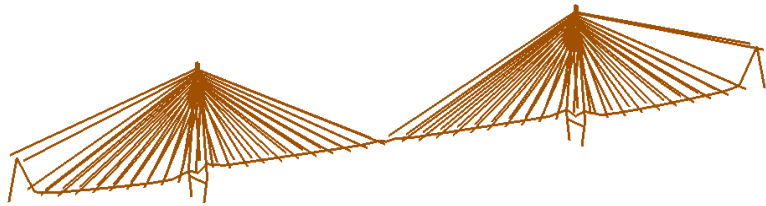
Gambar 4. 34 Mode getar 145



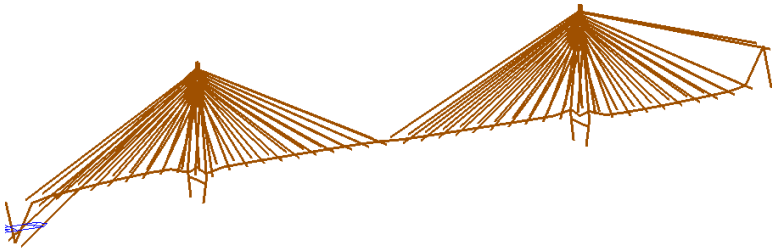
Gambar 4. 35 Mode getar 146



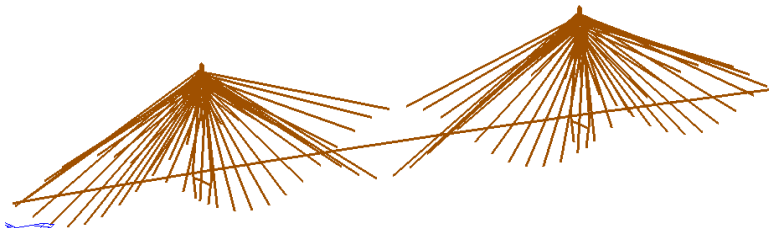
Gambar 4. 36 Mode getar 147



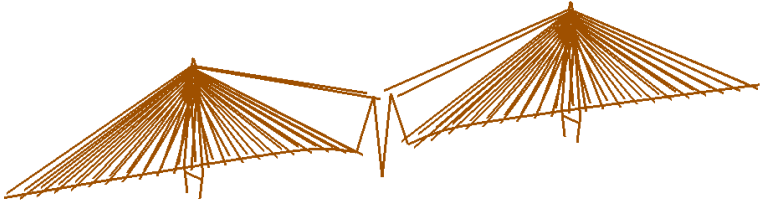
Gambar 4. 37 Mode getar 149



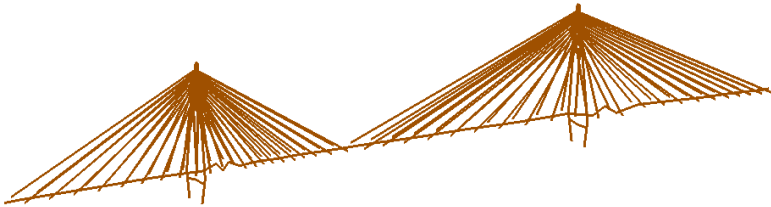
Gambar 4. 38 Mode getar 150



Gambar 4. 39 Mode getar 152



Gambar 4. 40 Mode getar 154



Gambar 4. 41 Mode getar 155

Untuk tampilan mode getar berupa data frekuensi dan periode, bisa dilihat pada **Tabel 4. 31** dibawah ini:

Tabel 4. 31 Nilai frekuensi akibat getaran yang terjadi

Mode No	Frequency		Period	MODE
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	0.944248	0.150282	6.65417	Lentur
2	1.061946	0.169014	5.916672	Lentur
3	1.373244	0.218559	4.575433	Lentur
4	2.141135	0.340772	2.934512	Lentur
5	2.394076	0.381029	2.624472	Lentur
6	2.420996	0.385313	2.59529	Lentur
7	2.475684	0.394017	2.53796	Torsi
8	2.730883	0.434634	2.300789	Lentur
9	2.753643	0.438256	2.281772	Lentur
10	3.313172	0.527308	1.896426	Lentur
11	3.43955	0.547421	1.826746	Lentur
12	3.475636	0.553165	1.80778	Lentur
13	3.877865	0.617181	1.620269	Lentur
14	4.05125	0.644777	1.550925	Lentur
15	4.276803	0.680674	1.469131	Lentur
16	4.443848	0.70726	1.413907	Lentur
17	4.447856	0.707898	1.412632	Lentur
18	4.52002	0.719384	1.390079	Lentur
19	4.945621	0.78712	1.270454	Lentur
20	5.418592	0.862396	1.15956	Lentur
21	5.594844	0.890447	1.123031	Lentur
22	5.855794	0.931979	1.072986	Lentur
23	6.471459	1.029965	0.970907	Lentur

24	6.693204	1.065256	0.938741	Lentur
25	6.743289	1.073228	0.931769	Lentur
26	6.980249	1.110941	0.900138	Lentur
27	7.029959	1.118853	0.893773	Lentur
28	7.449307	1.185594	0.843459	Lentur
29	7.620398	1.212824	0.824522	Lentur
30	8.226029	1.309213	0.763818	Lentur
31	9.114564	1.450628	0.689357	Lentur
32	9.278637	1.476741	0.677167	Lentur
33	9.786298	1.557538	0.642039	Lentur
34	10.072629	1.603109	0.623788	Torsi
35	10.182456	1.620588	0.61706	Lentur
36	10.199004	1.623222	0.616059	Torsi
37	10.462638	1.66518	0.600535	Lentur
38	10.495942	1.670481	0.59863	Lentur
39	10.770358	1.714156	0.583378	Lentur
40	10.776788	1.715179	0.583029	Lentur
41	11.190322	1.780995	0.561484	Lentur
42	11.422822	1.817999	0.550055	Torsi
43	11.514124	1.83253	0.545694	Lentur
44	11.88875	1.892153	0.528498	Torsi
45	11.931636	1.898979	0.526599	Lentur
46	12.289909	1.956	0.511247	Lentur
47	12.436348	1.979306	0.505228	Torsi

47	12.436348	1.979306	0.505228	Torsi
48	12.528077	1.993905	0.501528	Lentur
49	13.036161	2.074769	0.481981	Lentur
50	13.061277	2.078767	0.481054	Torsi
51	13.095724	2.084249	0.479789	Lentur
52	13.105441	2.085796	0.479433	Lentur
53	13.83714	2.202249	0.454081	Lentur
54	14.587239	2.321631	0.430732	Lentur
55	15.150088	2.411211	0.414729	Lentur
56	15.84715	2.522152	0.396487	Lentur
57	16.599172	2.64184	0.378524	Torsi
58	16.658028	2.651208	0.377187	Lentur
59	16.778933	2.67045	0.374469	Lentur
60	17.187082	2.735409	0.365576	Torsi
61	17.506063	2.786176	0.358915	Lentur
62	17.748637	2.824783	0.354009	Lentur
63	17.814359	2.835243	0.352703	Lentur
64	18.120203	2.88392	0.34675	Torsi
65	18.149685	2.888612	0.346187	Lentur
66	18.293616	2.911519	0.343463	Lentur
67	18.825202	2.996124	0.333765	Lentur
68	18.961526	3.017821	0.331365	Torsi
69	19.425385	3.091646	0.323452	Lentur
70	19.513359	3.105647	0.321994	Torsi
71	19.636835	3.125299	0.319969	Lentur

72	20.491379	3.261304	0.306626	Lentur
73	21.367366	3.400722	0.294055	Lentur
74	21.381687	3.403001	0.293858	Lentur
75	22.200536	3.533325	0.28302	Lentur
76	23.531045	3.745082	0.267017	Lentur
77	24.373202	3.879116	0.257791	Lentur
78	24.373223	3.879119	0.257791	Lentur
79	24.422805	3.88701	0.257267	Lentur
80	24.545036	3.906464	0.255986	Torsi
81	24.866716	3.957661	0.252675	Lentur
82	24.871359	3.9584	0.252627	Lentur
83	25.343468	4.033538	0.247921	Lentur
84	25.948741	4.12987	0.242138	Lentur
85	26.191055	4.168436	0.239898	Lentur
86	27.224307	4.332883	0.230793	Torsi
87	27.420937	4.364178	0.229138	Lentur
88	27.421843	4.364322	0.229131	Torsi
89	27.434527	4.366341	0.229025	Lentur
90	27.67295	4.404287	0.227052	Lentur
91	28.395956	4.519357	0.22127	Lentur
92	28.693071	4.566644	0.218979	Lentur
93	29.269646	4.658409	0.214666	Lentur
94	30.237177	4.812396	0.207797	Lentur
95	30.293864	4.821418	0.207408	Lentur

96	31.180039	4.962457	0.201513	Lentur
97	31.185141	4.963269	0.20148	Lentur
98	31.185424	4.963314	0.201478	Lentur
99	32.164741	5.119177	0.195344	Lentur
100	33.023218	5.255808	0.190266	Lentur
101	33.923273	5.399057	0.185218	Torsi
102	34.01784	5.414107	0.184703	Lentur
103	34.818606	5.541553	0.180455	Lentur
104	34.99508	5.56964	0.179545	Lentur
105	35.091086	5.58492	0.179054	Torsi
106	35.744405	5.688899	0.175781	Lentur
107	35.775667	5.693874	0.175627	Lentur
108	35.897659	5.71329	0.175031	Lentur
109	36.603129	5.825569	0.171657	Lentur
110	37.40872	5.953783	0.16796	Lentur
111	37.482799	5.965573	0.167629	Lentur
112	37.64542	5.991455	0.166904	Lentur
113	38.221724	6.083176	0.164388	Lentur
114	39.095887	6.222304	0.160712	Lentur
115	39.887491	6.348291	0.157523	Lentur
116	40.075098	6.37815	0.156785	Lentur
117	40.960102	6.519003	0.153398	Lentur
118	41.349839	6.581031	0.151952	Lentur
119	42.149215	6.708256	0.14907	Lentur

120	42.184467	6.713867	0.148945	Lentur
121	42.334709	6.737778	0.148417	Lentur
122	42.47633	6.760318	0.147922	Lentur
123	42.476332	6.760318	0.147922	Lentur
124	42.84169	6.818467	0.146661	Lentur
125	43.895469	6.986181	0.14314	Lentur
126	44.142267	7.02546	0.142339	Lentur
127	44.852389	7.138479	0.140086	Lentur
128	45.428296	7.230138	0.13831	Lentur
129	45.665969	7.267965	0.13759	Lentur
130	46.398114	7.384489	0.135419	Lentur
131	46.541095	7.407245	0.135003	Lentur
132	47.160183	7.505776	0.133231	Lentur
133	47.343272	7.534916	0.132715	Lentur
134	47.343514	7.534954	0.132715	Lentur
135	47.609892	7.57735	0.131972	Lentur
136	48.430903	7.708018	0.129735	Lentur
137	48.502128	7.719353	0.129545	Lentur
138	49.035843	7.804297	0.128135	Lentur
139	49.352795	7.854741	0.127312	Lentur
140	49.969493	7.952892	0.12574	Lentur
141	49.996071	7.957122	0.125674	Lentur
142	50.448552	8.029136	0.124546	Lentur
143	50.629287	8.057901	0.124102	Lentur
144	51.001259	8.117102	0.123197	Lentur
145	51.006901	8.118001	0.123183	Lentur
146	51.357355	8.173777	0.122342	Lentur
147	51.414397	8.182855	0.122207	Lentur
148	51.517183	8.199214	0.121963	Lentur
149	51.534904	8.202035	0.121921	Lentur
150	51.535303	8.202098	0.12192	Lentur
151	51.869903	8.255351	0.121134	Lentur
152	52.061714	8.285879	0.120687	Torsi
153	53.066534	8.445801	0.118402	Lentur
154	53.623983	8.534522	0.117171	Lentur
155	53.676901	8.542944	0.117056	Lentur

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa:

Frekuensi Torsi (f_T) = 0,394017 cycle/sec

Frekuensi Lentur (f_B) = 0,150282 cycle/sec

Nilai f_T/f_B = 2,62185092

Karena $f_T/f_B \approx 2,5$; maka nilai frekuensi dianggap memenuhi karena perbandingan f_T/f_B mendekati nilai yang disarankan

4.7.2 Efek Pusaran Angin (*Vortex-Shedding*)

Pada kecepatan angin tertentu akan terjadi turbulensi atau pusaran angin (*Vortex-Shedding*). Untuk mendapatkan kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung dari angka Strouhal dari suatu lantai kendaraan :

$$S = \frac{f_B \times h}{v} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 - 7.11})$$

Dimana :

f_B = frekuensi alami lentur

h = tinggi lantai kendaraan

S = angka strouhal

- 0,20 untuk silinder dengan diameter h

- 0,10-0,20 untuk lantai kendaraan dengan tinggi h

- 0,10 jika udara mengalir pada satu sisi

v = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal (m/s)

Kecepatan angin (V) dicari dengan menggunakan persamaan angka Strouhal. Digunakan angka Strouhal (S) = 0,2, tinggi lantai kendaraan (h) = 3,0 m
maka,

$$v = \frac{f B \times h}{S}$$

$$= 2,254 \text{ m/s}$$

Kemudian dilakukan cek efek pusaran dengan angka Reynold (Re). Besarnya angka Reynold harus memenuhi persyaratan, nilai Re harus berkisar antara $10^5 - 10^7$ akibat kecepatan angin yang bekerja. Berikut persamaan untuk angka Reynold (Re),

$$\text{Re} = \frac{v \times B}{\nu k}$$

Dimana :

Re = nilai Reynold

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal = 5,91 m/s

B = lebar lantai kendaraan = 27,8 m

νk = viskositas kinematik udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{detik}$)

$$\text{Re} = \frac{v \times B}{\nu k}$$

$$= 4177839,6$$

Nilai Re diatas bisa dibilang memenuhi persyaratan yang ada ($10^5 \leq \text{Re} \leq 10^7$). Lalu akibat terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_o = \rho \times \frac{v^2}{2} \times C_N \times h \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2} - 7.13)$$

Dimana :

F_o = gaya angkat

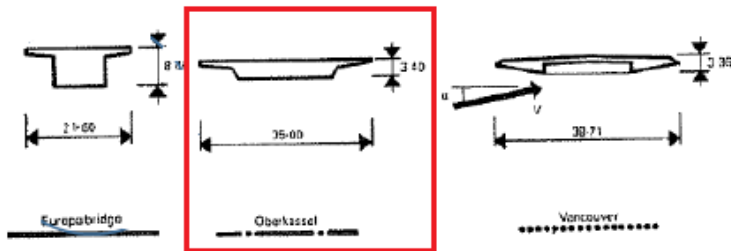
ρ = massa jenis udara = 1,3 kg/m³

v = kecepatan angin berdasarkan angka Strouhal

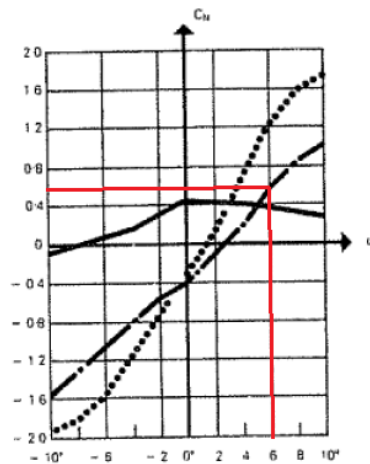
C_N = koefisien gaya angkat lantai kendaraan

H = tinggi lantai kendaraan

Besarnya nilai C_N dapat dicari dari grafik berikut ini, lihat **Gambar 4. 42** dan **Gambar 4. 43**.



Gambar 4. 42 Macam penampang *deck*



Gambar 4. 43 Grafik nilai C_N

Grafik koefisien C_N diatas merupakan hasil dari tiga bentuk penampang lantai kendaraan yang pernah dibangun. Berdasarkan desain penampang jembatan cable-stayed ini, penampang pertama cukup mewakili bentuk penampang lantai kendaraan yang didesain. Dengan α diambil sebesar 0° , maka akan didapat nilai koefisien C_N sebesar -0,4. Tetapi pada nyatanya, angin tidak selalu mengenai lantai kendaraan dalam arah horizontal secara sempurna. Nilai α dapat berubah berkisar antara 3° sampai dengan 9° , maka sebagai pembanding diambil nilai α rata-rata sebesar 6° . Sehingga didapat nilai C_N sebesar 0,6.

$$F_o = 1,3 \times \frac{2,254^2}{2} \times 0,6 \times 3 = 5,945 \text{ N/m}$$

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\hat{v} = \frac{\pi \times F_o}{\delta \times m} \times v_{\max}$$

Dimana :

\hat{v} = Amplitudo osilasi

δ = penurunan logaritmik (koefisien peredaman)

F_o = Gaya angkat

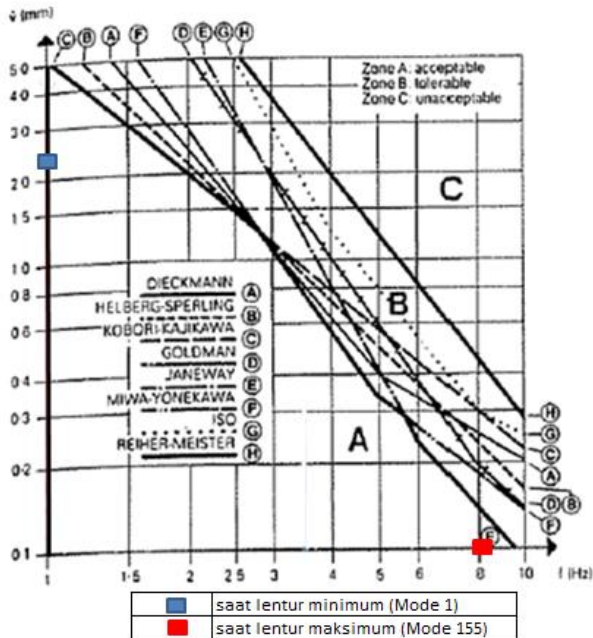
v_{\max} = deformasi statis maksimum struktur karena berat sendiri dalam arah yang ditinjau

m = Berat sendiri lantai kendaraan per meter lari

Dari hasil analisa dengan program MIDAS didapat nilai v_{\max} yang terjadi akibat berat sendiri struktur sebesar 0,602 m. Penurunan logaritmik (koefisien peredam) ditentukan 0,05. Berat sendiri lantai kendaraan adalah 97,3 kN/m

$$\hat{v} = \frac{\pi \times 5,945}{0,05 \times 97,3} \times 0,602 = 2,311 \text{ mm}$$

Untuk mengetahui apakah nilai tersebut bisa diterima atau tidak, lihat **Gambar 4. 44** dibawah ini:



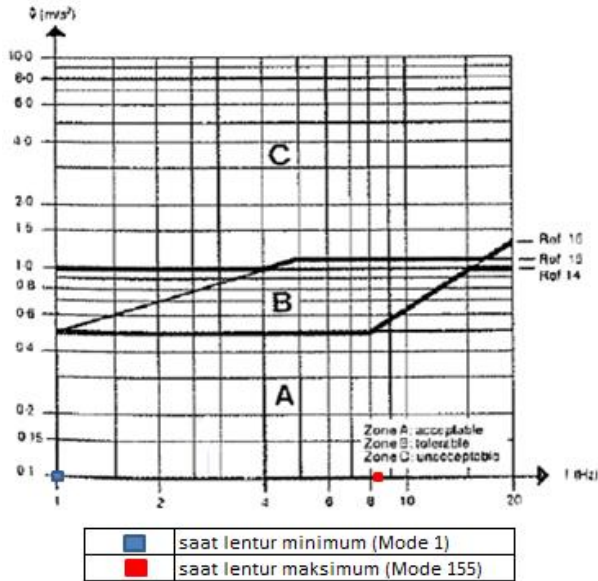
Gambar 4. 44 Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo

Bila perlu, perhitungan dapat dilanjutkan dengan mencari nilai percepatan getaran yang dihasilkan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} a_1 &= 4\pi^2 \times fB^2 \times \hat{v} \\ &= 4\pi^2 \times 0,1502^2 \times 2,311 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,002061 \text{ m/s}^2 \\
 a_2 &= 4\pi^2 \times fB^2 \times \hat{v} \\
 &= 4\pi^2 \times 0.1502^2 \times 0,1 \\
 &= 8,92 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (a) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai a dan fT pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4. 45**



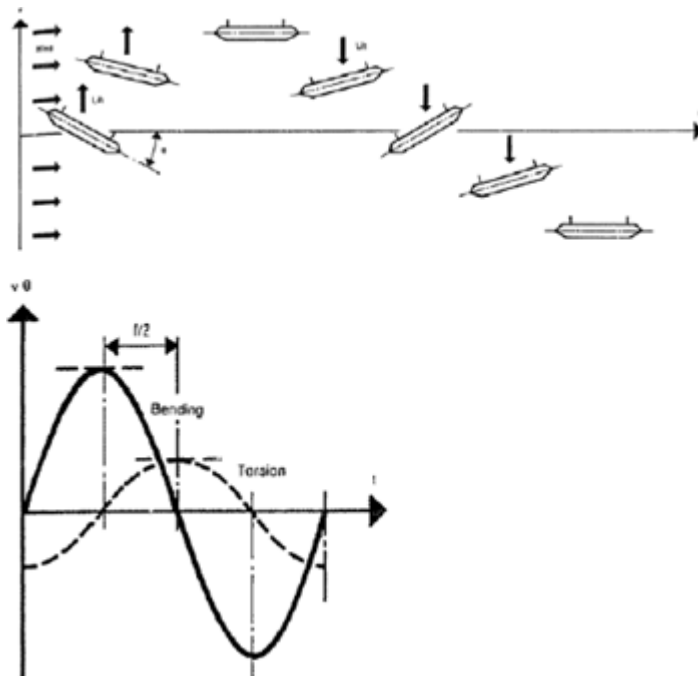
Gambar 4. 45 Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan

Dari kedua grafik diatas didapat kesimpulan bahwa desain jembatan ini berada pada area (A), yang berarti bahwa desain dapat diterima (acceptable) baik berdasarkan nilai

amplitudo (v) vs frekuensi alami lentur balok (f_B) maupun nilai percepatan getaran (a) vs frekuensi alami torsi (f_T).

4.7.3 Efek Ayunan (*Flutter*)

Fenomena ini terjadi pada kecepatan kritis yang menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Untuk desain yang ideal nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada **Gambar 4. 46** berikut ini:



Gambar 4. 46 Efek *flutter* dengan beda fase $\frac{\pi}{2}$

Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ($V_{\text{kritis teoritis}}$), dapat digunakan metode KLOEPPEL, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{kritis teoritis}} = 2\pi \cdot f_B \cdot b$$

$$b = \frac{1}{2} \text{ lebar lantai kendaraan}$$

Dimana nilai $V_{\text{kritis teoritis}}$ dapat dicari secara grafis dan tergantung dari tiga besaran berikut ini:

$$1. \quad \mu = \frac{m}{\pi \times \rho \times b^2}$$

Dimana:

$$m = \text{berat sendiri lantai kendaraan per meter lari}$$

$$= 97,3 \text{ kN/m} = 9863,301 \text{ kg/m}$$

$$\rho = \text{berat volume udara}$$

$$= 1,3 \text{ kg/m}^3$$

$$b = \text{setengah lebar lantai kendaraan}$$

$$= 13,9 \text{ m}$$

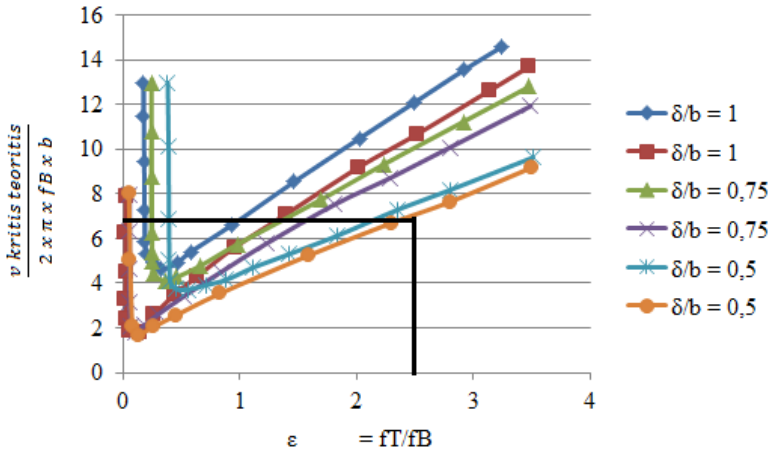
$$\mu = 12,499$$

$$2. \quad \frac{\delta}{b} = \frac{0,05}{13,9} = 0,000359$$

$$3. \quad \varepsilon = f_T / f_B$$

$$= 2,621$$

Untuk menentukan nilai kecepatan kritis teoritis perlu dicari nilai faktor pengali yang didapatkan dari **Gambar 4. 47** dengan melakukan plot nilai perbandingan frekuensi torsi dengan frekuensi lentur (f_T/f_B).



Gambar 4. 47 Kecepatan kritis teoritis untuk *flutter*

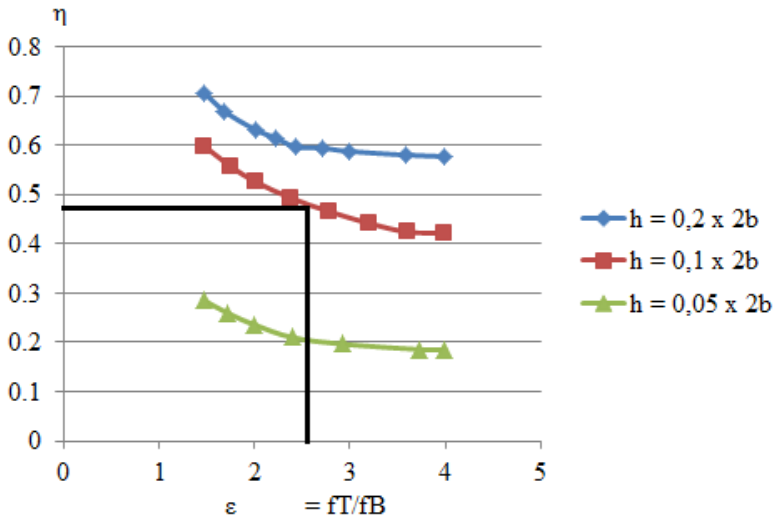
Dari nilai ϵ dan $\frac{\delta}{b}$ maka didapat nilai

$$\frac{v \text{ kritis teoritis}}{2 \times \pi \times fB \times b} = 6,5$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{kritis teoritis}} &= 6,5 (2 \times \pi \times fB \times b) \\ &= 85,31 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Lalu besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis aktual menggunakan grafik (Walther, 1999), lihat **Gambar 4. 48** dibawah ini:



Gambar 4. 48 Grafik koefisien koreksi

Dari grafik pada **Gambar 4. 48** dengan menyesuaikan penampang lintang kendaraan yang dipakai mendekati, didapatkan nilai koreksi $\eta_1 = 0,48$. Pada kenyataannya, angin tidak selalu menabrak jembatan dalam arah horisontal sempurna. Terkadang terdapat sudut α yang berkisar antara 3° sampai 9° (rata-rata 6°). Untuk lintang kendaraan dengan penampang aerodinamis, koreksi ini sebesar $\frac{1}{3}$ ($\eta_2 = 0,33$). Sehingga $v_{\text{kritis aktual}}$ yang terjadi bernilai:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{kritis aktual}} &= v_{\text{kritis teoritis}} \times \eta_1 \times \eta_2 \\
 &= 85,31 \times 0,48 \times 0,33 \\
 &= 13,513 \text{ m/s} = 48,648 \text{ km/h}
 \end{aligned}$$

Hal ini berarti, bila angin di lapangan bertiup dengan kecepatan 48,648 km/h, maka akan mulai terjadi efek flutter. Sedangkan untuk perencanaan, telah digunakan kecepatan angin 15 km/h, sehingga analisa efek flutter

memenuhi. Analisa ini perlu dilanjutkan dengan pembuktian dengan memakai model agar didapat hasil yang akurat.

4.8 Analisa Staging

Metode pelaksanaan (Staging Analysis) konstruksi jembatan cable stayed ini didesain dengan cantilever method. Urutan pekerjaannya dimulai dengan pekerjaan pylon dari beton bertulang dengan slip form, pemasangan gelagar pada sisi pylon menggunakan perancah, pemasangan kabel, kemudian pemasangan form traveler pada gelagar yang telah terpasang untuk memasang gelagar berikutnya.

Sedangkan untuk metode analisisnya dilakukan dengan metode demolishing procedure melalui backward solution. Dimulai dari keadaan final jembatan, kemudian dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai keadaan awal. Dimana menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

4.8.1 Analisa Pembebanan Staging

Pada saat pelaksanaan staging analysis beban deck jembatan akan dipikul oleh form traveler yang kemudian akan disalurkan pada jembatan. Beban yang dipikul selama tahap pelaksanaan adalah:

- Berat sendiri gelagar per segmen (5 m)

$$\begin{aligned} q_u &= W_{\text{deck}} \times SF \\ &= ((3,5 \times 29 \times 5) \times 0,5) \times 1,2 \\ &= 304,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Beban form traveler tipe overhead triangle berdasarkan produk Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.

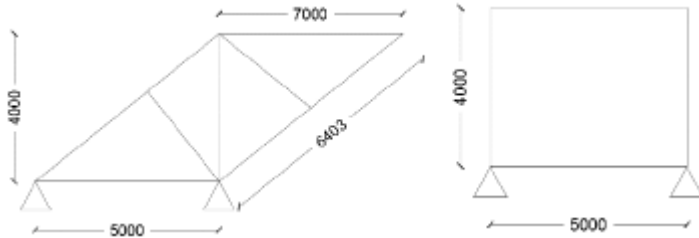
$$\begin{aligned} q_u &= 1000 \text{ kN} \times SF \\ &= 1000 \text{ kN} \times 1,25 \\ &= 1250 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 4. 32 Spesifikasi *form traveler*

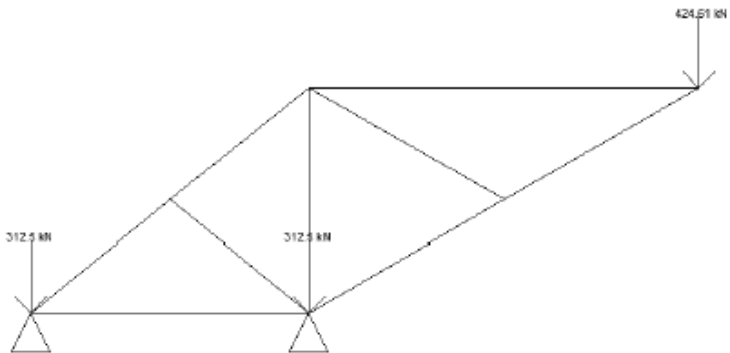
Item	Description	Specification	
1	Model	FT-S	
2	Capacity	100t ~ 480t	
3	Segment Length	3.5m ~ 7.0m	
4	Deck Width	5m ~ 35m	
5	Bridge Curvature Radius	100m-unlimited	
6	Bridge Type	Balance Cantilever Box Girder or Cable Stay	
7	Launching Mechanism	Hydraulic	
8	Formwork Material	Metal Sheet or Plywood Sheet	
9	Shape of Bridge Section	Any shape	
10	Production Cycle time	5 days – 7 days depend on site condition, concreting capacity, concrete design, pier height, reinforcement fabrication method etc.	
11	Max. Bridge Slope	Longitudinal	7%
		Transverse	5%

**Gambar 4. 49** *Form traveler* yang digunakan

Sebelum beban staging analisis diinputkan pada program MIDAS/CIVIL, terlebih dahulu dilakukan analisa distribusi beban dari form traveler ke gelagar dengan menggunakan program bantu SAP 2000.

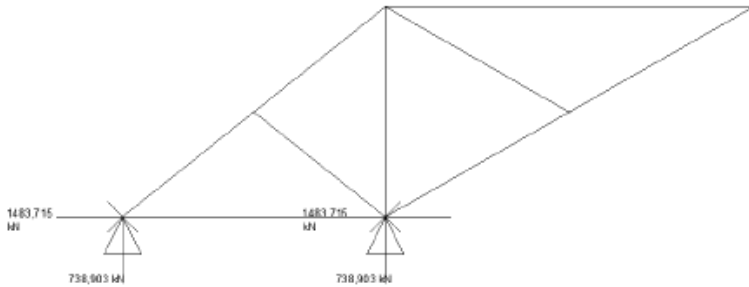


Gambar 4. 50 Spesifikasi *form traveler* (Memanjang-Melintang)



Gambar 4. 51 Permodelan dan *input* beban pada *form traveler*

Dari analisa menggunakan SAP 2000 didapatkan hasil analisa untuk reaksi dari form traveler akibat beban rencana yang akan diinputkan ke progam MIDAS/CIVIL sebagai beban pelaksanaan.



Gambar 4. 52 Hasil analisa reaksi pada *form traveler*

4.8.2 Pembebanan Kabel

Gaya kabel yang diberikan disesuaikan dengan gaya kabel yang telah dihitung terhadap beban mati saja, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 33 Gaya kabel

Kabel	Preliminary (kN)
M1	6494.390
M2	6724.400
M3	6379.826
M4	5748.200
M5	5077.639
M6	4528.085
M7	4145.927
M8	3796.795
M9	3263.582
M10	2783.646
M11	2611.394
S11	2582.196
S10	2704.077
S9	3102.337
S8	3738.118
S7	4338.539
S6	4613.227
S5	4773.325
S4	5094.832
S3	5696.150
S2	6561.940
S1	7578.556

4.8.3 Konfigurasi Pembebanan

Pada saat pelaksanaan staging analysis beban deck jembatan akan dipikul oleh form traveler yang kemudian akan disalurkan pada jembatan. Untuk konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada **Tabel 4. 34** berikut ini:

Tabel 4. 34 Konfigurasi pembebanan untuk analisa *staging*

Kasus	Konfigurasi Beban
1	DL + <i>Form Traveler</i>

4.8.4 Tahapan Analisa *Staging*

Berikut adalah urutan pelaksanaan staging analysis dengan program bantu MIDAS/Civil. Dimana urutan pelaksanaan di lapangan sama dengan urutan analisisnya, namun pelaksanaan di lapangan menggunakan *forward method* sedangkan analisisnya menggunakan *backward solution*. Sebelumnya dilakukan penomoran terlebih dahulu terhadap kabel dan gelagar.

1. Pembangunan jembatan dimulai dari struktur
2. Pemasangan LK1 menggunakan *crane* dan ditempatkan diatas perancah sementara
3. Pemasangan kabel S1 dan M1
4. Pemasangan LK2 menggunakan *crane*
5. Pemasangan kabel S2 dan M2
6. Pemasangan LK3 menggunakan *crane*
7. Pemasangan kabel S3 dan M3
8. Pemasangan LK4 menggunakan *crane*
9. Pemasangan kabel S4 dan M4
10. Pemasangan LK5 menggunakan *crane*
11. Pemasangan kabel S5 dan M5

12. Pemasangan LK6 menggunakan *crane*
13. Pemasangan kabel S6 dan M6
14. Pemasangan LK7 menggunakan *crane*
15. Pemasangan kabel S7 dan M7
16. Pemasangan LK8 menggunakan *crane*
17. Pemasangan kabel S8 dan M8
18. Pemasangan LK9 menggunakan *crane*
13. Pemasangan kabel S9 dan M9
14. Pemasangan LK10 menggunakan *crane*
15. Pemasangan kabel S10 dan M10
16. Pemasangan LK11 menggunakan *crane*
17. Pemasangan kabel S11 dan M11
18. Pemasangan LK12 menggunakan *crane*

4.8.5 Hasil Analisa Staging

Tabel 4. 35 Hasil analisa *staging* pada *pylon* (kN)

	Beban	Axial	Shear Y	Shear Z	Torsion	Momen Y	Momen Z
CS1	Summation	80873.66	5282.438	2368.436	4237.744	32403.602	20312.866
CS2	Summation	64182.174	1686.902	607.012	4077.416	27362.132	8952.776
CS3	Summation	61115.572	2357.166	1418.214	7925.232	67150.062	11116.532
CS4	Summation	60000.01	1530.116	292.712	1380.456	11513.824	8070.762
CS5	Summation	55814.472	2356.172	155.652	12.334	301.784	10871.42
CS6	Summation	55367.62	1390.368	153.86	12.334	291.452	7885.346
CS7	Summation	51279.27	2114.644	153.846	11.802	291.452	9959.922
CS8	Summation	50944.628	1453.76	153.846	11.802	291.452	8036.266
CS9	Summation	46777.024	1823.346	52.514	5.726	107.282	8904.952
CS10	Summation	46666.074	1985.578	52.514	5.726	107.282	9373.616
CS11	Summation	42311.682	1245.748	52.514	5.726	107.282	8139.586
CS12	Summation	42598.248	3613.498	48.846	3.906	73.262	13945.316
CS13	Summation	38830.596	1388.744	48.846	3.906	73.262	8277.836
CS14	Summation	37993.844	6795.194	48.846	3.906	73.262	23075.71
CS15	Summation	34217.554	4051.558	0	0	0	14947.1
CS16	Summation	30825.83	4417.98	0	0	0	16522.478
CS17	Summation	26587.498	3805.312	0	0	0	13729.086
CS18	Summation	23425.108	4680.914	0	0	0	14446.726

Tabel 4. 36 Hasil analisa *staging* pada *crossbeam*

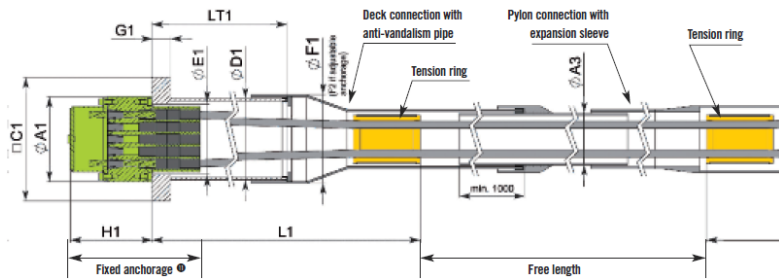
	Beban	Axial	Shear Y	Shear Z	Torsion	Momen Y	Momen Z
CS1	Summation	7271.572	1256.01	2969.554	526.848	6167.378	5555.676
CS2	Summation	3089.31	671.776	2971.262	1170.918	5620.86	2547.174
CS3	Summation	4059.664	1150.436	2969.176	2536.842	4452.924	4715.228
CS4	Summation	2804.984	208.292	2969.176	436.926	5786.648	852.236
CS5	Summation	4047.722	4.368	2969.176	1.344	4294.822	17.276
CS6	Summation	2725.156	4.368	2969.176	1.344	5769.722	16.52
CS7	Summation	3745.112	4.172	2969.176	1.274	4479.972	16.52
CS8	Summation	2937.172	4.172	2969.176	1.274	5455.17	16.52
CS9	Summation	3381.938	4.172	2969.176	1.274	5096.588	8.022
CS10	Summation	3580.752	2.03	2969.176	0.616	4591.09	8.022
CS11	Summation	2673.734	2.03	2969.176	0.616	5711.72	8.022
CS12	Summation	5566.568	1.386	2969.176	0.616	4874.016	5.474
CS13	Summation	2858.394	1.386	2969.176	0.42	5448.562	5.474
CS14	Summation	9468.452	1.386	2969.176	0.42	5728.618	5.474
CS15	Summation	6256.628	0	2969.176	0	5591.684	0
CS16	Summation	8093.414	0	3728.9	0	5994.24	0
CS17	Summation	4700.766	0	3728.9	0	14302.26	0
CS18	Summation	6254.976	0	2969.176	0	6925.142	0

4.9 Perhitungan Angkur

4.9.1 Perhitungan Angkur pada Box

Anker kabel pada gelagar dipasang sesuai dengan jumlah strand kabel yang telah dihitung. Selanjutnya akan dilakukan kontrol tegangan pelat baja sesuai dengan gaya yang ada, lihat **Gambar 4. 53** dan **Gambar 4. 54**.

**Gambar 4. 53** Angkur pada *deck*



Gambar 4. 54 Detail angkur VSL SSI 2000 untuk deck

Untuk spesifikasi dari kabel produk VSL bisa dilihat pada **Tabel 4. 37** berikut ini:

Tabel 4. 37 Spesifikasi teknis angkur VSL SSI 2000

STAY PIPE			FIXED ANCHORAGE						
SSI 2000	SSI 2000-C ØA3/thk	SSI 2000-D	ØA1	C1	ØD1/thk	ØE1	ØF1	G1	H1 mini
mm	mm	mm	mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	mm
125/4.9	95/5.0	80/5.0	185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
140/5.4	110/5.0	95/5.0	230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
160/5.0	120/5.0	105/5.0	250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
160/5.0	140/6.0	120/6.0	280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
180/5.6	150/6.0	130/6.0	300	455	273/6.3	255	286	70	270
200/6.2	165/6.0	145/6.0	340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
200/6.2	180/6.0	155/6.0	380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
225/7.0	190/6.0	165/6.0	380	585	355.6/8	330	370	85	310
250/7.8	210/6.6	175/6.0	430	650	406.4/8.8	370	420	95	330
250/7.8	225/6.9	190/6.0	430	685	406.4/8.8	370	420	110	360
280/8.7	230/7.2	200/6.2	480	730	457/10	420	470	110	370
315/9.8	250/7.7	215/6.7	495	775	457/10	420	470	120	380
315/9.8	270/8.4	235/7.3	550	845	508/11	475	525	130	430
315/9.8	-	-	570	900	520/12	480	540	135	440
355/11.1	-	-	590	920	559/12.5	490	550	140	460
355/11.1	-	-	630	970	585/14	510	580	150	480
400/12.3	-	-	660	1,000	600/15	550	620	160	490

Pelat BJ55

- $f_y = 410 \text{ Mpa}$
- $f_u = 550 \text{ Mpa}$
- $t_f = 70 \text{ mm}$

Contoh perhitungan anker digunakan kabel S1 karena mempunyai gaya paling besar. Data perencanaan:

$$P = 14189,546 \text{ kN}$$

$$\text{ØA1} = 550 \text{ mm}$$

$$C1 = 845 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{p'} &= C2 \times C2 \\ &= 714025 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= A_{p'} - (0,25 \cdot \pi \cdot \text{ØA1}^2) \\ &= 714025 - (0,25 \cdot \pi \cdot 550^2) \\ &= 476442,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan ijin pelat baja pada saat ada gaya yang bekerja:

Pelat baja BJ55

$$f_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 550 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} f_{yp} &= 0,8 \times f_y \times \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p}} - 0,2 \\ &= 373,784 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{yt} &= P / A_p \\ &= 29,782 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kontrol

$$f_{yp} = 373,784 \text{ MPa} > f_{yt} = 29,782 \text{ MPa} \text{ (OK)}$$

Untuk perhitungan kontrol tegangan anker lain akan disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada **Tabel 4. 38**.

Tabel 4. 38 Rekap kontrol angkur

Kabel	ØA1 (mm)	C1 (mm)	P (kN)	Ap' (mm ²)	Ap (mm ²)	Ap'/Ap	fyp (MPa)	fyt (MPa)	Kontrol
M1	430	650	9914.701	422500	277279.8796	1.523731187	377.3755371	35.75702	OK
M2	430	685	12514.882	469225	324004.8796	1.448203498	366.4515318	38.6256	OK
M3	430	685	13952.594	469225	324004.8796	1.448203498	366.4515318	43.06291	OK
M4	430	685	14636.906	469225	324004.8796	1.448203498	366.4515318	45.17496	OK
M5	430	650	14766.855	422500	277279.8796	1.523731187	377.3755371	53.25614	OK
M6	430	650	15036.185	422500	277279.8796	1.523731187	377.3755371	54.22747	OK
M7	430	650	15964.552	422500	277279.8796	1.523731187	377.3755371	57.57559	OK
M8	380	585	16483.084	342225	228813.5052	1.495650354	373.3513729	72.0372	OK
M9	380	585	16431.419	342225	228813.5052	1.495650354	373.3513729	71.8114	OK
M10	380	550	15972.120	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	84.46902	OK
M11	380	550	16258.833	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	85.98531	OK
S11	380	550	15560.807	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	82.29378	OK
S10	380	550	14519.511	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	76.78685	OK
S9	380	550	13642.884	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	72.15078	OK
S8	380	550	13606.600	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	71.9589	OK
S7	380	550	13508.898	302500	189088.5052	1.599779953	388.0643329	71.4422	OK
S6	380	585	12364.492	342225	228813.5052	1.495650354	373.3513729	54.03742	OK
S5	380	585	11449.136	342225	228813.5052	1.495650354	373.3513729	50.03698	OK
S4	380	585	10929.542	342225	228813.5052	1.495650354	373.3513729	47.76616	OK
S3	430	650	10936.483	422500	277279.8796	1.523731187	377.3755371	39.44204	OK
S2	495	775	12534.585	600625	408182.815	1.471460772	369.8497474	30.70826	OK
S1	550	845	14189.546	714025	476442.0556	1.498660733	373.7848529	29.78231	OK

Kontrol kemampuan angkur dalam menerima gaya yang bekerja, ilustrasi plat angkur pada seluruh titik pengangkeran dapat dilihat pada **Gambar 4. 55**.

**Gambar 4. 55** Plat angkur tendon

Kontrol penampang pelat pada anker, digunakan kabel S1 karena mempunyai gaya terbesar. Pada perencanaan ini digunakan $t_f = 80$ mm dan $t_w = 70$ mm:

1. Lentur lokal sayap
SNI 1729 2015 Ps. J10-1
 $\phi R_n = \phi \times 6,25 \times t_f^2 \times f_y$

$$= 14760000 \text{ N}$$

$$= 14760 \text{ kN}$$

2. Pelelehan local badan

SNI 1729 2015 Ps. J10-2

$$\phi R_n = \phi \times f_y \times t_w \times (2,5k + L_b)$$

dimana :

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

N = dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k.

$$\phi R_n = 20644000 \text{ N}$$

$$= 20644 \text{ kN}$$

3. Pelipatan pada badan

SNI 1729 2015 Ps. J10-3

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$d = 1480 \text{ mm}$$

$$L_b = 520 \text{ mm}$$

$$L_b/d = 0,351$$

Untuk $L_b/d > 0,2$, gunakan rumus dibawah ini:

$$\phi R_n = 0,4 \times t_w^2 \left(1 + \left(\frac{4L_b}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right) \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}}$$

$$= 46917453 \text{ N}$$

$$= 46917,453 \text{ kN}$$

4. Tekuk tekan badan

SNI 1729 2015 Ps. J10-5

$$\phi R_n = \frac{24 \times t_w^3 \sqrt{E \times f_y}}{h}$$

$$= 39337166 \text{ N}$$

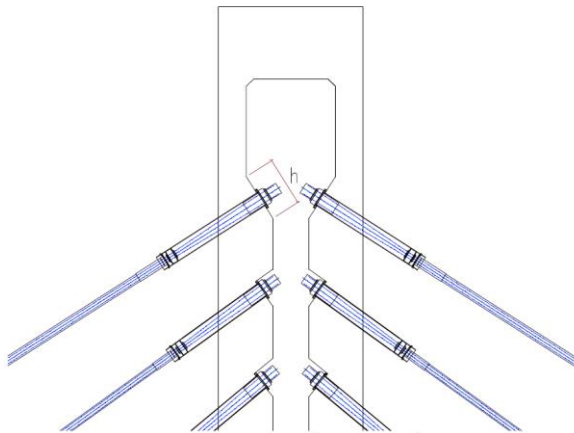
$$= 39337,166 \text{ kN}$$

Dari semua nilai ϕR_n diatas, diambil yang terkecil untuk dilakukan kontrol $\phi R_n > S_1$

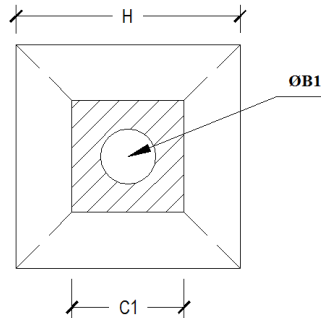
$$\begin{aligned} \phi R_n &> S_1 \\ 14760 \text{ kN} &> 14189,546 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

4.9.2 Perhitungan Angkur pada *Pylon*

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya stressing nya yang telah dihitung. Pada daerah pengangkuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel menerima gaya yang bekerja. Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4. 56** dan **Gambar 4. 57**.

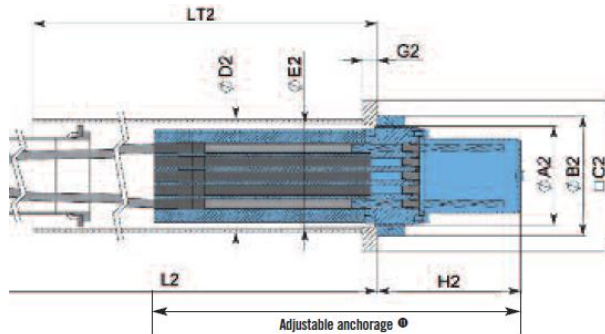


Gambar 4. 56 Daerah angkur pada *pylon*



Gambar 4. 57 Dimensi angkur dan *clearance* yang diperlukan

Berikut adalah detail dan spesifikasi angkur yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4. 58** dan **Tabel 4. 39**.



Gambar 4. 58 Detail angkur VSL SSI 2000 untuk *pylon*

Tabel 4. 39 Spesifikasi angkur VSL SSI 2000

STAY PIPE			ADJUSTABLE ANCHORAGE							
SSI 2000	SSI 2000-C ØA3/tnk	SSI 2000-D	ØA2	B2	C2	ØØ2/tnk	E2	G2	H2 mini	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	
125/4.9	95/5.0	80/5.0	190	230	290	219.1/6.3	196	30	320	
140/5.4	110/5.0	95/5.0	235	285	355	267/6.3	241	35	345	
160/5.0	120/5.0	105/5.0	255	310	385	298.5/7.1	261	40	355	
160/5.0	140/6.0	120/6.0	285	350	440	323.9/7.1	291	45	405	
180/5.6	150/6.0	130/6.0	310	380	485	355.6/8	316	50	435	
200/6.2	165/6.0	145/6.0	350	425	540	406.4/8.8	356	55	450	
200/6.2	180/6.0	155/6.0	385	470	585	419/10	391	60	490	
225/7.0	190/6.0	165/6.0	385	470	600	419/10	391	65	525	
250/7.8	210/6.6	175/6.0	440	530	680	508/11	446	75	525	
250/7.8	225/6.9	190/6.0	440	540	710	508/11	446	80	585	
280/8.7	230/7.2	200/6.2	490	590	760	559/12.5	496	80	580	
315/9.8	250/7.7	215/6.7	505	610	795	559/12.5	511	90	615	
315/9.8	270/8.4	235/7.3	560	670	865	610/12.5	566	95	665	
315/9.8	-	-	580	700	910	630/15	590	100	685	
355/11.1	-	-	590	720	940	640/15	600	100	695	
355/11.1	-	-	630	760	1,000	685/15	640	110	730	
400/12.3	-	-	660	800	1,050	720/15	670	120	770	

4.9.2.1 Kontrol Tegangan Beton saat Menerima Gaya

Perhitungan angkur kabel dicontohkan dengan kabel 01

$$P = 14189,546 \text{ kN}$$

$$C2 = 865 \text{ mm}$$

$$h = 900 \text{ mm}$$

$$f_c = 70 \text{ MPa}$$

$$A2 = h \times h \\ = 810000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ø}B2 = 670 \text{ mm}$$

$$A1 = (C1 \times C1) - \text{Area}(\text{Ø}B1) \\ = 395659,76 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan 45% f'_c

$$f_{ci} = 45\% \times 70 \text{ MPa} \\ = 31,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \times f_{ci} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} - 0,2$$

$$= 34,249 \text{ MPa}$$

$$1,25f_{ci} = 39,375 \text{ MPa}$$

Kontrol:

$$1,25f_{ci} = 39,375 \text{ MPa} > f_{cp} = 34,249 \text{ MPa (OK)}$$

Tegangan di bawah plat angkur

$$f_t = P/A_1$$

$$= 17,517 \text{ MPa}$$

Kontrol:

$$f_t = 17,517 \text{ MPa} < f_{cp} = 34,249 \text{ MPa (OK)}$$

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada **Tabel 4.40** berikut ini:

Tabel 4.40 Kontrol Tegangan Beton

Kabel	P (kN)	ØB2 (mm)	C2 (mm)	h (mm)	A2 (mm ²)	A1 (mm ²)	f _{cp}	1.25f _{ci}	1.25f _{ci} > f _{cp}	f _{c'} beton (Mpa)	f _{c'} < f _{cp}
M1	9914.701	530	680	790	624100	241782	38.88691156	39.375	OK	15.88639801	OK
M2	12514.882	540	710	800	640000	275078	36.74894234	39.375	OK	19.55450313	OK
M3	13952.594	540	710	800	640000	275078	36.74894234	39.375	OK	21.80092813	OK
M4	14636.906	540	710	800	640000	275078	36.74894234	39.375	OK	22.87016563	OK
M5	14766.855	530	680	790	624100	241782	38.88691156	39.375	OK	23.6610399	OK
M6	15036.185	530	680	790	624100	241782	38.88691156	39.375	OK	24.09258933	OK
M7	15964.552	530	680	790	624100	241782	38.88691156	39.375	OK	25.58011857	OK
M8	16483.084	470	600	700	490000	186506	39.26082136	39.375	OK	33.63894694	OK
M9	16431.419	470	600	670	448900	186506	37.43620042	39.375	OK	36.60374025	OK
M10	15972.120	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	36.66694215	OK
M11	16258.833	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	37.32514463	OK
S11	15560.807	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	35.72269743	OK
S10	14519.511	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	33.33221074	OK
S9	13642.884	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	31.31975207	OK
S8	13606.600	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	31.23645546	OK
S7	13508.898	470	585	660	435600	168731	38.88998486	39.375	OK	31.01216253	OK
S6	12364.492	470	600	700	490000	186506	39.26082136	39.375	OK	25.23365714	OK
S5	11449.136	470	600	700	490000	186506	39.26082136	39.375	OK	23.36558367	OK
S4	10929.542	470	600	700	490000	186506	39.26082136	39.375	OK	22.30518776	OK
S3	10936.483	530	680	790	624100	241782	38.88691156	39.375	OK	17.52360679	OK
S2	12534.585	610	795	850	722500	339778	34.97616801	39.375	OK	17.34890657	OK
S1	14189.546	670	865	900	810000	395660	34.24988238	39.375	OK	17.51795802	OK

4.9.2.2 Perhitungan Tulangan pada Daerah Angkur

1. Akibat pancaran (*bursting*)
(SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.3)

$$T_{pencar} = 0,25 \times T \left(1 - \frac{a}{h} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,25 \times 14189,546 \left(1 - \frac{865}{900}\right) \\
 &= 137,953 \text{ kN} \\
 \text{dpencar} &= 0,5(h-2e) \\
 &= 0,5 \cdot (900 - 0) \\
 &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan sengkang penutup D16 dengan $A_s = 200 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= T \text{ pencar} / f_y \\
 &= 137953 / 410 \\
 &= 336,47 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s \\
 &= 1,68
 \end{aligned}$$

$$n \text{ pakai} = 3$$

Spasi antar sengkang:

$$\begin{aligned}
 s &= \text{dpencar} / n \\
 &= 450 / 3 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan sengkang 3D16-150

2. Akibat pengelupasan (*spalling*)

Untuk mencegah pengelupasan (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%P

$$\begin{aligned}
 2\%P &= 2\% \times 14189,546 \text{ kN} \\
 &= 283,79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= 2\%P / f_y \\
 &= 692,172 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan U D22 dengan $A_s = 387 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s \\
 &= 1,78
 \end{aligned}$$

$$n \text{ pakai} = 2$$

Untuk kebutuhan tulangan pada daerah kabel yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4. 41** dan **Tabel 4. 42** dibawah ini:

Tabel 4. 41 Kebutuhan Tulangan untuk Pancaran

Kabel	P (kN)	a (mm)	h (mm)	T Pancar (kN)	As perlu (mm ²)	d pancar (mm)	As (mm ²)	n	s (mm)	s pakai (mm)
M1	9914.701	680	790	345.1319968	841.7853581	395	387	3	132	100
M2	12514.882	710	800	351.9810563	858.4903811	400	387	3	133	100
M3	13952.594	710	800	392.4167063	957.1139177	400	387	3	133	100
M4	14636.906	710	800	411.6629813	1004.056052	400	387	3	133	100
M5	14766.855	680	790	514.0360918	1253.746565	395	509	3	132	100
M6	15036.185	680	790	523.4115032	1276.613422	395	509	3	132	100
M7	15964.552	680	790	555.7280759	1355.434332	395	509	3	132	100
M8	16483.084	600	700	588.6815714	1435.808711	350	509	3	117	100
M9	16431.419	600	670	429.1788545	1046.777694	335	387	3	112	100
M10	15972.120	585	660	453.7534091	1106.715632	330	387	3	110	100
M11	16258.833	585	660	461.8986648	1126.582109	330	387	3	110	100
S11	15560.807	585	660	442.0683807	1078.215563	330	387	3	110	100
S10	14519.511	585	660	412.486108	1006.063678	330	387	3	110	100
S9	13642.884	585	660	387.5819318	945.3217849	330	387	3	110	100
S8	13606.600	585	660	386.5511364	942.8076497	330	387	3	110	100
S7	13508.898	585	660	383.7755114	936.0378326	330	387	3	110	100
S6	12364.492	600	700	441.589	1077.046341	350	387	3	117	100
S5	11449.136	600	700	408.8977143	997.3114983	350	387	3	117	100
S4	10929.542	600	700	390.3407857	952.0506969	350	387	3	117	100
S3	10936.483	680	790	380.7003576	928.5374575	395	387	3	132	100
S2	12534.585	795	850	202.7653456	494.5496234	425	284	3	142	100
S1	14189.546	865	900	137.9539194	336.4729743	450	284	3	150	150

Tabel 4. 42 Kebutuhan Tulangan untuk Pengelupasan

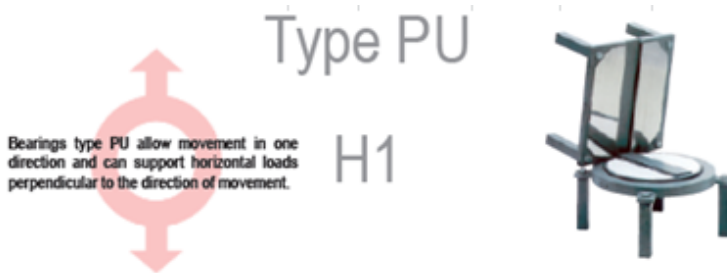
T spalling (kN)	As perlu (mm ²)	As(mm ²)	n
198.29402	483.6439512	284	2
250.29764	610.4820488	284	3
279.05188	680.6143415	284	3
292.73812	713.9954146	284	3
295.3371	720.3343902	284	3
300.7237	733.472439	284	3
319.29104	778.7586341	284	3
329.66168	804.052878	284	3
328.62838	801.5326341	284	3
319.4424	779.1278049	284	3
325.17666	793.1138049	284	3
311.21614	759.0637561	284	3
290.39022	708.2688293	284	3
272.85768	665.5065366	284	3
272.132	663.7365854	284	3
270.17796	658.9706341	284	3
247.28984	603.1459512	284	3
228.98272	558.494439	284	2
218.59084	533.1483902	284	2
218.72966	533.4869756	284	2
250.6917	611.4431707	284	3
283.79092	692.1729756	284	3

4.10 Perencanaan Perletakan

Dengan adanya perletakan maka gaya dalam yang terjadi pada struktur atas akan disalurkan ke struktur bawah dan perletakan sendiri sebagai penopang jembatan.

4.10.1 Desain *Pot Bearing*

Pot bearing unidirectional merupakan jenis perletakan dimana hanya memungkinkan satu gerakan arah longitudinal. Berikut ini adalah model penggunaan *unidirectional pot bearing* tipe PU H1 dapat dilihat pada **Gambar 4. 59**.



Gambar 4. 59 *Unidirectional Pot Bearing*

Gaya dalam yang dapat diterima oleh pot bearing sebagai berikut:

- Vertikal = 14947 kN
- Horizontal = 63451 kN

Direncanakan menggunakan 5 buah *pot bearing*, maka masing-masing *pot bearing* akan menerima gaya sebesar:

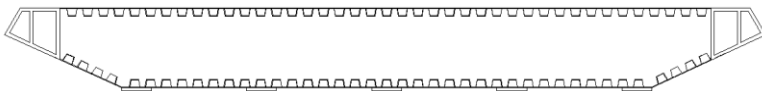
- Vertikal = 2989 kN
- Horizontal = 12960 kN

Untuk tipe dan spesifikasi *pot bearing* yang digunakan bisa dilihat pada **Tabel 4. 43** berikut:

Tabel 4. 43 Spesifikasi *Pot Bearing*
Bearings according to Euronorm EN 1337

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PU 100/70/H1 EN	977	105	700	70	350	39
PU 200/140/H1 EN	1953	210	1400	140	700	55
PU 300/220/H1 EN	3069	330	2200	220	1100	74
PU 390/280/H1 EN	3906	420	2800	280	1400	92
PU 490/350/H1 EN	4883	525	3500	350	1750	111
PU 630/450/H1 EN	6278	675	4500	450	2250	144
PU 700/500/H1 EN	6975	750	5000	500	2500	161
PU 840/600/H1 EN	8370	900	6000	600	3000	234
PU 900/650/H1 EN	9068	975	6500	650	3250	260
PU 1000/700/H1 EN	9765	1050	7000	700	3500	281
PU 1100/800/H1 EN	11160	1200	8000	800	4000	323
PU 1200/850/H1 EN	11858	1275	8500	850	4250	354
PU 1320/950/H1 EN	13253	1425	9500	950	4750	405
PU 1400/1000/H1 EN	13950	1500	10000	1000	5000	439
PU 1535/1100/H1 EN	15345	1650	11000	1100	5500	481
PU 1700/1200/H1 EN	16740	1800	12000	1200	6000	532
PU 1800/1300/H1 EN	18135	1950	13000	1300	6500	577
PU 2000/1400/H1 EN	19530	2100	14000	1400	7000	630
PU 2100/1500/H1 EN	20925	2250	15000	1500	7500	745
PU 2200/1600/H1 EN	22320	2400	16000	1600	8000	898
PU 2400/1700/H1 EN	23715	2550	17000	1700	8500	947
PU 2500/1800/H1 EN	25110	2700	18000	1800	9000	999
PU 2650/1900/H1 EN	26505	2850	19000	1900	9500	1067
PU 2800/2000/H1 EN	27900	3000	20000	2000	10000	1187
PU 3000/2200/H1 EN	30690	3300	22000	2200	11000	1272

Dan untuk ilustrasi penempatan *pot bearing* dibawah lantai kendaraan bisa dilihat pada **Gambar 4. 60** berikut:



Gambar 4. 60 Ilustrasi penempatan *pot bearing* pada lantai kendaraan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari seluruh analisa yang kemudian dikontrol dari desain jembatan *cable stayed* ini, disajikan pada bab kesimpulan dengan rincian sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan *orthotropic steel deck* untuk *cable-stayed* didapatkan:

- Tinggi *web* : 290 mm
- Tebal *web* : 8 mm
- Lebar *flange* : 300 mm
- Tebal *flange* : 8 mm
- Lebar plat *deck* : 600 mm
- Tebal plat *deck* : 19 mm

2. Permodelan dan analisa struktur menggunakan program MIDAS/CIVIL.

3. Jembatan mampu menahan beban statik, dinamis (gempa) dan saat jembatan diasumsikan satu kabel putus,

4. Kabel yang digunakan adalah *VSL 7-wire strand*, tipe ASTM A 416-05 Grade 270. Kabel masih bisa menahan perbesaran gaya yang terjadi akibat kondisi satu kabel putus.

5. Lantai kendaraan dan penampang kabel masih dapat menahan gaya-gaya yang terjadi saat terjadi kondisi satu kabel putus pada kabel S1 yang memiliki gaya yang paling besar

7. Struktur *pylon* dengan dimensi 6 m x 12 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan kolom *pylon* didapat:

Tabel 5. 1 Rekap penulangan *pylon*

Tulangan Lentur	554D57
Tulangan Sengkang arah unbraced frame (sendi plastis)	12D25-100
Tulangan Sengkang arah unbraced frame (luar sendi plastis)	6D19-300
Tulangan Sengkang arah braced frame (sendi plastis)	12D25-100
Tulangan Sengkang arah braced frame (luar sendi plastis)	6D25-300
Tulangan Torsi	288D57

8. Stabilitas aerodinamis struktur jembatan setelah dihitung menggunakan rumus empiris untuk efek *vortex-shedding* pada cek psikologis masih dominan berada pada daerah *acceptable*. Sedangkan untuk efek ayunan (*flutter*) aman, kecepatan angin izin (48,65 km/h) untuk terjadi efek ayun lebih besar dari kecepatan angin eksisting (15 km/h).

5.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, maka dari itu perlu adanya hal-hal yang harus diperhatikan agar perencanaan atau desain sejenis dapat lebih baik lagi, hal-hal tersebut antara lain :

1. Agar ketelitian dalam desain lebih baik dari desain ini kedepannya perlu untuk menambah macam konfigurasi pembebanan (berupa beban statik) untukantisipasi keadaan yang paling kritis, sehingga desain bisa lebih aman.
2. Dalam menentukan distribusi pembebanan pada saat staging analysis tepatnya pembebanan form traveler terhadap lantai kendaraan perlu di cek kembali supaya lebih proporsional (mendekati kondisi yang sebenarnya).

3. Untuk desain yang sebenarnya dalam analisa dinamis akibat beban angin selain dilakukan kontrol menggunakan rumus empiris perlu juga dimodelkan penuh menggunakan terowongan angina (*wind tunnel*). Hal ini dimaksudkan agar ketelitian dalam desain lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2007, *Jembatan*, CV .BET A OFFSET.
- Gerard Parke dan Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering*. USA, ASCE Press
- Gimsing, Neils J. , dan Christos T. Georgakis. 2012. *Cable Suported Bridge Concept and Design Third Edition*. Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- Grabow, Marko J. 2004. *Construction Stage Analysis of Cable-stayed Bridges*. Hamburg, Civil and Environmental Engineering Technische Universtät Hamburg-Harburg
- Handan China Railway Bridge Machinery Co. Ltd. *Travelling Formwork System (Form-Traveller)*. HCR Bridge Machinery (M) Sdn. Bhd.
- Juvani, Jani, dan Olli Lipponen. 2012. “*Cable Stayed Bridge*”. Alto University.
- Mustazir, Herry Vaza, dan Monang SR Pasaribu. 2002. *Kabel Sebagai Elemen Utama Jembatan: Konstruksi dan Perilaku*. Bandung, Institut Teknologi Nasional
- Niyitegeka, Simon. 2015. *Influence of Cable Layout on the Seismic Response of Cable-stayed Bridges*. India, Departement of Civil Engineering, Gujarat Technological University

- Parke, Gerard, dan Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering Second Edition*. London, Thomas Telford Ltd.
- Podolny, W, and Scalzi. 1986. *Construction and Design of Cable-stayed Bridge*. New York
- Parmar, Vijay. 2015. *Effect of Pylon Height on Cable Stayed*. International Journal of Science Technology & Engineering. India.
- Roy, Partha P. 2013. *Cable Stayed Bridge*. India, International Jurnal of Science and Advance Technology
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. RSNI T-03-2005. Deartemen PU Dirjen Bina Marga
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. RSNI 2833-2016. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1726-2015. Badan Standarisasi Nasional.

- Standar Nasional Indonesia. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725-2016. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Beton*. SNI 2847-2013. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. SNI 1726-2015. Departemen Pekerjaan Umum
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*. SK PU 23 April 2015. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- Walter, R. , Houriet, Isler, Moia, Klein. 1999. *Cable Stayed Bridge Second Edition*. London, Thomas Telford Publising.
- Xiang, Halfan. 1999. *Cable-stayed Bridges: Past, Present, and Future*. Malmö, Proceedings International Association or Bridge and Structural Engineering (IABSE)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

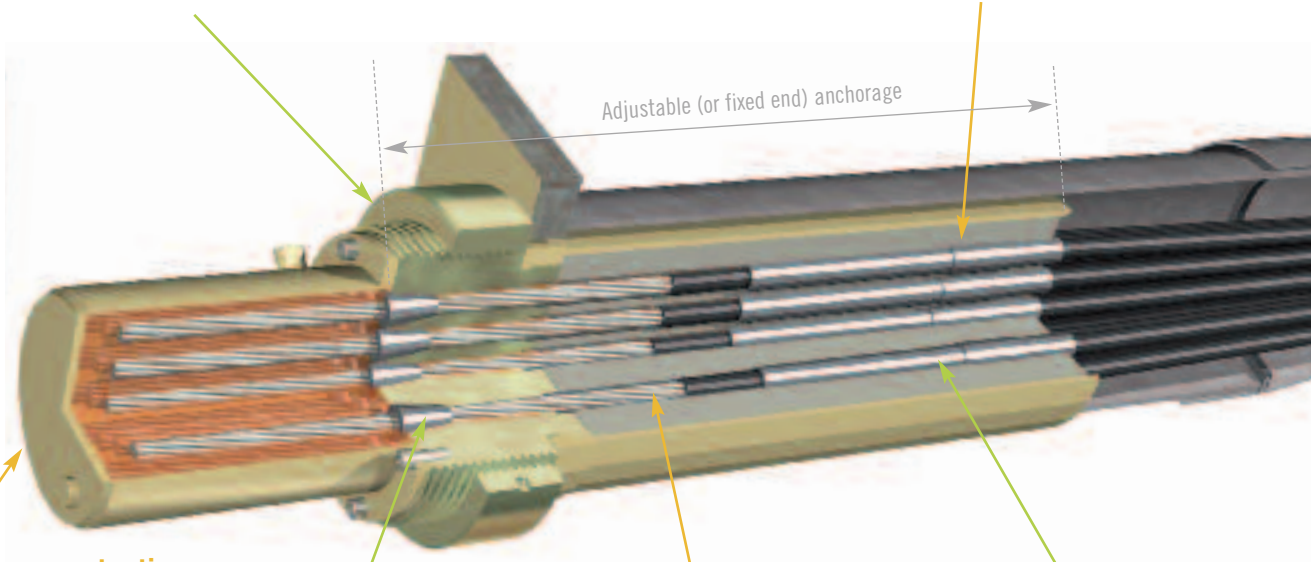
SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY

Compact anchorage

Fully prefabricated including its corrosion protection in controlled factory conditions

Several complementary barriers

For complete water tightness of the anchorage



Anchorage protection cap with flexible gel filler

Strands encapsulated by a polymerised and bonded filler, achieving reliable corrosion protection while allowing access for inspection if necessary

Replaceable strand system in a durable stay pipe

Sheathed, greased or waxed strands with optional galvanization, protected in an HDPE pipe with proven ageing performance. Each strand can be individually monitored, inspected and replaced

Individual encapsulation and deviation

Each strand is individually protected with a multi-layer barrier system inside a leak-tight anchorage assembly and is separately guided to filter bending stresses at the anchorage entrance

High fatigue resistance

Demonstrated in fatigue tests in accordance with *fib* and PTI requirements under combined tensile and bending action

The SSI 2000 Stay cable system is based on VSL's proven strand technologies

The SSI 2000 wedge anchorages and its tensile members as well as its protective system meet the most stringent requirements for durability, tensile capacity and fatigue performance. Its strand-by-strand technology ensures maximum flexibility and full capability for replacement.

High fatigue performance

The anchorage assembly is designed to control the deviation of individual strands and to filter cable vibrations outside the wedge anchorage zone. Its outstanding fatigue performance has been demonstrated in fatigue tests as specified in the latest recommendations by PTI and *fib* with imposed angular deviation of the

anchorage from the cable axis. A tension ring or a guide deviator can be used to bundle the strands at the exit of the guide pipe.

Durability and multi-barrier protection

All SSI 2000 stay cables are engineered for a design life of 100 years in the most aggressive environments.

The unique feature of individual encapsulation of each strand within the anchorage assembly eliminates the risk of corrosion migration between strands.

The multi-barrier protection system is achieved in the free length by individually sheathed, greased or waxed strands with optional galvanization

within the protective outer stay pipe. The protection is maintained in the anchorage assembly by a flexible gel filler injection, which has passed the stringent leak-tightness tests specified by PTI and *fib*.

Cable installation with lightweight equipment and minimum impact on other erection activities

The compact nature of the anchorages and the strand-by-strand installation with lightweight equipment frees tower crane time and does not require any heavy deck equipment. Therefore, the stay installation does not impair the key activities in a typical deck and pylon construction cycle.

Free tension ring

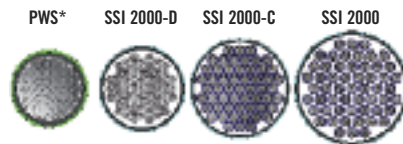
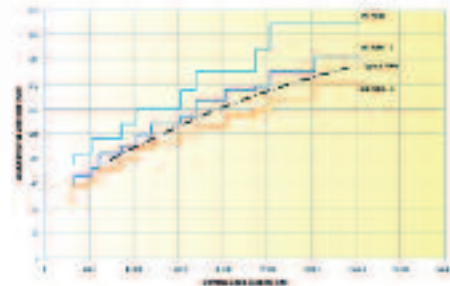
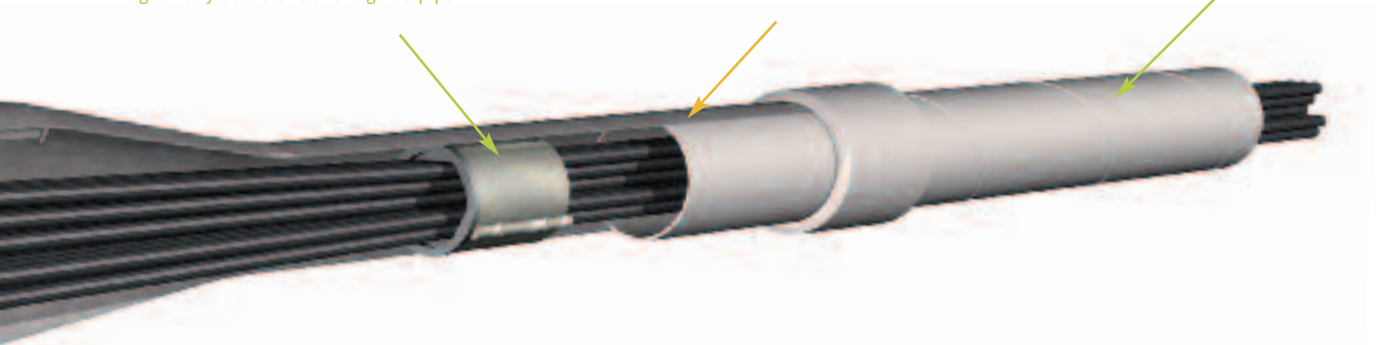
Located inside the stay pipe. Can be replaced by a guide deviator, depending on the geometry at the exit of the guide pipe

Anti-vandalism protection

Designed to protect the stay cable above deck level and to accommodate an optional damping system

Low drag coefficient and aeroelastic stability

External helical ribs tested in wind tunnel for efficient control of rain-wind induced vibrations. Two options for even lower wind drag – SSI 2000-C and SSI 2000-D with reduced stay pipe diameters



Comparison of equivalent drag diameter of different types of stays

Equivalent Drag Diameter = O.D. Stay Pipe x Drag Coefficient Cd
Cd = 0.6 for SSI 2000 has been determined in wind tunnel testing

Cd = 0.8 for PWS is based on typical project specification

* PWS = typical parallel wire system

Three systems are available to meet project-specific aerodynamic requirements.

The standard SSI 2000 system with an optimised stay pipe to control rain-wind induced vibration and minimise wind drag

The stay pipe is fitted with a continuous helical rib, effectively suppressing rain and wind induced vibrations and reducing the wind drag on the cable. Extensive wind tunnel testing at speeds of up to 70m/s has been carried out for validation.

SSI 2000-C: the VSL compact system for long cables

Reduced stay pipe diameters result in lower wind drag on the stay cable and hence in a reduction of wind loads on the structure. This can be an important parameter in the design of long-span bridges. The SSI 2000-C compact stay cable range offers significantly reduced stay pipe diameters for the same permissible cable load. While this is the system of choice for exceptionally long cables, special tools are required for its installation.

SSI 2000-D: the VSL dehumidified system for even lower wind drag

The system maintains all the proven features of the standard anchorage system, while reducing further the cross section of the ducted strand bundle by eliminating the sheathing of the strands and providing equivalent corrosion protection through permanent dehumidification of the cable. The result is the most compact parallel strand stay cable on the market – a system with fully replaceable individual strands and unrivalled low wind drag.

Cable replacement strand by strand with minimum traffic disruption

Strands can be individually monitored, inspected and replaced: entire cables can be replaced strand by strand. The use of lightweight equipment minimises the impact on vehicular traffic and cable replacement can be achieved under single lane closures.

VSL Dampers

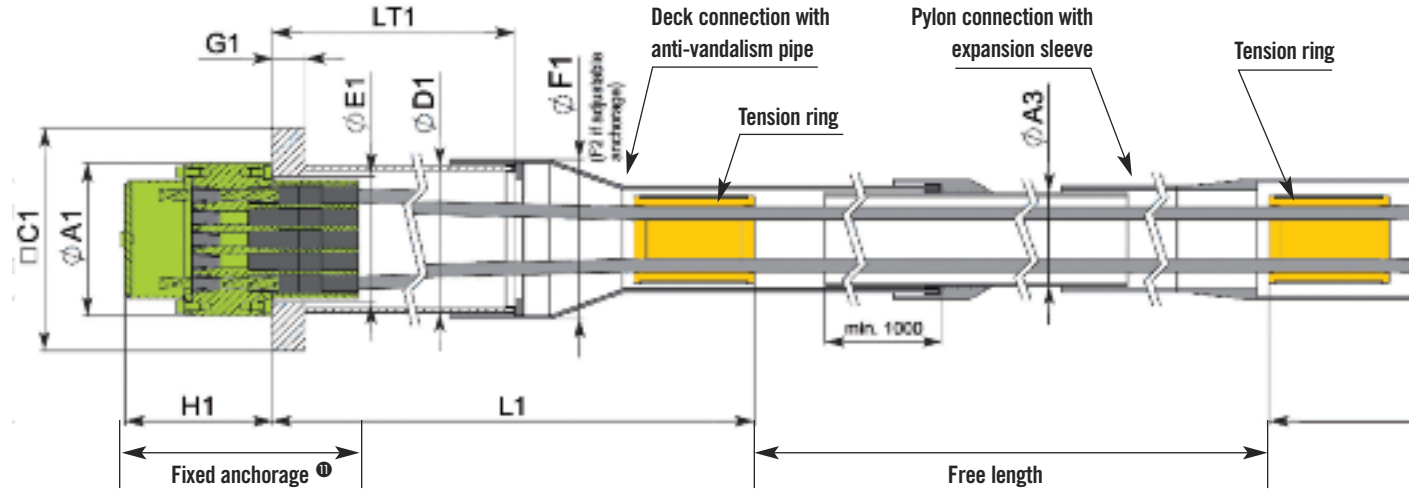
The stay cable can be designed with two types of dampers, the VSL Friction damper or the VSL VE damper, or provision can be made for later installation.

SSI Saddle with fully replaceable strands

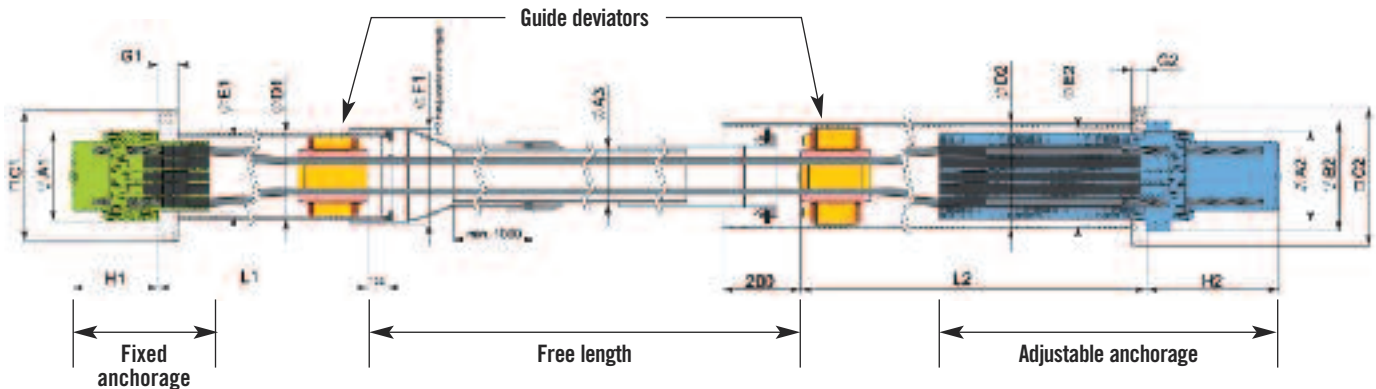
For extradosed bridges and cable-stayed bridges with compact pylon arrangements, VSL offers a patented saddle solution compatible with the SSI 2000 system. The compact saddle design allows for strand-by-strand installation and replacement and achieves a safe and reliable anchorage for unbalanced cable loads. Extensive fatigue testing has been carried out in accordance with *fib* requirements to demonstrate that there is equivalent performance between saddle and standard anchorages.

VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

STANDARD ARRANGEMENT WITH TENSION RING



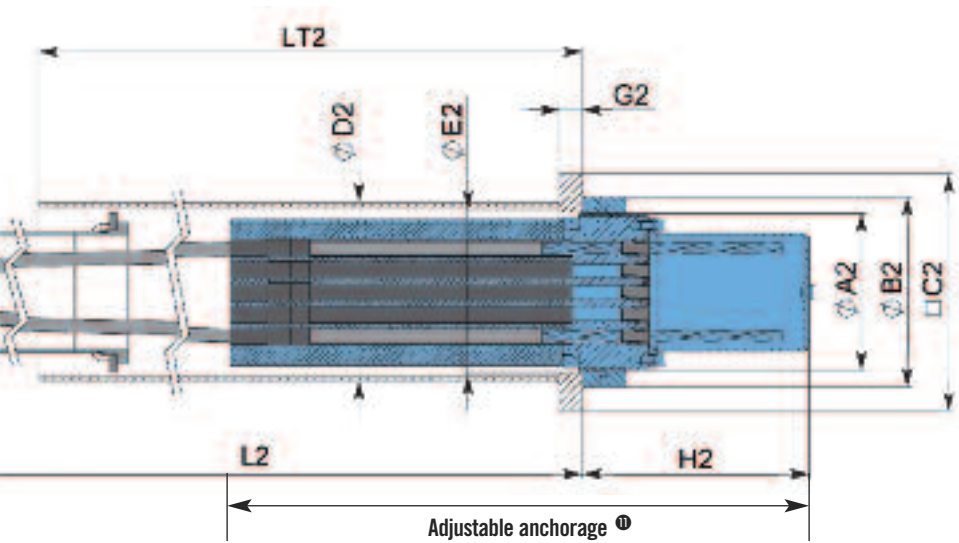
ALTERNATIVE ARRANGEMENT WITH GUIDE DEVIATOR



CABLE UNIT ③	NUMBER OF STRANDS	STAY			STAY PIPE		
		BREAKING LOAD AT 100% GUTS kN ①	ADMISSIBLE LOAD AT 50% GUTS kN ②	ADMISSIBLE LOAD AT 60% GUTS kN ④	SSI 2000 mm ④	SSI 2000-C ØA3/thk mm ④	SSI 2000-D mm ⑤
6-12	12	3,348	1,674	2,009	125/4.9	95/5.0	80/5.0
6-19	19	5,301	2,651	3,181	140/5.4	110/5.0	95/5.0
6-22	22	6,138	3,069	3,683	160/5.0	120/5.0	105/5.0
6-31	31	8,649	4,325	5,189	160/5.0	140/6.0	120/6.0
6-37	37	10,323	5,162	6,194	180/5.6	150/6.0	130/6.0
6-43	43	11,997	5,999	7,198	200/6.2	165/6.0	145/6.0
6-55	55	15,345	7,673	9,207	200/6.2	180/6.0	155/6.0
6-61	61	17,019	8,510	10,211	225/7.0	190/6.0	165/6.0
6-73	73	20,367	10,184	12,220	250/7.8	210/6.6	175/6.0
6-85	85	23,715	11,858	14,229	250/7.8	225/6.9	190/6.0
6-91	91	25,389	12,695	15,233	280/8.7	230/7.2	200/6.2
6-109	109	30,411	15,206	18,247	315/9.8	250/7.7	215/6.7
6-127	127	35,433	17,717	21,260	315/9.8	270/8.4	235/7.3
6-139	139	38,781	19,391	23,269	315/9.8	-	-
6-151	151	42,129	21,065	25,277	355/11.1	-	-
6-169	169	47,151	23,576	28,291	355/11.1	-	-
6-187 ⁶	187	52,173	26,087	31,304	400/12.3	-	-

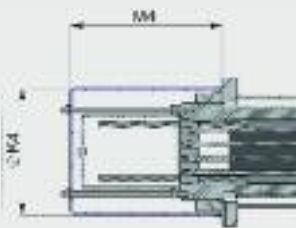
FIXED ANCHORAGE						
ØA1	C1	ØD1/thk	ØE1	ØF1	G1	H1 mini
mm	mm ⑥	mm/mm	mm	mm	mm	mm
185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
300	455	273/6.3	255	286	70	270
340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
380	585	355.6/8	330	370	85	310
430	650	406.4/8.8	370	420	95	330
430	685	406.4/8.8	370	420	110	360
480	730	457/10	420	470	110	370
495	775	457/10	420	470	120	380
550	845	508/11	475	525	130	430
570	900	520/12	480	540	135	440
590	920	559/12.5	490	550	140	460
630	970	585/14	510	580	150	480
660	1,000	600/15	550	620	160	490

① Based on strand specification as per EN 10138 (150mm², 1860MPa); reduction required for ASTM A416 or BS 5896; GUTS = Guaranteed Ultimate Tensile Strength of strand
 ② Recommended max. service stress for stay cables as per fib bulletin No. 30 and CIP
 ③ Recommended max. service stress for extradosed cables as per CIP
 ④ Galvanized and sheathed strand with a minimum sheathing thickness of 1.5mm



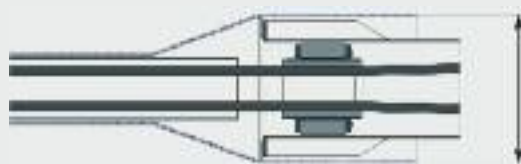
Adjustable anchorage ⑩

OPTIONAL ITEMS



Optional anchorage cap

for adjustable anchorage in severe environments class C5-M and -I as per ISO 12944

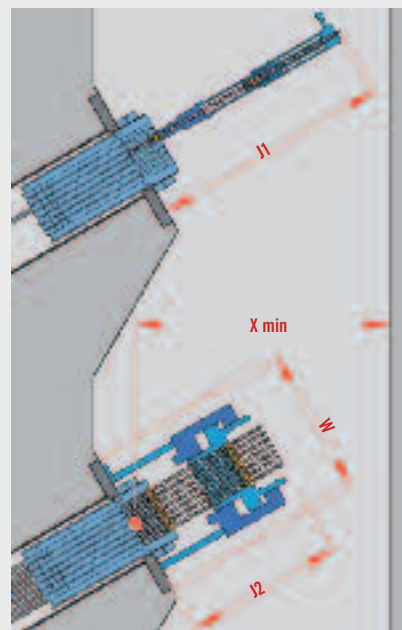


Optional anti-vandalism pipe

for future provision of damper

Required clearances

In case of facing adjustable anchorages, it is recommended to provide two times the minimum clearance. If reduced clearances are required, please contact VSL.



Required jack clearances

ANCHORAGE UNIT	W mm	J1 mm	J2 mm	Xmin mm
6-12 to 6-19	490	1,000	1,000	1,500
6-22 to 6-43	620	1,050	1,100	1,500
6-55 to 6-73	780	1,100	1,200	1,500
6-85 to 6-91	780	1,150	1,300	1,500
6-109 to 6-127	970	1,200	1,500	1,800
6-139 to 6-187	- ⑨	1,250	- ⑨	2,000

ADJUSTABLE ANCHORAGE						
ØA2	B2	C2	ØD2/thk	E2	G2	H2 mini
mm	mm	mm ⑥	mm/mm	mm	mm	mm
190	230	290	219.1/6.3	196	30	320
235	285	355	267/6.3	241	35	345
255	310	385	298.5/7.1	261	40	355
285	350	440	323.9/7.1	291	45	405
310	380	485	355.6/8	316	50	435
350	425	540	406.4/8.8	356	55	450
385	470	585	419/10	391	60	490
385	470	600	419/10	391	65	525
440	530	680	508/11	446	75	525
440	540	710	508/11	446	80	585
490	590	760	559/12.5	496	80	580
505	610	795	559/12.5	511	90	615
560	670	865	610/12.5	566	95	665
580	700	910	630/15	590	100	685
590	720	940	640/15	600	100	695
630	760	1,000	685/15	640	110	730
660	800	1,050	720/15	670	120	770

DEVIATED LENGTH	
L1	L2
mm	mm
1,100	1,500
1,370	1,770
1,550	1,950
1,740	2,140
1,920	2,320
2,170	2,570
2,290	2,690
2,490	2,900
2,710	3,120
2,830	3,240
3,080	3,490
3,230	3,640
3,630	4,030
3,680	4,090
3,770	4,170
4,180	4,580
4,190	4,590

STANDARD ARRANGEMENT				ALTERNAT.
LT1 DECK	LT1 PYLON	LT2 DECK	LT2 PYLON	HORIZONTAL FORCE ON GUIDE DEVIATOR kN ⑩
mm ⑦	mm	mm ⑦	mm	
500	500	1,000	1,000	50
500	500	1,000	1,000	80
500	500	1,000	1,000	92
500	900	1,000	1,200	130
500	900	1,000	1,200	155
500	900	1,000	1,200	180
500	1,100	1,000	1,400	230
500	1,100	1,000	1,400	255
500	1,100	1,000	1,400	306
500	1,300	1,000	1,600	356
500	1,300	1,000	1,600	381
500	1,300	1,000	1,600	456
500	2,000	1,000	2,000	531
500	2,000	1,000	2,000	582
500	2,000	1,000	2,000	632
500	2,200	1,000	2,500	707
500	2,200	1,000	2,500	783

OPTIONAL DETAILS		
ØF4	ØK4	M4 MINI
mm	mm	mm
430	240	380
450	300	400
470	320	410
505	360	460
545	390	490
585	440	510
610	490	550
630	490	580
650	550	580
680	560	640
700	610	640
730	630	670
740	690	700
- ⑧	- ⑧	- ⑧
- ⑧	- ⑧	- ⑧
- ⑧	- ⑧	- ⑧
- ⑧	- ⑧	- ⑧

⑤ Galvanized strand in accordance with NF A 35-035

⑥ Square bearing plate based on concrete strength of 45MPa cube (36MPa cylinder); dimensions can be adjusted for other concrete strength or steel structures

⑦ Can be reduced if required; please contact VSL

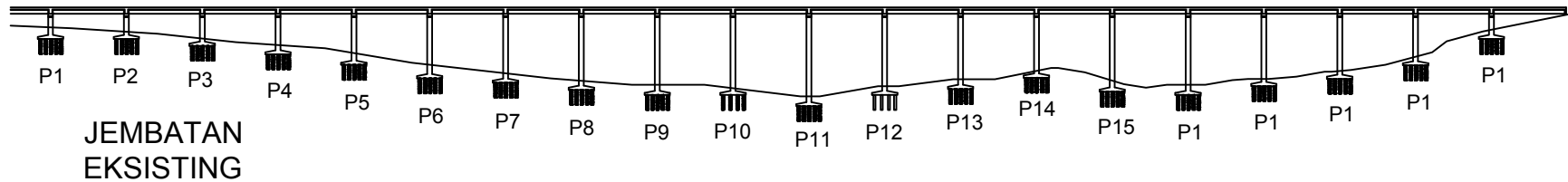
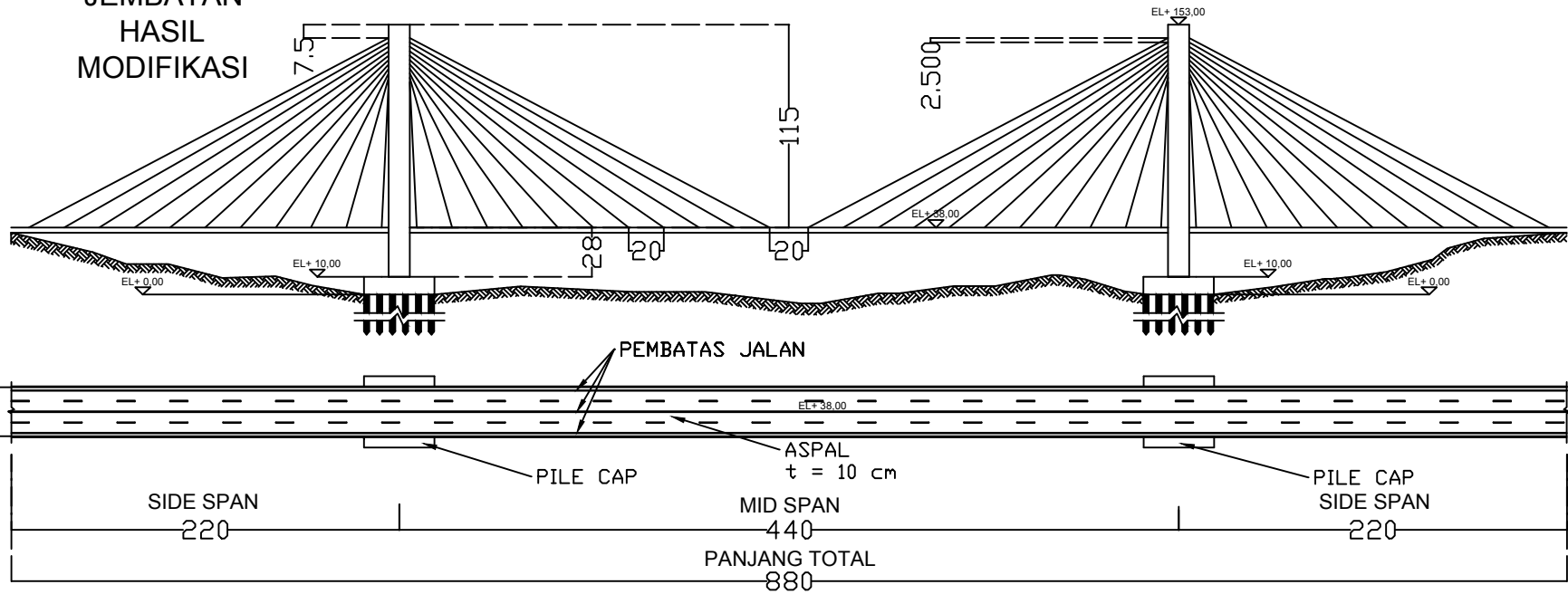
⑧ Larger units available on request

⑨ Dimensions available on request

⑩ SLS Level

⑪ Fixed or adjustable anchorages are interchangeable between pylon and deck, see dimensions L1 and L2

JEMBATAN
HASIL
MODIFIKASI



JEMBATAN
EKSISTING



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

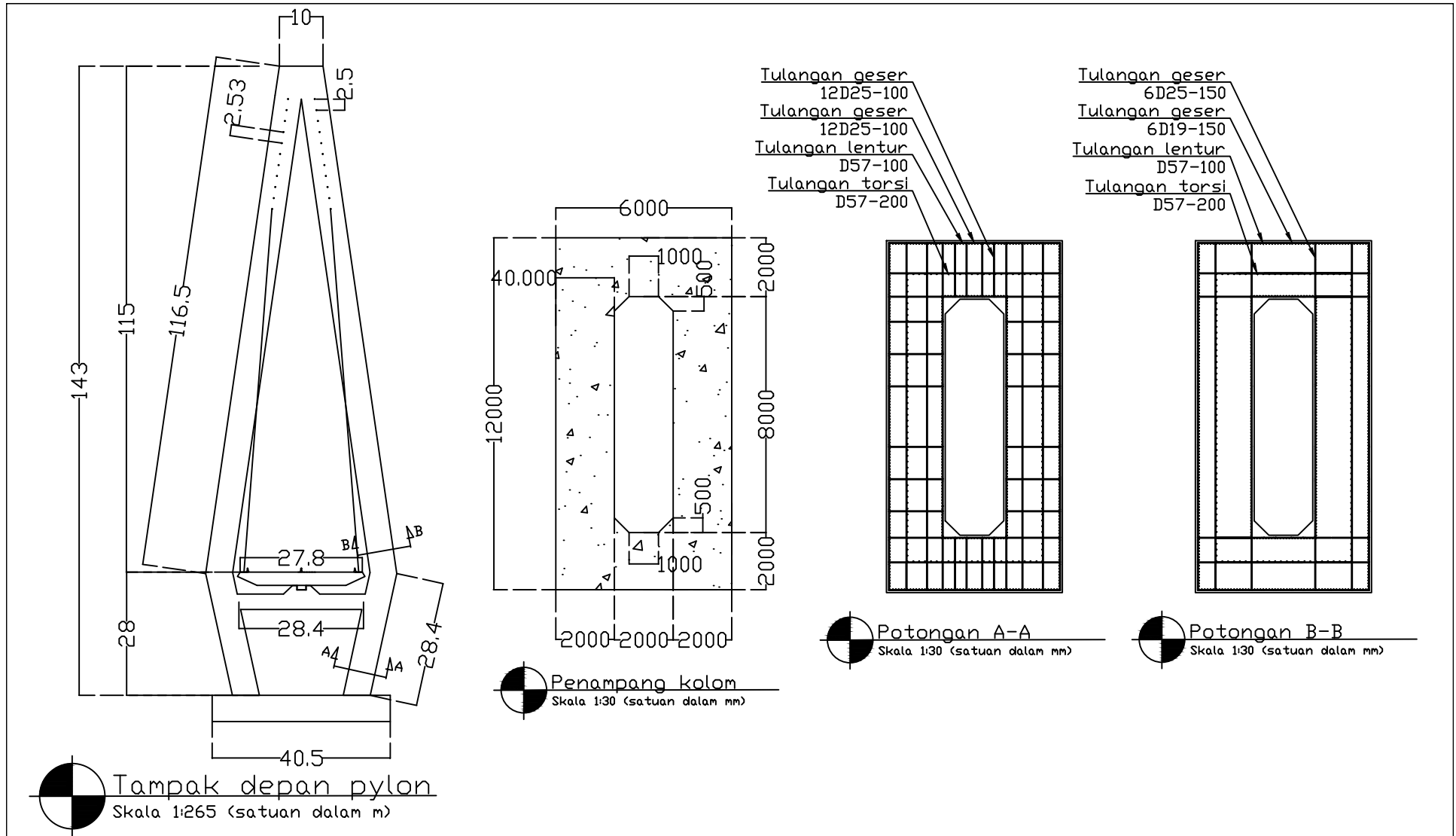
Tampak samping
jembatan eksisting
dan hasil modifikasi

SKALA

1 : 800

NO. GAMBAR

1/23



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

Tampak depan pylon
dan potongan

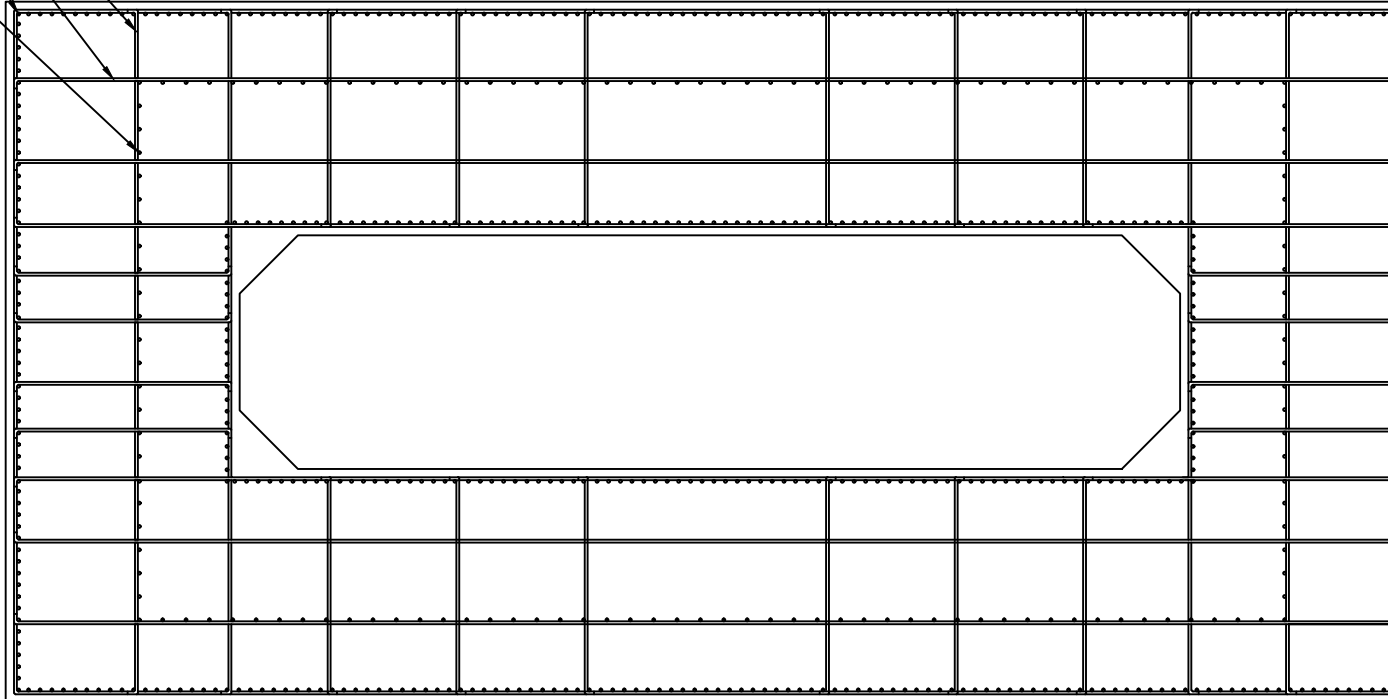
SKALA

1 : -

NO. GAMBAR

2/23

Tulangan geser
12D25-100
Tulangan geser
12D25-100
Tulangan lentur
D57-100
Tulangan torsi
D57-200



 Potongan A-A
Skala 1:10 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SOEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

Potongan A-A

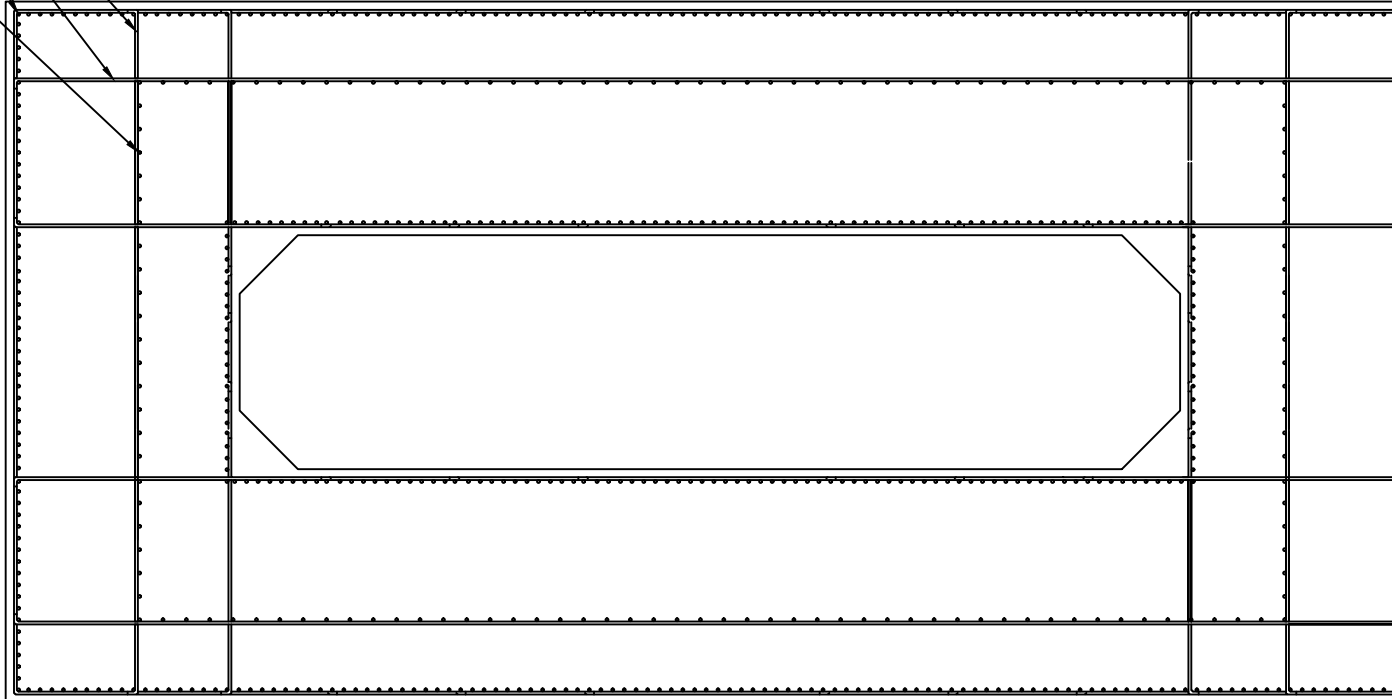
SKALA

1 : 10


NO. GAMBAR

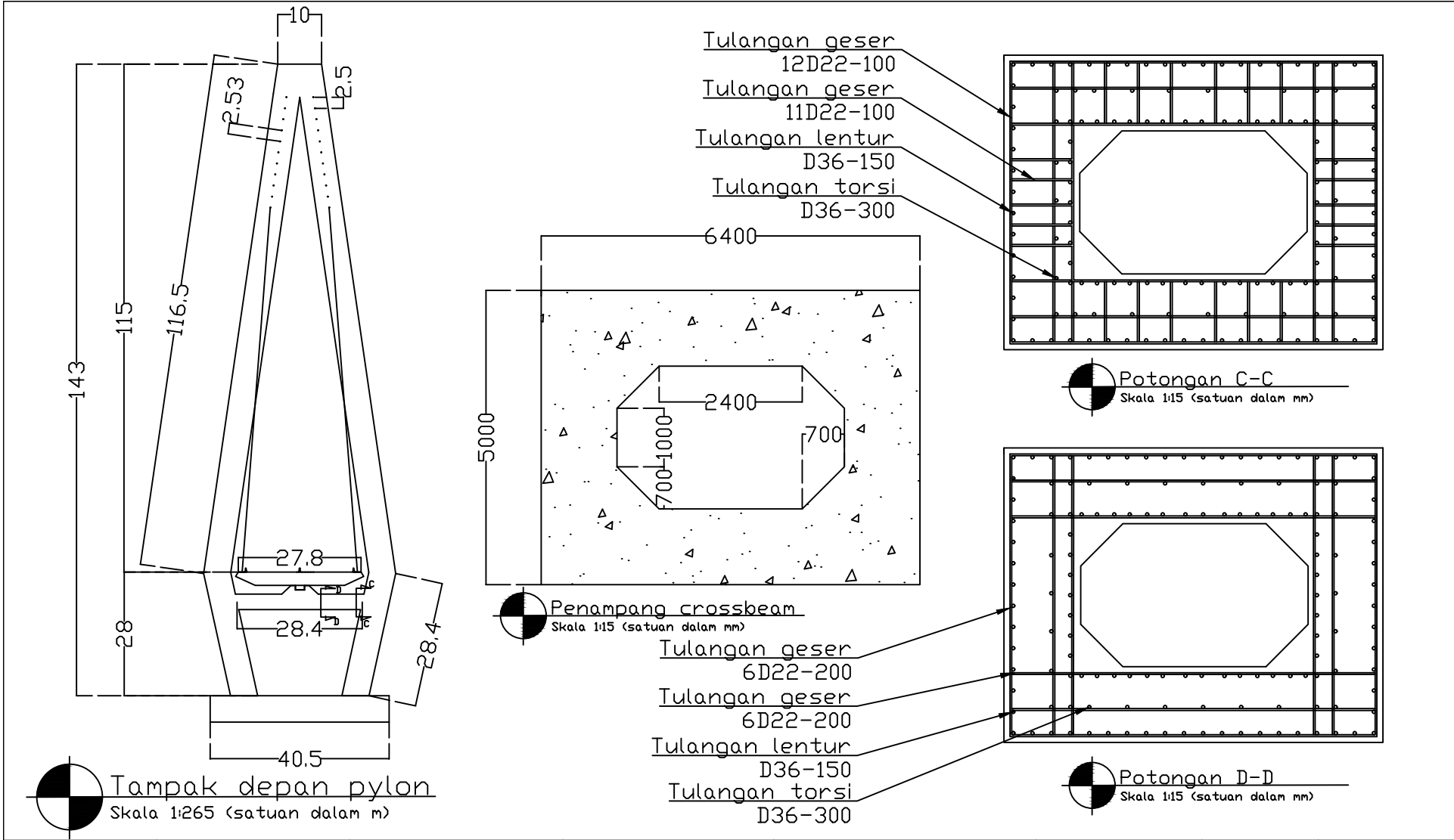
3/23

Tulangan geser
 12D25-100
Tulangan geser
 12D25-100
Tulangan lentur
 D57-100
Tulangan torsi
 D57-200

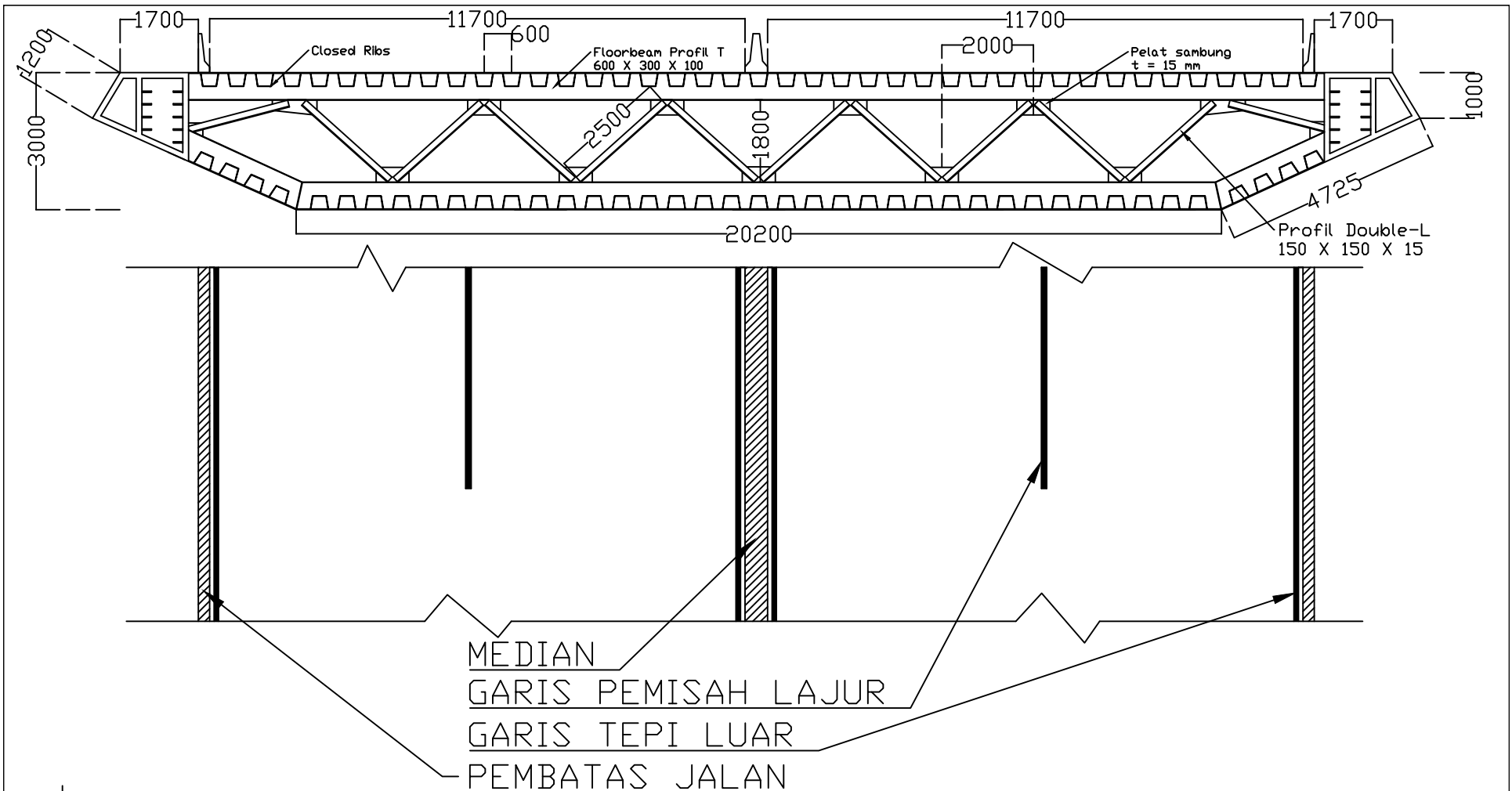



 Potongan B-B
 Skala 1:10 (satuan dalam mm)

		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Potongan B-B	1 : 10	4/23

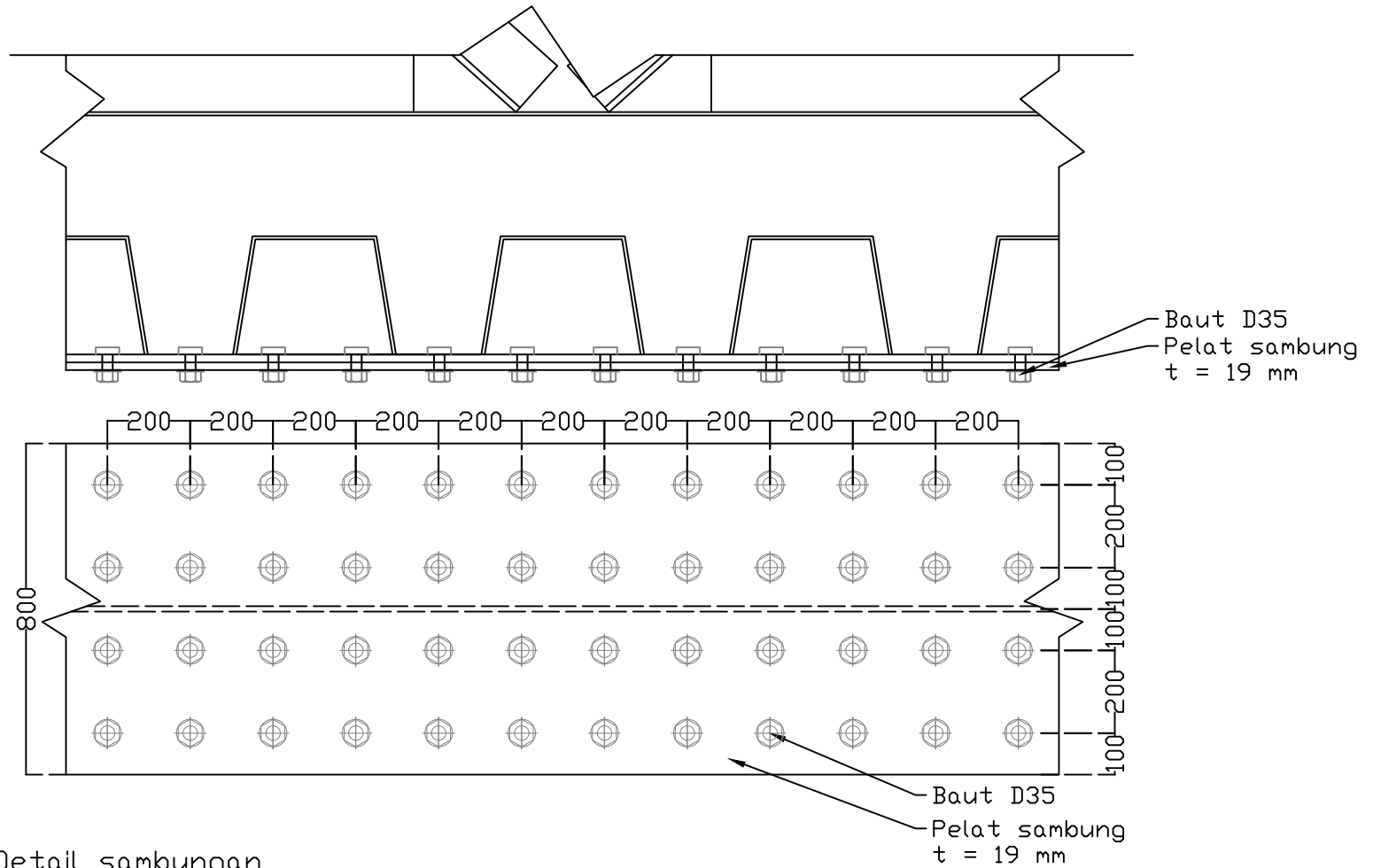



		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Tampak depan pylon dan potongan	1 : -	5/23



Tampak depan dan atas lantai kendaraan
 Skala 1:30 (satuan dalam mm)

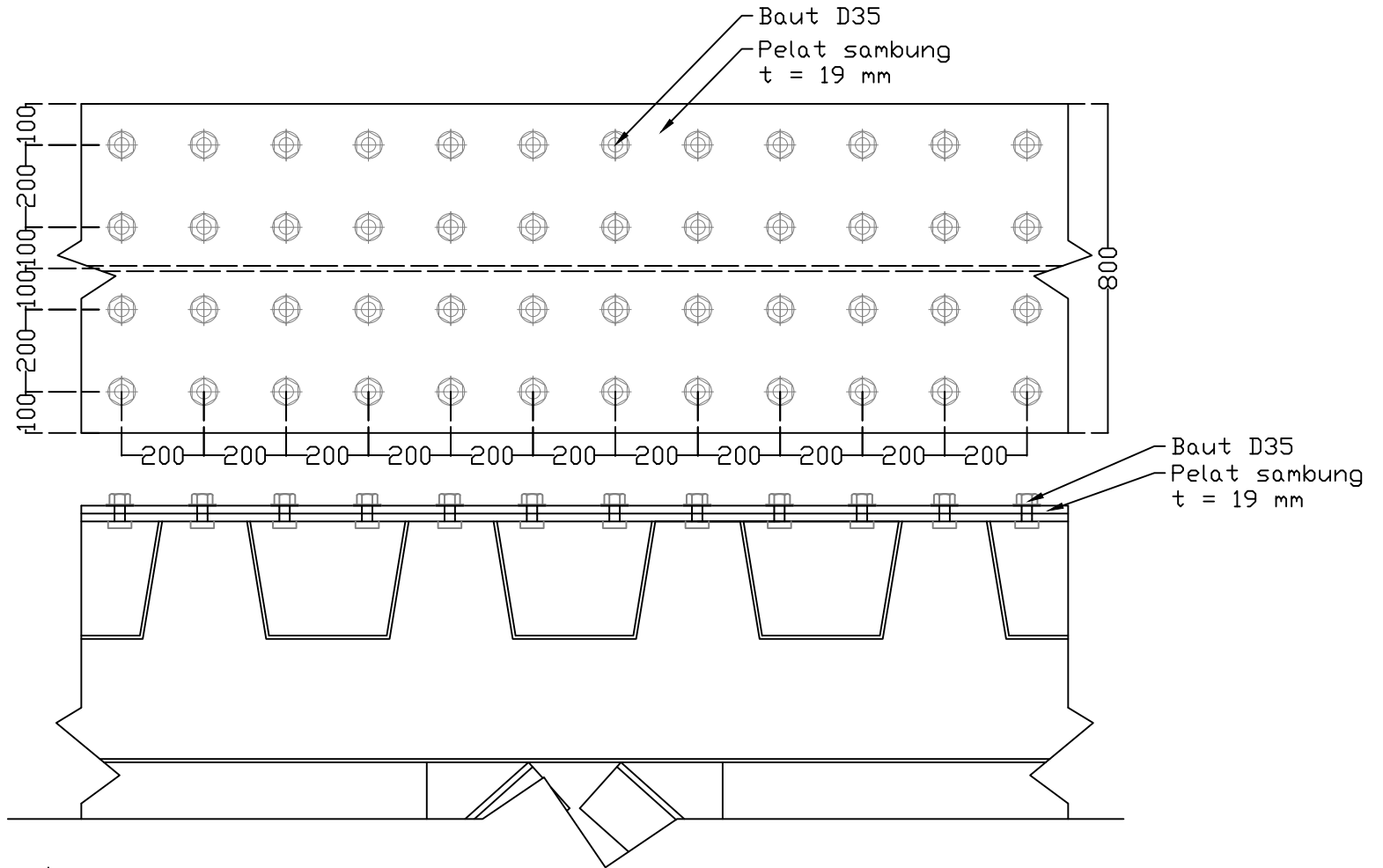
		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Tampak depan dan atas lantai kendaraan	1 : 30	6/23



 Detail sambungan
Skala 1:3 (satuan dalam mm)

Catatan: Sambungan pada ribs sengaja tidak ditampilkan

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DOSEN PEMBIMBING DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	NAMA & NRP MAHASISWA MUHAMAD BAGUS 0311145000098	NAMA GAMBAR Detail sambungan	SKALA 1 : 3	NO. GAMBAR 7/23
--	---	--	--	--	-------------------------------------	--------------------	------------------------



Detail sambungan
Skala 1:3 (satuan dalam mm)

Catatan: Sambungan pada ribs sengaja tidak ditampilkan



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

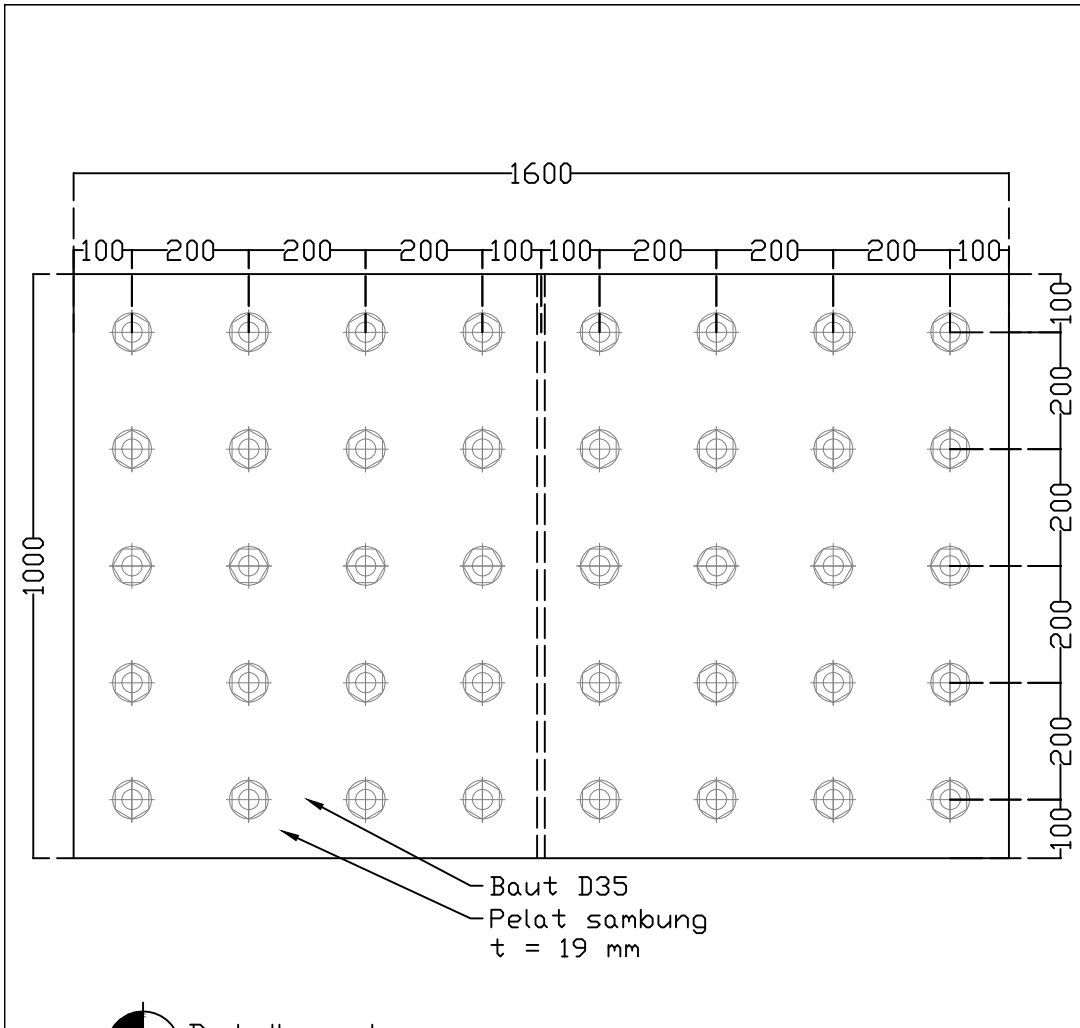
DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.
BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA
MUHAMAD BAGUS
0311145000098


NAMA GAMBAR
Detail sambungan


SKALA
1 : 3

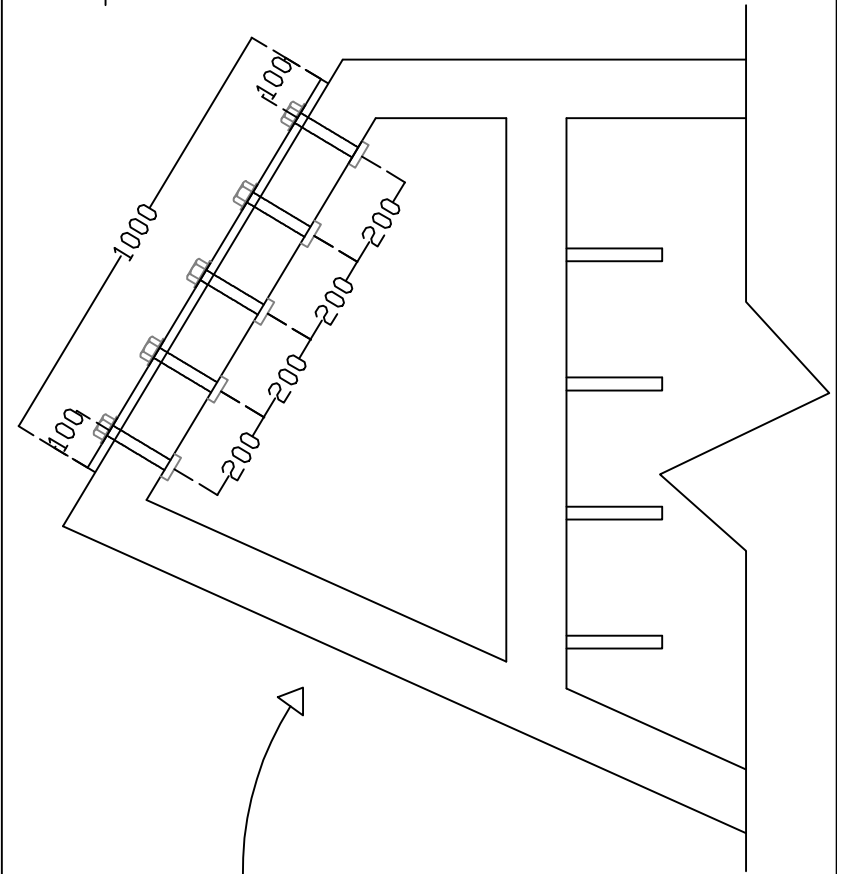
NO. GAMBAR
8/23




Baut D35
Pelat sambung
t = 19 mm

 Detail sambungan
Skala 1:3 (satuan dalam mm)

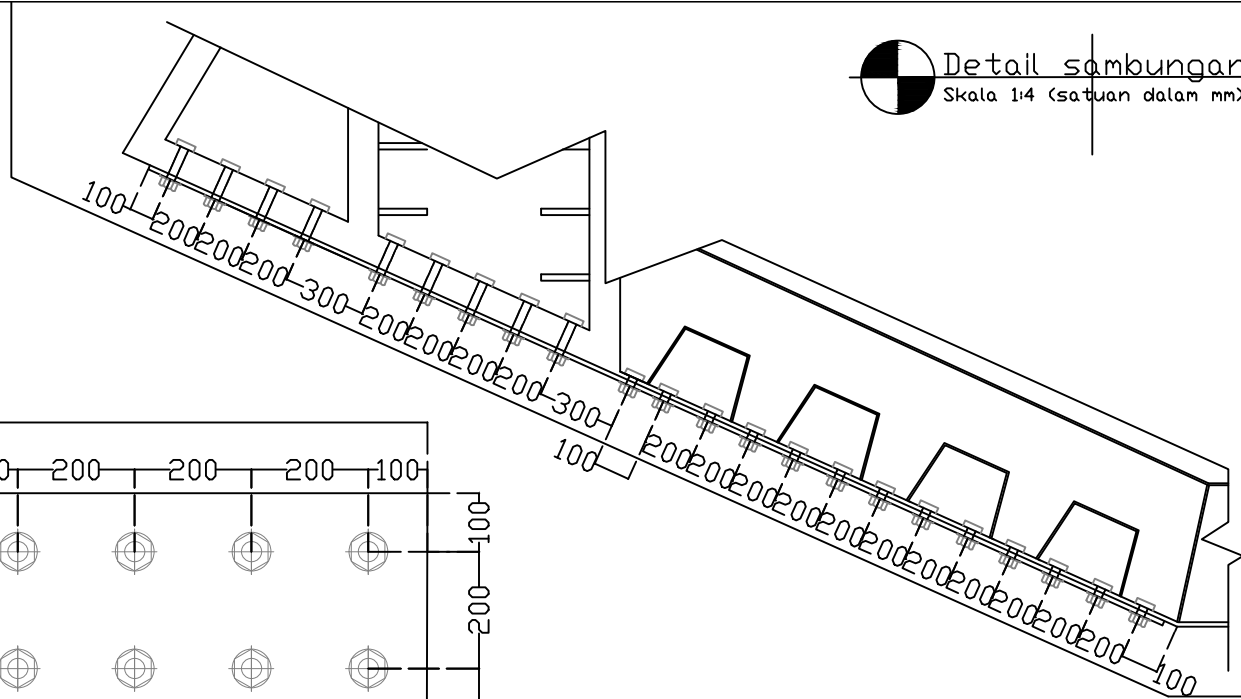
 Detail sambungan
Skala 1:4 (satuan dalam mm)



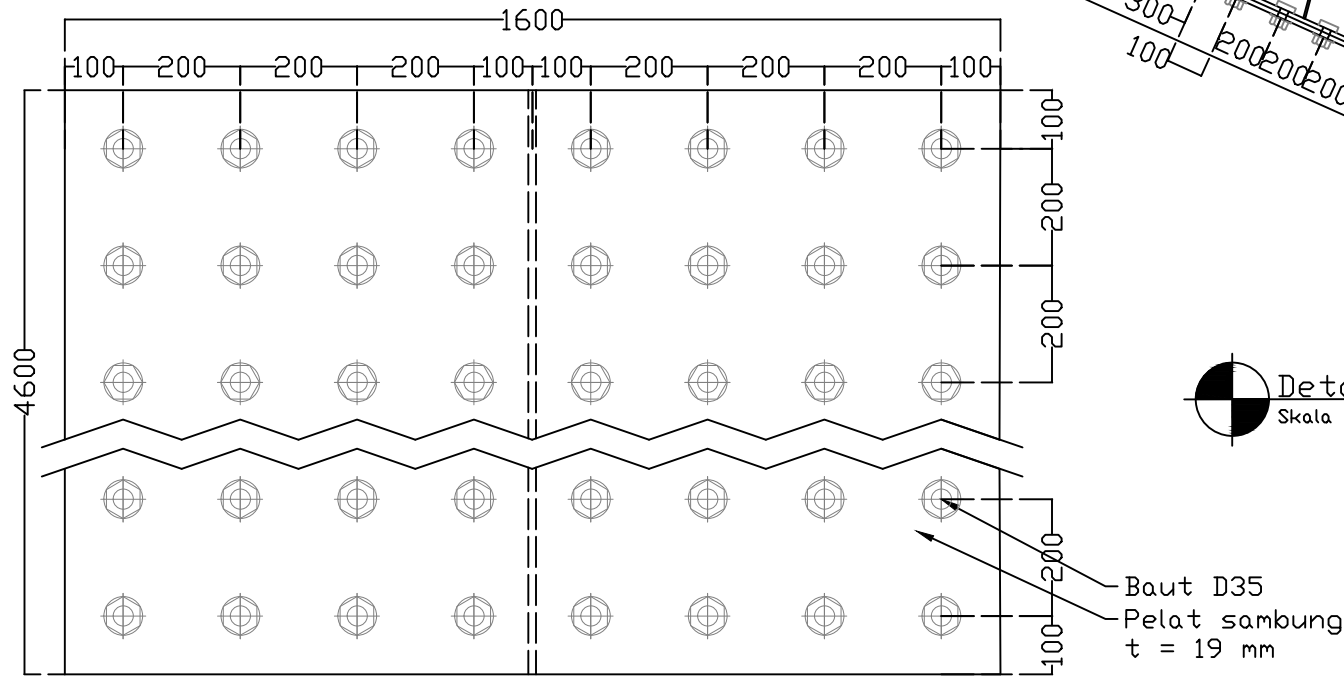
Catatan: Sambungan pada bagian ini sengaja tidak ditampilkan

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Detail sambungan	1 : 3	9/23
		BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D					

Detail sambungan
Skala 1:4 (satuan dalam mm)



Detail sambungan
Skala 1:3 (satuan dalam mm)



Baut D35
Pelat sambung
t = 19 mm



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

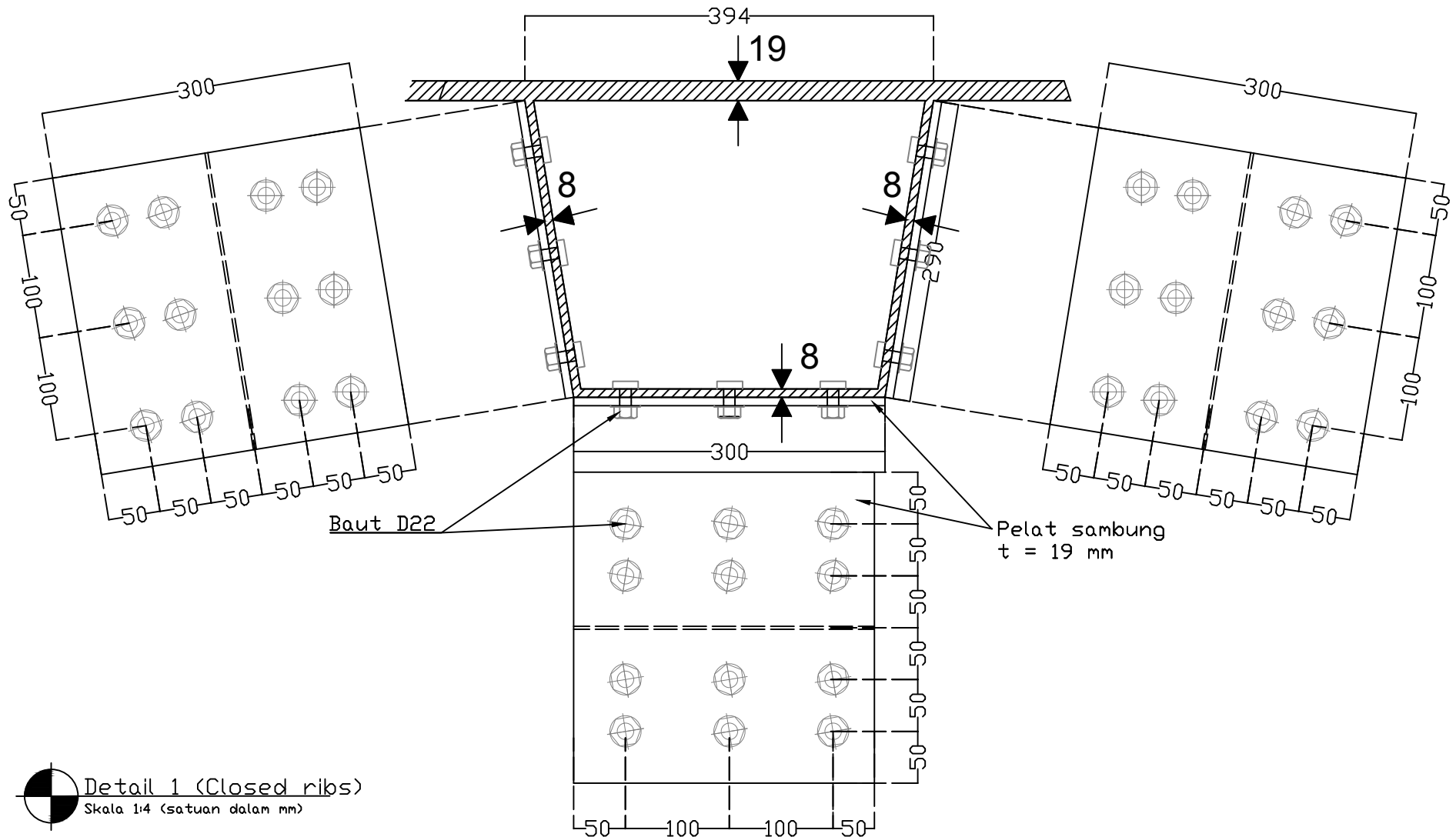
Detail sambungan

SKALA

1 : 3

NO. GAMBAR

10/23



Detail 1 (Closed ribs)
Skala 1:4 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

Detail sambungan

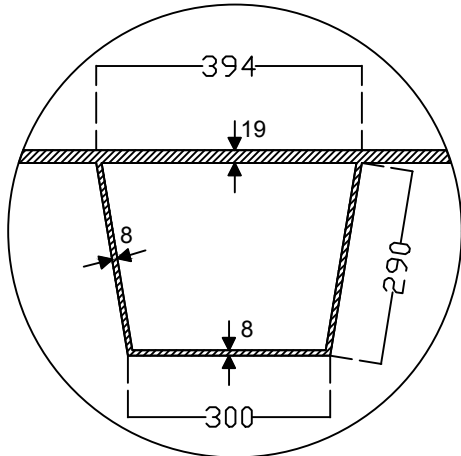
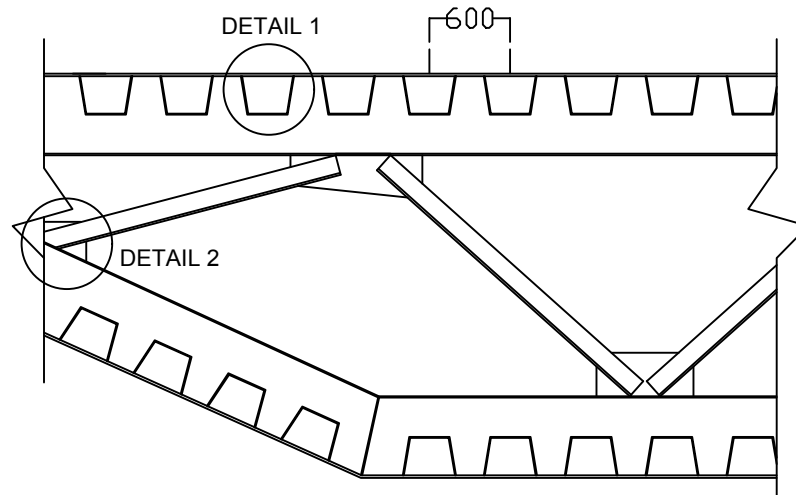
SKALA


1 : 4

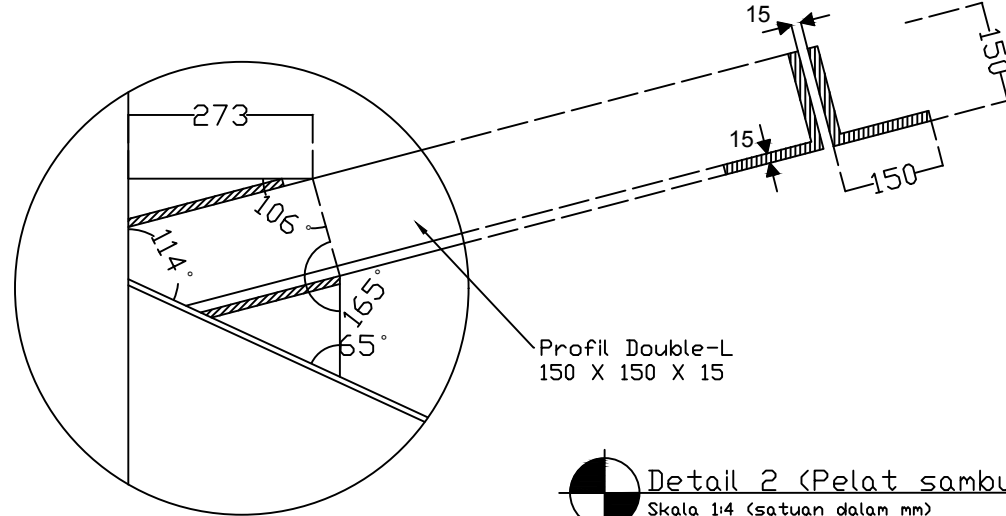
NO. GAMBAR

11/23


KEYPLAN



 Detail 1 (Closed ribs)
Skala 1:4 (satuan dalam mm)



Profil Double-L
150 X 150 X 15

 Detail 2 (Pelat sambung)
Skala 1:4 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

Detail sambungan

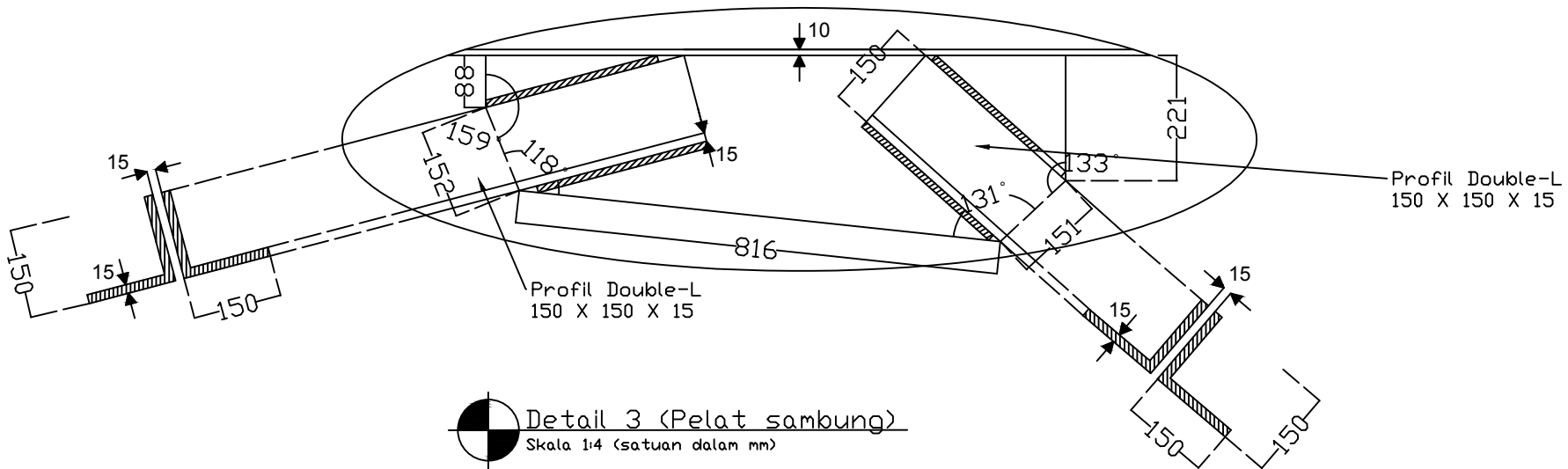
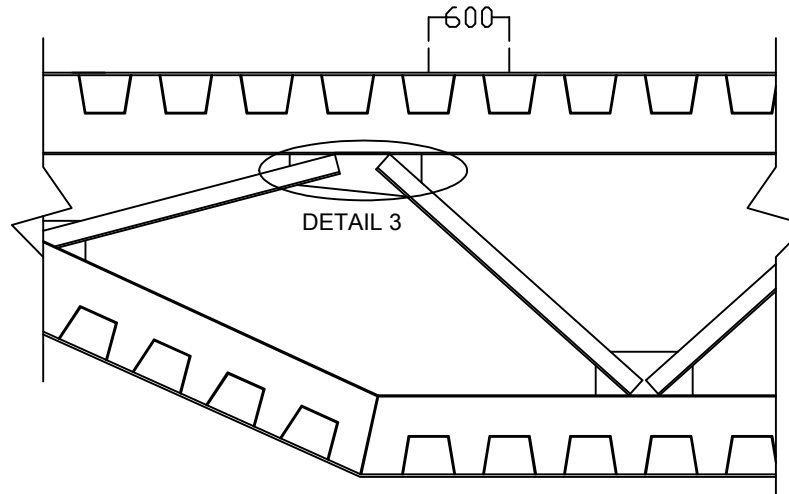
SKALA

1 : 4

NO. GAMBAR

12/23

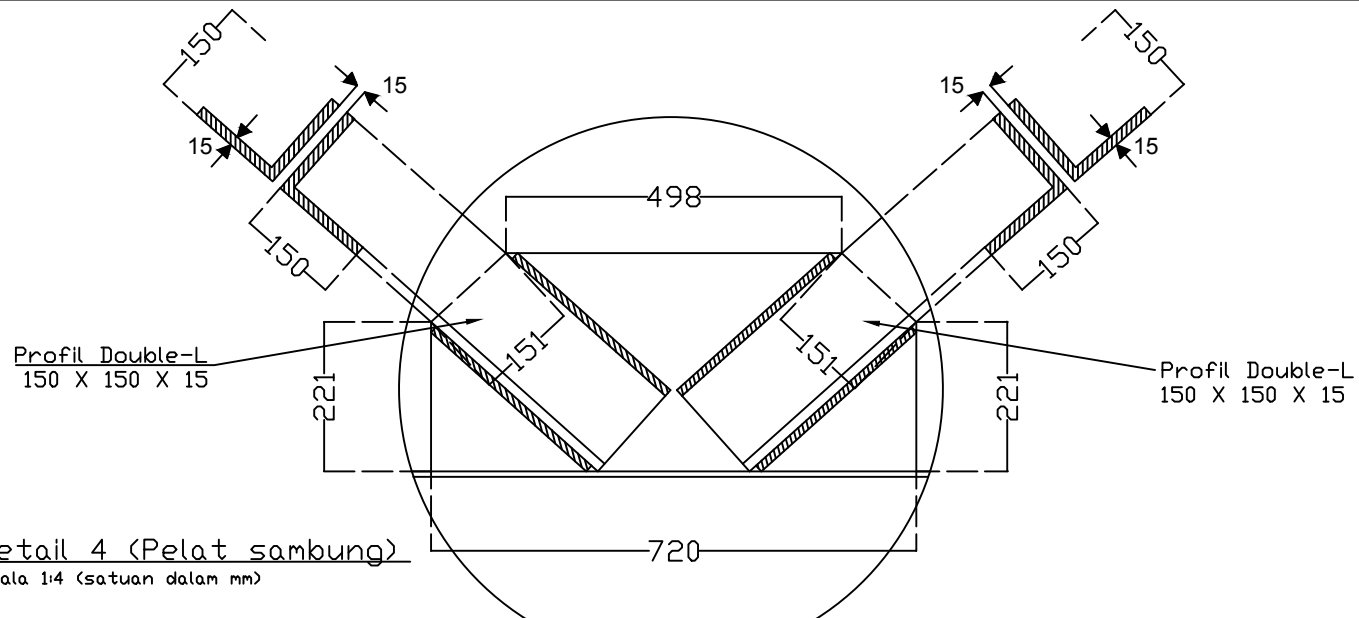
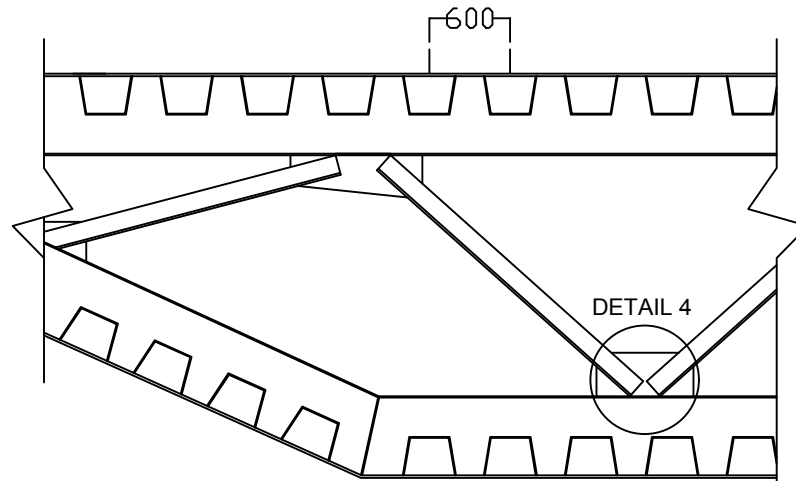
KEYPLAN



Detail 3 (Pelat sambung)
Skala 1:4 (satuan dalam mm)

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Detail sambungan	1 : 4	13/23

KEYPLAN



Detail 4 (Pelat sambung)
Skala 1:4 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

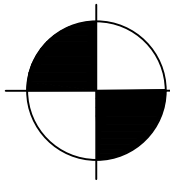
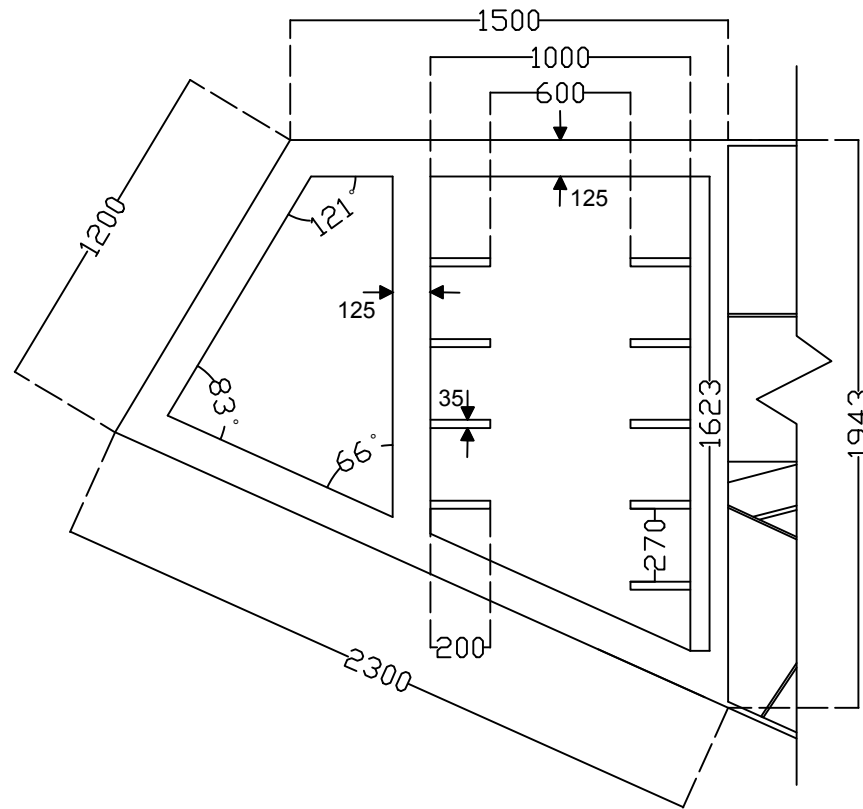
Detail sambungan

SKALA

1 : 4

NO. GAMBAR

14/23



Detail Box Girder

Skala 1:4 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SOEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

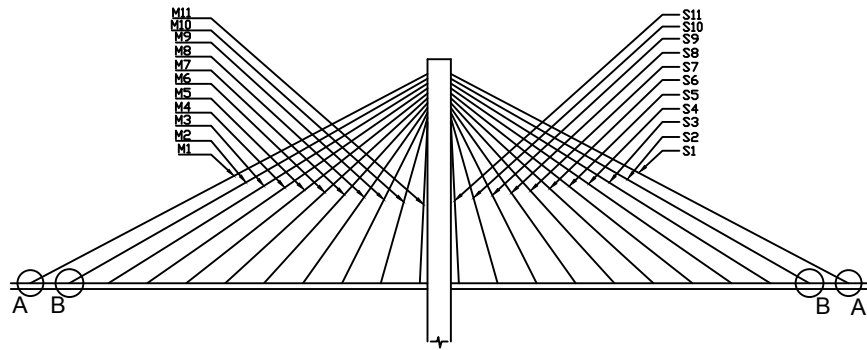
Detail box girder

SKALA

1 : 4

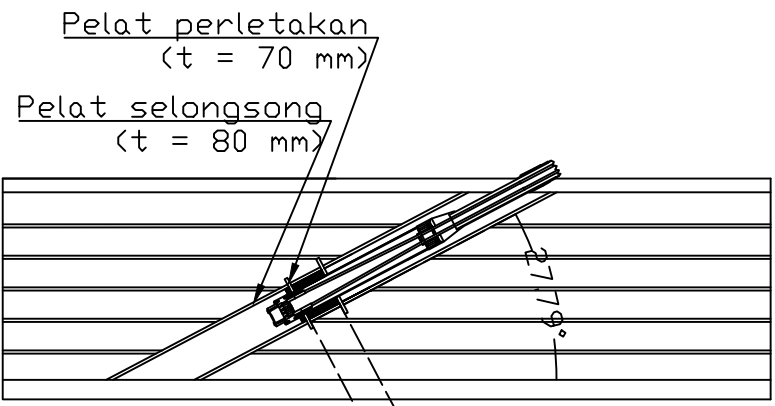
NO. GAMBAR

15/23



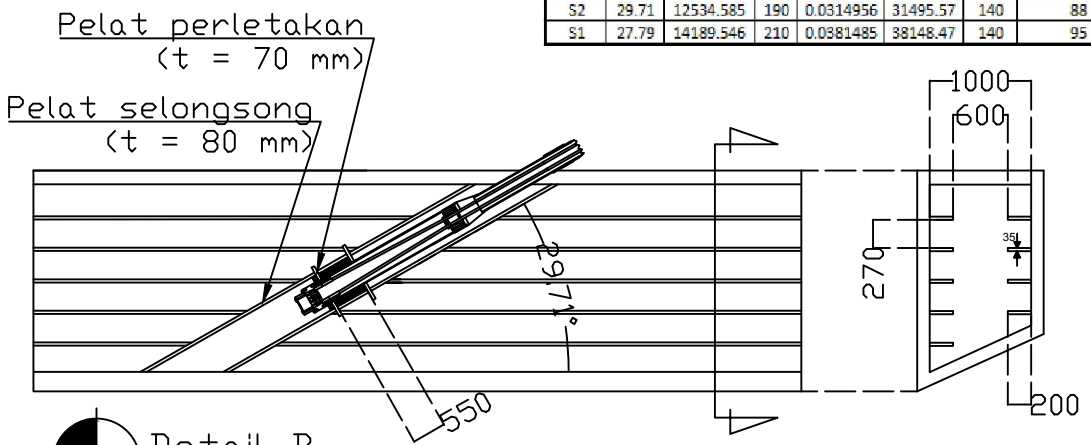
KEYPLAN

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.0266556	26655.59	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.0314461	31446.06	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.0325822	32582.23	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587	31587.04	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262	29262.02	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.0271889	27188.94	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.0261993	26199.29	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.0244995	24499.55	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.0222292	22229.19	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.0200404	20040.43	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.0198245	19824.53	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.0189734	18973.42	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.0182178	18217.82	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.0184567	18456.73	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.0202241	20224.1	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.0221693	22169.34	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.0223579	22357.9	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.0226876	22687.62	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.0235864	23586.4	140	76
S3	32.01	10936.483	170	0.025539	25538.98	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.0314956	31495.57	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.0381485	38148.47	140	95



Pelat perletakan
(t = 70 mm)
Pelat selongsong
(t = 80 mm)

Detail A
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



Pelat perletakan
(t = 70 mm)
Pelat selongsong
(t = 80 mm)

Detail B
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

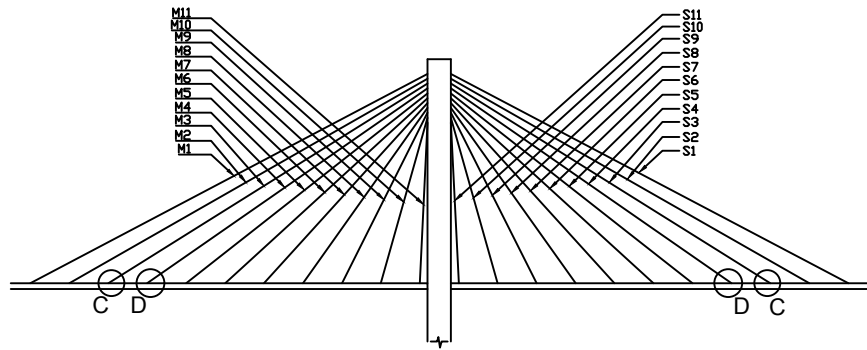
DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.
BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA
MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR
Pengangkuran kabel
di deck

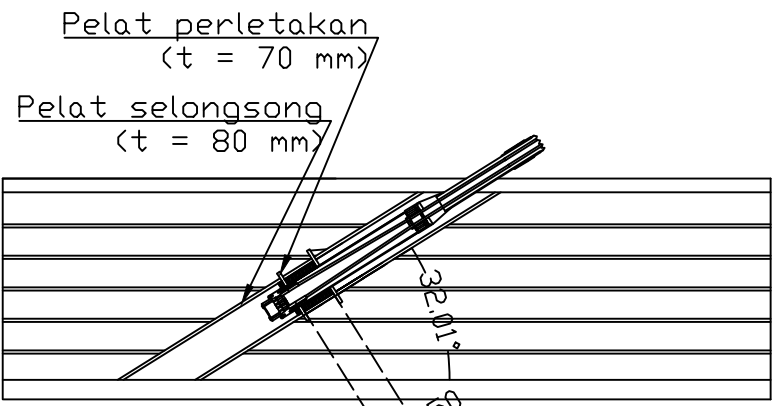
SKALA
1 : 20

NO. GAMBAR
16/23

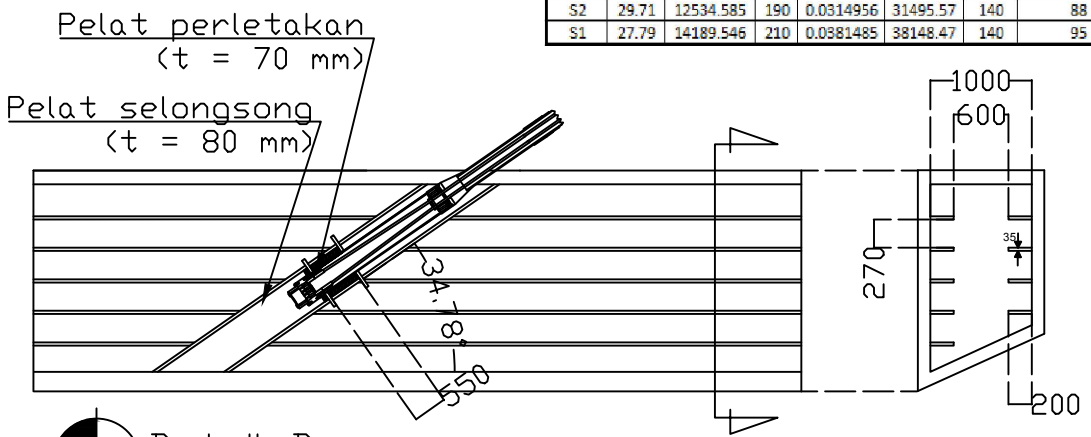


KEYPLAN

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.0266556	26655.59	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.0314461	31446.06	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.0325822	32582.23	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587	31587.04	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262	29262.02	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.0271889	27188.94	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.0261993	26199.29	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.0244995	24499.55	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.0222292	22229.19	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.0200404	20040.43	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.0198245	19824.53	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.0189734	18973.42	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.0182178	18217.82	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.0184567	18456.73	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.0202241	20224.1	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.0221693	22169.34	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.0223579	22357.9	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.0226876	22687.62	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.0235864	23586.4	140	76
S3	32.01	10936.483	170	0.025539	25538.98	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.0314956	31495.57	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.0381485	38148.47	140	95

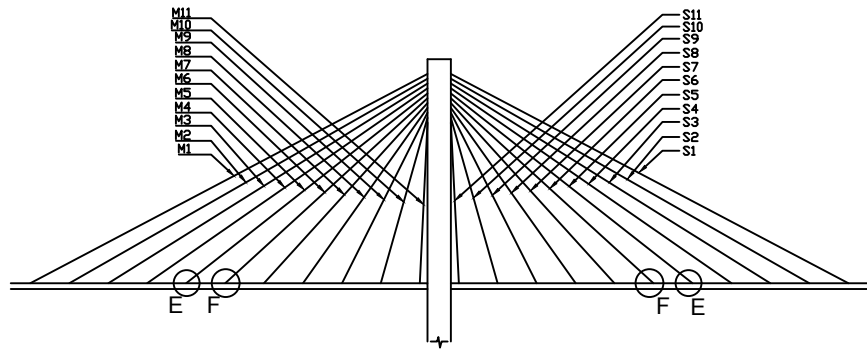


Detail C
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



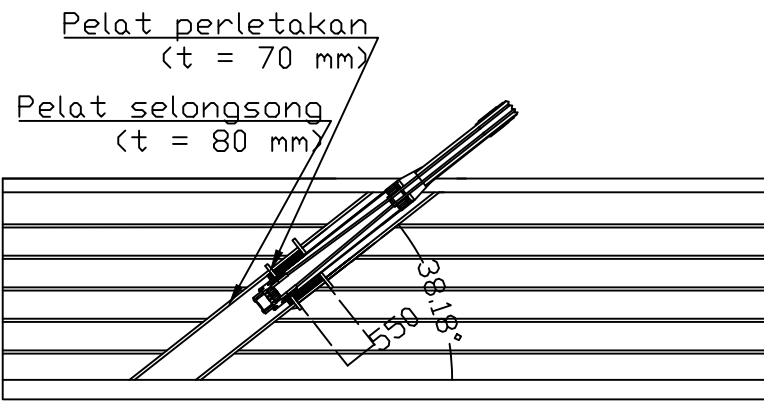
Detail D
Skala 1:20 (satuan dalam mm)

	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</p>	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		<p>MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN</p>	<p>DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D</p>	<p>MUHAMAD BAGUS 0311145000098</p>	<p>Pengankuran kabel di deck</p>	<p>1 : 20</p>	<p>17/23</p>

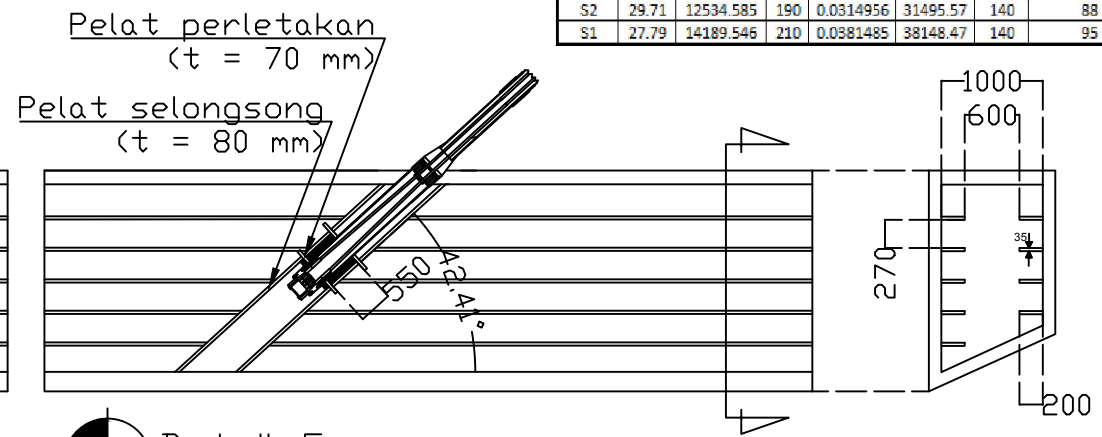


KEYPLAN

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.0266556	26655.59	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.0314461	31446.06	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.0325822	32582.23	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587	31587.04	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262	29262.02	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.0271889	27188.94	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.0261993	26199.29	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.0244995	24499.55	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.0222292	22229.19	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.0200404	20040.43	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.0198245	19824.53	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.0189734	18973.42	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.0182178	18217.82	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.0184567	18456.73	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.0202241	20224.1	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.0221693	22169.34	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.0223579	22357.9	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.0226876	22687.62	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.0235864	23586.4	140	76
S3	32.01	10936.483	170	0.025539	25538.98	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.0314956	31495.57	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.0381485	38148.47	140	95

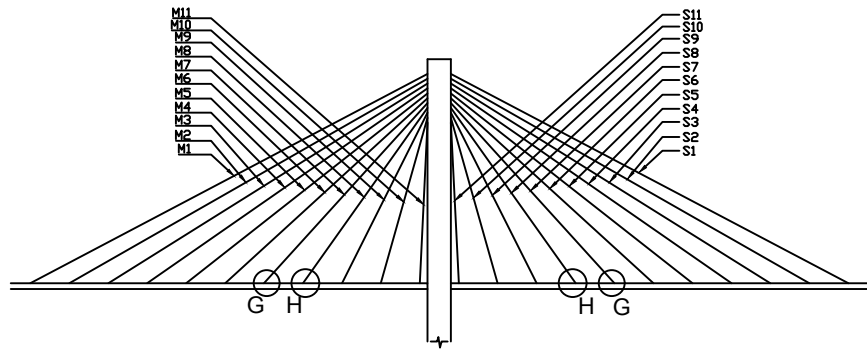


Detail E
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



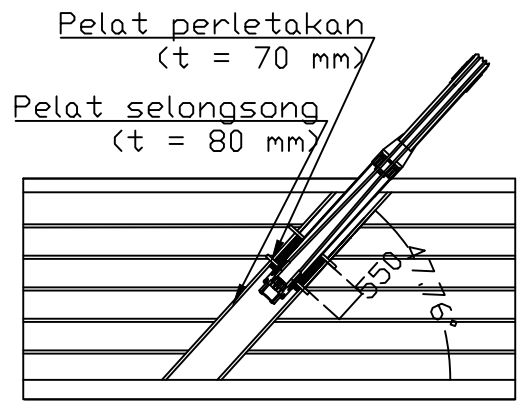
Detail F
Skala 1:20 (satuan dalam mm)

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Pengukuran kabel di deck	1 : 20	18/23

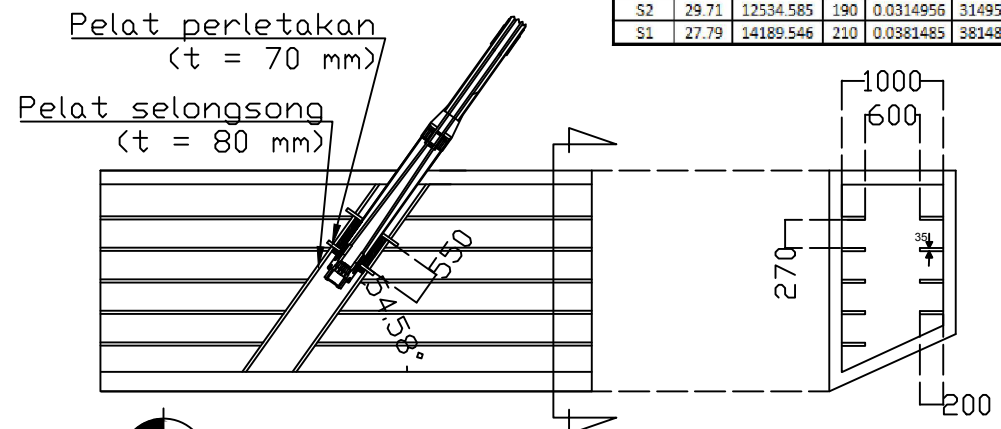


KEYPLAN

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.0266556	26655.59	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.0314461	31446.06	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.0325822	32582.23	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587	31587.04	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262	29262.02	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.0271889	27188.94	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.0261993	26199.29	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.0244995	24499.55	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.0222292	22229.19	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.0200404	20040.43	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.0198245	19824.53	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.0189734	18973.42	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.0182178	18217.82	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.0184567	18456.73	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.0202241	20224.1	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.0221693	22169.34	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.0223579	22357.9	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.0226876	22687.62	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.0235864	23586.4	140	76
S3	32.01	10986.483	170	0.025539	25538.98	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.0314956	31495.57	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.0381485	38148.47	140	95

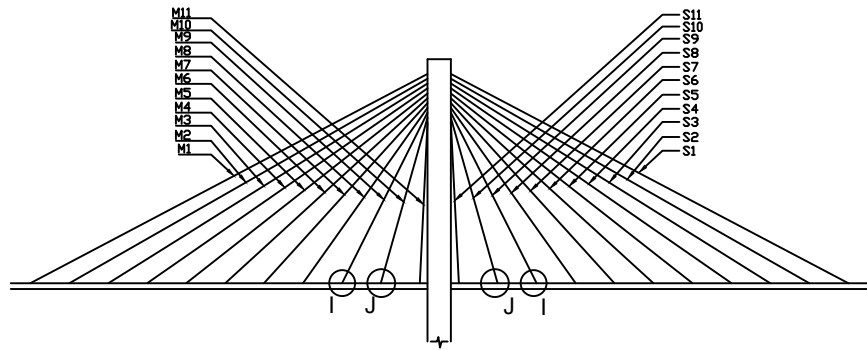


Detail G
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



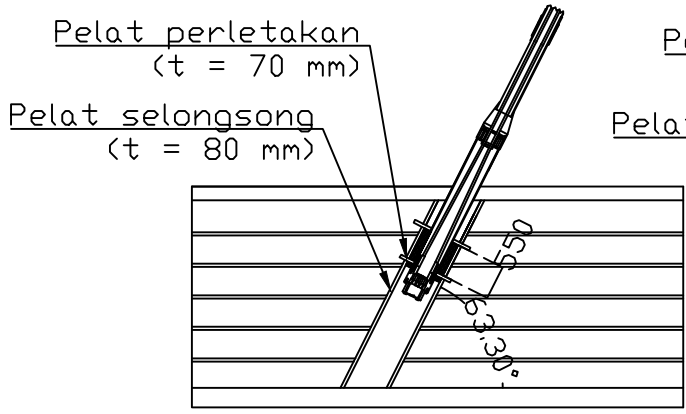
Detail H
Skala 1:20 (satuan dalam mm)

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Pengankuran kabel di deck	1 : 20	19/23
		BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D					

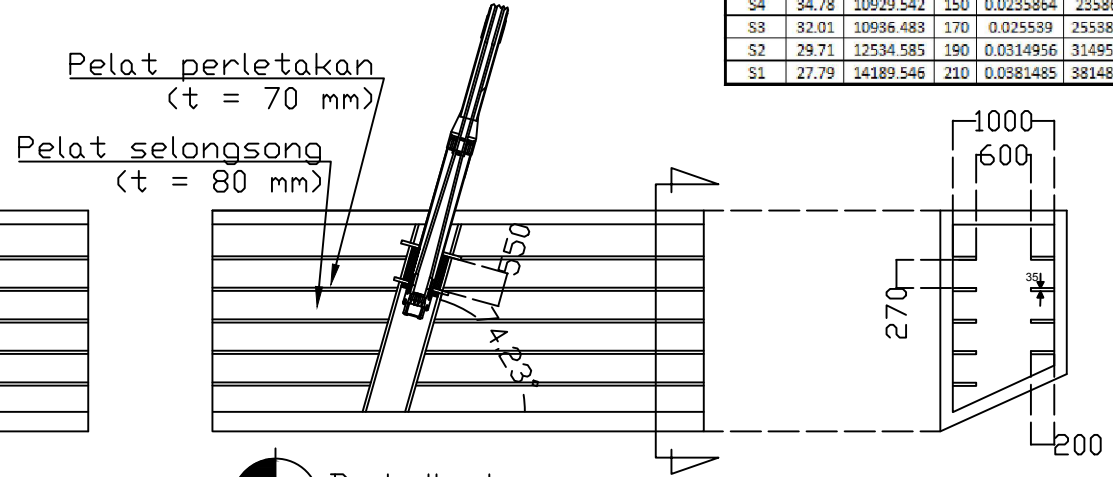


KEYPLAN

Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.0266556	26655.59	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.0314461	31446.06	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.0325822	32582.23	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587	31587.04	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262	29262.02	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.0271889	27188.94	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.0261993	26199.29	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.0244995	24499.55	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.0222292	22229.19	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.0200404	20040.43	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.0198245	19824.53	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.0189734	18973.42	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.0182178	18217.82	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.0184567	18456.73	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.0202241	20224.1	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.0221693	22169.34	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.0223579	22357.9	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.0226876	22687.62	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.0235864	23586.4	140	76
S3	32.01	10936.483	170	0.025539	25538.98	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.0314956	31495.57	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.0381485	38148.47	140	95



Detail I
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



Detail J
Skala 1:20 (satuan dalam mm)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

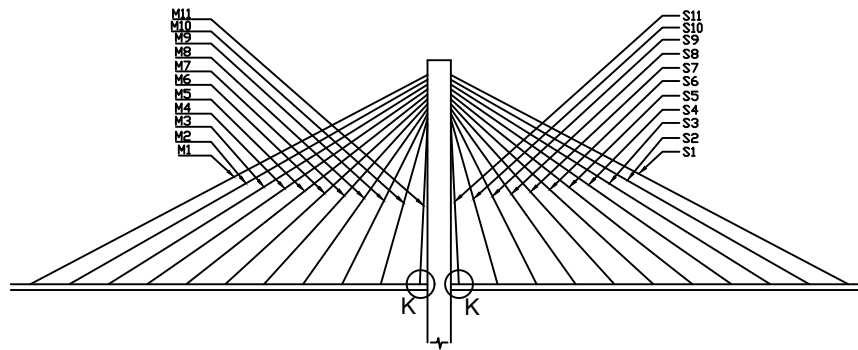
DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.
BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA
MUHAMAD BAGUS
0311145000098

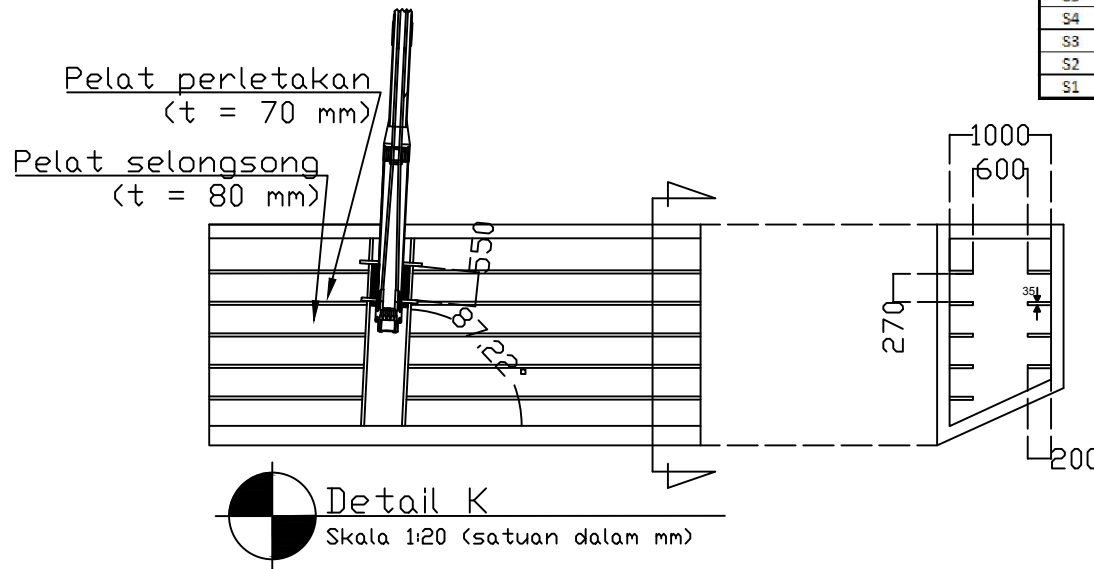
NAMA GAMBAR
Pengukuran kabel
di deck

SKALA
1 : 20

NO. GAMBAR
20/23



KEYPLAN



Kabel	α ($^{\circ}$)	P (kN)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	As (mm ²)	n (buah strand)
M1	27.79	9914.701	210	0.0266556	26655.59	140	95
M2	29.71	12514.882	190	0.0314461	31446.06	140	88
M3	32.01	13952.594	170	0.0325822	32582.23	140	81
M4	34.78	14636.906	150	0.031587	31587.04	140	76
M5	38.18	14766.855	130	0.029262	29262.02	140	72
M6	42.41	15036.185	110	0.0271889	27188.94	140	68
M7	47.76	15964.552	90	0.0261993	26199.29	140	63
M8	54.58	16483.084	70	0.0244995	24499.55	140	59
M9	63.3	16431.419	50	0.0222292	22229.19	140	56
M10	74.23	15972.120	30	0.0200404	20040.43	140	51
M11	87.22	16258.833	10	0.0198245	19824.53	140	46
S11	87.22	15560.807	10	0.0189734	18973.42	140	46
S10	74.23	14519.511	30	0.0182178	18217.82	140	51
S9	63.3	13642.884	50	0.0184567	18456.73	140	56
S8	54.58	13606.600	70	0.0202241	20224.1	140	59
S7	47.76	13508.898	90	0.0221693	22169.34	140	63
S6	42.41	12364.492	110	0.0223579	22357.9	140	68
S5	38.18	11449.136	130	0.0226876	22687.62	140	72
S4	34.78	10929.542	150	0.0235864	23586.4	140	76
S3	32.01	10936.483	170	0.025539	25538.98	140	81
S2	29.71	12534.585	190	0.0314956	31495.57	140	88
S1	27.79	14189.546	210	0.0381485	38148.47	140	95



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SDEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

Pengankuran kabel
di deck

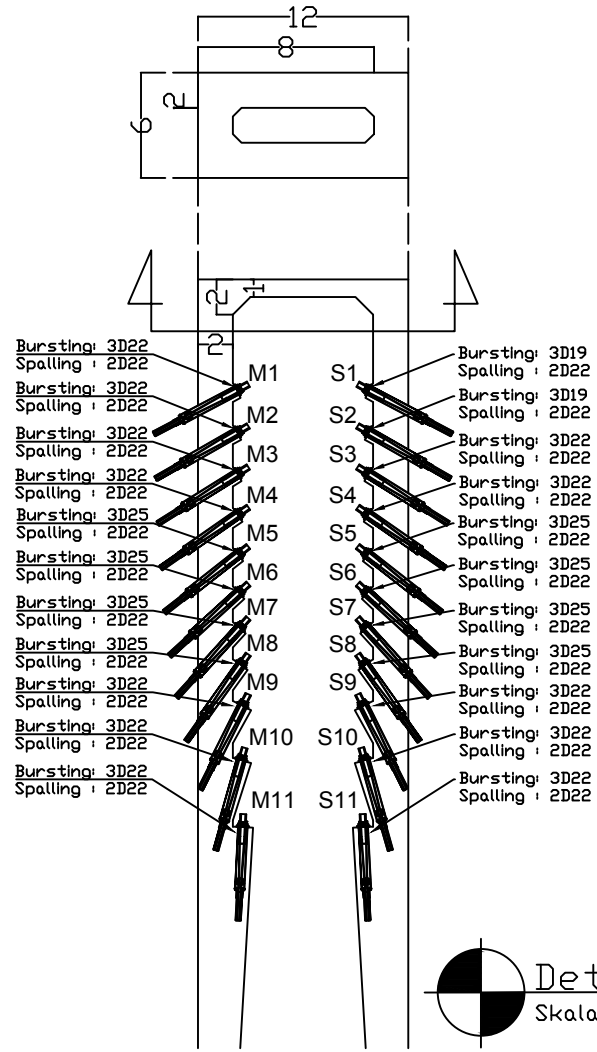
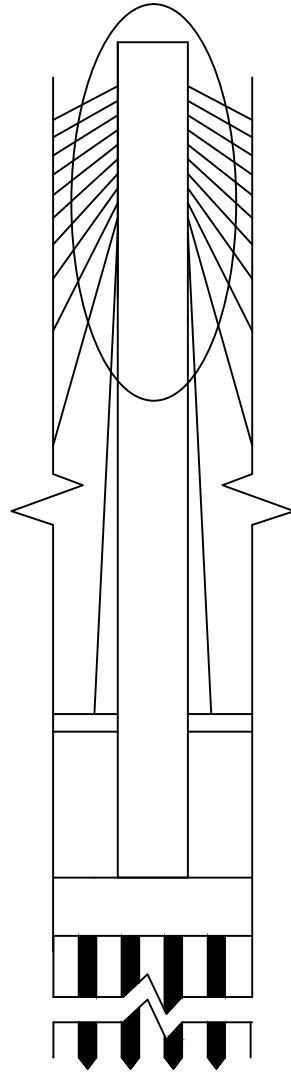
SKALA

1 : 20

NO. GAMBAR

21/23

KEYPLAN



Detail angkur pylon
Skala 1:265 (satuan dalam m)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN LEMAH IRENG 1
DI TOL SEMARANG-SOLO
MENGUNAKAN SISTEM
CABLE-STAYED BRIDGE
DENGAN A-TOWER TIPE
SEMI-FAN

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT
SOEGIHARDJO MASIRAN, MS.

BAMBANG PISCESA,
ST., MT., PH. D

NAMA & NRP MAHASISWA

MUHAMAD BAGUS
0311145000098

NAMA GAMBAR

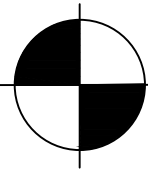
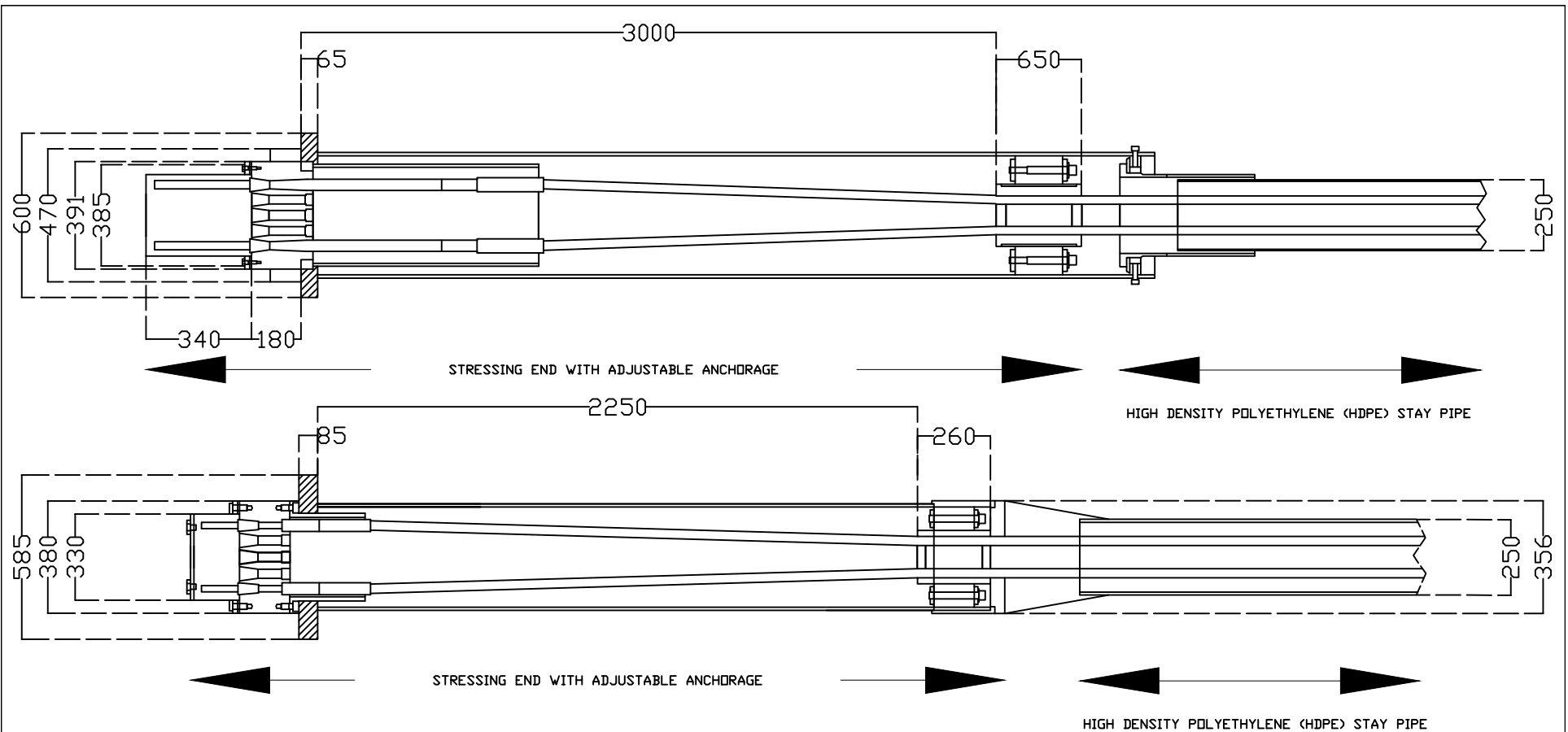
Pengangkuran kabel
di pylon

SKALA

1 : 265

NO. GAMBAR

22/23



Potongan stay cable

Skala 1:4 (satuan dalam mm)

		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI-FAN	DR. IR. HIDAYAT SDEGIHARDJO MASIRAN, MS. BAMBANG PISCESA, ST., MT., PH. D	MUHAMAD BAGUS 0311145000098	Potongan stay cable	1 : 4	23/23

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Muhamad Bagus, lahir di Jakarta, 30 Januari 1998 yang merupakan putra dari pasangan Bobby Andryanto dan Desti Herfina Sari. Sebelumnya penulis telah mengenyam pendidikan di SDN 14 Pagi Jakarta, SMPN 67 Pagi Jakarta, dan SMAN 79 Jakarta. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

dan diterima di Jurusan Teknik Sipil pada tahun 2015. Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang struktur, dengan NRP 0311154000098.

Selama dalam masa perkuliahan, penulis aktif dalam bidang organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjadi pengurus HMS FTSLK ITS pada tahun kedua dan ketiga yang berfokus pada Keprofesian dan Keilmuan. Penulis dapat dihubungi melalui email mbagus626@gmail.com.