



TUGAS AKHIR – RC18-4803

**MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.***

NABIL IZZA ABDULLAH  
NRP. 0311164000002

Dosen Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
Bambang Piscesa S.T., M.T., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020



TUGAS AKHIR - RC18-4803

**MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT  
I MENGGUNAKAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE*.**

NABIL IZZA ABDULLAH  
NRP. 0311164000002

Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.

Bambang Piscesa S.T., M.T., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RC18-4803

**MODIFICATION OF SEMBAYAT I BRIDGE  
STRUCTURE USING *ASYMMETRIC CABLE STAYED*.**

NABIL IZZA ABDULLAH  
NRP. 0311164000002

Supervisor :

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
Bambang Piscesa S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# LEMBAR PENGESAHAN

## MODIFIKASI STUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT I MENGUNAKAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED BRIDGE*

### TUGAS AKHIR



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

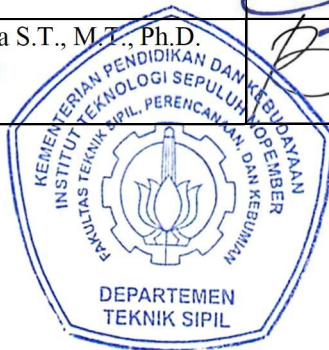
Oleh :

**NABIL IZZA ABDULLAH**

NRP. 0311164000002

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1	Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. (Pembimbing I)	
2	Bambang Piscesa S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing II)	



**SURABAYA, AGUSTUS 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT I MENGGUNAKAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED BRIDGE.***

**Nama Mahasiswa : Nabil Izza Abdullah**  
**NRP : 0311164000002**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.**  
**Bambang Piscesa S.T., M.T., Ph.D.**

## **ABSTRAK**

*Jembatan beruji kabel atau cable-stayed merupakan struktur yang memiliki sederetan kabel lurus dan memikul elemen horizontal kaku yang berupa: balok, rangka, atau box. Jembatan cable stayed terdiri dari sistem struktur berupa gelagar menerus yang didukung oleh tumpuan berupa kabel yang dibentangkan miring dan dihubungkan ke menara sebagai penahan utamanya. Jembatan jenis ini sudah banyak dibangun di seluruh penjuru dunia karena mampu meopang bentang yang panjang dan proses pembangunannya yang relatif cepat, serta memiliki keunggulan karakteristik dibandingkan dengan tipe jembatan bentang panjang lainnya baik dari segi teknis, ekonomis, dan estetika.*

*Pada tugas akhir ini membahas mengenai “modifikasi struktur jembatan Sembayat I menggunakan asymmetric cable stayed bridge” yang melintasi sungai Bengawan Solo di Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik. Jembatan ini memiliki bentang total sepanjang 350 meter yang terbagi dalam 2 bentang dengan panjang yang berbeda yaitu 225 meter untuk sisi main span, dan 125 meter untuk sisi side span dengan lebar total jembatan 17.5 meter. Konfigurasi kabel jembatan pada arah memanjang menggunakan semi-harp pattern dan pada arah melintang menggunakan two inclined plane system. Material penyusun struktur lantai kendaraan menggunakan steel twin box girder. Dengan pylon berbentuk A yang didesain miring ke arah side span menggunakan struktur beton bertulang.*



*Pada pengerjaan tugas akhir ini dibantu dengan software MIDAS CIVIL, SAP 2000, dan AUTOCAD. Tahapan dalam perencanaan ini dimulai dari pengumpulan data dan studi literatur, preliminary desain, desain struktur sekunder, desain struktur primer, permodelan dan analisa struktur, kontrol stabilitas aerodinamis dan penyusunan gambar kerja. Hasil dari perencanaan ini didapatkan dimensi struktur lantai kendaraan, dimensi kabel, angkur, dan dimensi pylon. Selain itu stabilitas aerodinamis juga perlu dikontrol dimana kontrol tersebut meliputi frekuensi alami struktur, pengaruh vortex shedding dan flutter. Perencanaan ini menggunakan backward solution dalam analisa staging. Desain dilakukan dengan mengacu SNI 1725 2016, Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015, SNI 2833 2016, dan RSNI T-12-2004*

***Kata kunci : Asymmetric cable stayed, Steel twin box girder, semi harp pattern, two inclined plane system***

# **MODIFICATION OF SEMBAYAT I BRIDGE STRUCTURE USING *ASYMMETRIC CABLE STAYED*.**

**Nama Mahasiswa** : Nabil Izza Abdullah  
**NRP** : 0311164000002  
**Supervisor** : Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
Bambang Pisceca S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRACT**

*Cable-stayed bridge is a structure that have series of straight cables and carry rigid horizontal elements like beams, frames or boxes. The cable stayed bridge consists of a continuous structural girder system that supported by cables, which are connected to the tower. This type of bridge has been built all over the world because it can support a long span and the construction process is relatively fast, it also has many advantages of characteristics compared to other types of long span bridges both in terms of technical, economic, and aesthetic.*

*In this final project will discuss about "modification of the Sembayat I bridge structure using an asymmetric cable stayed" . This bridge crosses Bengawan Solo river in Manyar District, Gresik. It has a total span of 350 meters which is divided into two spans with different lengths, 225 meters for the main span, and 125 meters for the side span with a total bridge width of 17.5 meters. the longitudinal cable configuration uses a semi-harp pattern, while in the transverse direction using the two inclined plane system. the vehicle floor structure is made of steel twin box girder, with an A-shaped pylon leaning towards the side span using reinforced concrete structures.*

*This final project were assisted by MIDAS CIVIL, SAP 2000 and AUTOCAD software. The stages in this planning are started from collect data and study literature, preliminary design, secondary structure design, primary structure design, modeling*

*and analysis of structures, aerodynamic stability control and set the build drawing. The results of this plan are the dimensions of the vehicle floor structure, the dimensions of the cable, the anchor, and the dimensions of the pylon. Aerodynamic control like natural frequency, vortex-shedding, flutter are very important to cable stayed bridge. On the staging analysisist use backward solution method. This final project design is referring to SNI 1725 2016, PU Regulation Number 08 / SE / M / 2015, SNI 2833 2016, and RSNI T-12-2004.*

***Kata kunci : Asymmetric cable stayed, Steel twin box girder, semi harp pattern, two inclined plane system***

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang memberikan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul “**Modifikasi Jembatan Sembayat I Menggunakan *Asymmetric Cable Stayed Bridge***” dengan baik dan tepat pada waktunya.

Adapun tulisan ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Teknik Penulisan Ilmiah dan juga sebagai evaluasi penulis selama menempuh Pendidikan S1 di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini antara lain:

1. Tuhan YME yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menempuh pendidikan sehingga dapat menyusun laporan tugas akhir.
2. Kedua orang tua, dan kakak penulis yang selalu mendukung dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
3. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS, dan Bambang Piscesa S.T., M.T. selaku dosen konsultasi yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen pengajar, staff, dan karyawan Departemen Teknik Sipil FTSLK ITS.
5. Teman-teman angkatan S-59 yang mendukung dan membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran

yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat kedepannya dan dapat dijadikan bahan pembelajaran khususnya civitas akademika Teknik Sipil ITS.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

## Daftar Isi

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xix</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xxvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Maksud dan Tujuan.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Jembatan Bentang Panjang .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....</b>	<b>8</b>
2.2.1    Komponen Kabel.....	12
2.2.2    Lantai Kendaraan ( <i>Bridge Deck</i> ).....	25
2.2.3    Menara/ <i>pylon</i> .....	29
2.2.4    Tipe Hubungan Jembatan <i>Cable Stayed</i> .....	30
2.2.5    Perletakan Jembatan .....	31
<b>2.3 Stabilitas Aerodinamik.....</b>	<b>33</b>
<b>2.4 Metode Pelaksanaan .....</b>	<b>37</b>

2.4.1	Staging.....	38
2.4.2	Push On Method.....	39
2.4.3	<i>Cantilever Method</i> .....	41
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		<b>45</b>
<b>3.1</b>	<b>Diagram Alir.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2</b>	<b>Studi Literatur.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Pengumpulan Data.....</b>	<b>48</b>
<b>3.4</b>	<b>Preliminary Design .....</b>	<b>50</b>
3.4.1	Susunan Kabel.....	50
3.4.2	Dimensi Kabel.....	50
3.4.3	<i>Preliminary Design Gelagar</i> .....	53
3.4.4	<i>Preliminary Design Pylon</i> .....	54
<b>3.5</b>	<b>Pembebanan .....</b>	<b>57</b>
3.5.1	Beban Permanen.....	57
3.5.2	Beban Lalu Lintas .....	59
3.5.3	Aksi Lingkungan .....	67
3.5.4	Pembebanan <i>Railing</i> .....	68
3.5.5	Kombinasi Pembebanan .....	69
<b>3.6</b>	<b>Permodelan dan Analisa Struktur.....</b>	<b>70</b>
<b>3.7</b>	<b>Design Angkur.....</b>	<b>73</b>
3.7.1	Desain Angkur pada gelagar .....	73
3.7.2	Desain Angkur pada <i>pylon</i> .....	73
<b>3.8</b>	<b>Kontrol Dinamis.....</b>	<b>74</b>

3.8.1	Frekuensi Alami .....	74
3.8.2	Efek <i>Vortex-Shedding</i> (pusaran angin).....	75
3.8.3	Efek <i>Ayunan</i> (Flutter).....	77
<b>3.9</b>	<b>Cek Kabel Putus 1.....</b>	<b>81</b>
<b>3.10</b>	<b>Menyusun Gambar Kerja .....</b>	<b>81</b>
<b>3.11</b>	<b>Penjadwalan .....</b>	<b>81</b>
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>83</b>
<b>4.1</b>	<b>Preliminary Design .....</b>	<b>83</b>
4.1.1	Gelagar .....	83
4.1.2	Box Girder.....	85
4.1.3	Kabel dan Kemiringan pylon.....	87
<b>4.2</b>	<b>Struktur Sekunder .....</b>	<b>100</b>
4.2.1	Pipa Sandaran .....	101
4.2.2	Tiang Sandaran.....	104
4.2.3	Pelat Lantai Kendaraan.....	107
4.2.4	Trotoar.....	115
<b>4.3</b>	<b>Gelagar.....</b>	<b>121</b>
4.3.1	Gelagar Memanjang .....	121
4.3.2	Gelagar Melintang.....	137
4.3.3	Gelagar Kantilever .....	156
<b>4.4</b>	<b>Permodelan dan Analisa Struktur.....</b>	<b>171</b>
4.4.1	Permodelan Struktur.....	171
4.4.2	Analisa Statis.....	173



4.4.3	Analisa Dinamis .....	181
<b>4.5</b>	<b>Box Girder .....</b>	<b>186</b>
4.5.1	Perencanaan Box Girder.....	186
4.5.2	Hasil Analisa Struktur .....	188
4.5.3	Kontrol Kemampuan Penampang <i>Box Girder</i> ....	188
4.5.4	Kontrol lendutan <i>Box Girder</i> .....	196
4.5.5	Sambungan <i>Box Girder</i> .....	197
<b>4.6</b>	<b>Struktur Kabel .....</b>	<b>204</b>
4.6.1	Data Perencanaan .....	204
4.6.2	Gaya <i>Stressing</i> Kabel .....	206
4.6.3	Analisa Penampang Akibat Kabel Putus satu....	213
<b>4.7</b>	<b>Struktur <i>Pylon</i> .....</b>	<b>218</b>
4.7.1	Kolom <i>Pylon</i> .....	219
4.7.2	Kolom <i>Mid Pylon</i> .....	231
4.7.3.	<i>Lower Cross Beam</i> .....	240
<b>4.8</b>	<b>Perilaku Aerodinamis .....</b>	<b>247</b>
4.8.1	Frekuensi Alami .....	247
4.8.2	Efek Pusaran Angin ( <i>Vortex-Shedding</i> ) .....	251
4.8.3	Efek Ayunan ( <i>Flutter</i> ) .....	256
<b>4.9</b>	<b>Analisa Staging .....</b>	<b>260</b>
4.9.1	Pembebanan Staging Analysis .....	260
4.9.2	Tahapan Staging Analysis .....	263
4.9.3	Tuning Kabel Awal .....	284

4.9.4	Hasil Staging Analysis .....	284
<b>4.10</b>	<b>Perhitungan Angkur .....</b>	<b>294</b>
4.10.1	Desain Angkur Pada Gelagar ( <i>Box Girder</i> ).....	294
4.10.2	Desain Angkur pada <i>Pylon</i> .....	298
4.10.3	Desain Angkur pada Eksternal (Blok Angkur)..	306
<b>4.11</b>	<b>Desain Perletakan .....</b>	<b>311</b>
4.11.1	Desain <i>Pot Bearing</i> .....	311
<b>4.12</b>	<b>Perencanaan Expansion Joint.....</b>	<b>314</b>
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>317</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>317</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>319</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>320</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>322</b>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Jembatan gantung (suspension).....	5
Gambar 2. 2 Jembatan cable stayed, Millau Viaduct.....	6
Gambar 2. 3 Jembatan Saint Nazaire, Loire.....	7
Gambar 2. 4 Basic load transfer pada cable stayed.....	10
Gambar 2. 5 Susunan cable stayed two-span.....	11
Gambar 2. 6 Susunan cable stayed three-span.....	11
Gambar 2. 7 Susunan cable stayed muti-span.....	11
Gambar 2. 8 Susunan kabel single plane.....	12
Gambar 2. 9 Susunan kabel two vertical planes.....	13
Gambar 2. 10 Susunan kabel two inclined planes.....	13
Gambar 2. 11 Susunan kabel assymetrical planes.....	14
Gambar 2. 12 Susunan kabel fan pattern.....	15
Gambar 2. 13 Susunan kabel harp pattern.....	15
Gambar 2. 14 Susunan kabel semi-harp pattern.....	16
Gambar 2. 15 Susunan kabel assymetric pattern.....	16
Gambar 2. 16 Jembatan Siak IV, Riau (2019).....	17
Gambar 2. 17 Hubungan antara kabel.....	18
Gambar 2. 18 Konfigurasi kabel (Haldania R,2007).....	19
Gambar 2. 19 Parallel-bar cables.....	20
Gambar 2. 20 Parallel-wire cables.....	20
Gambar 2. 21 Stranded cables.....	21
Gambar 2. 22 Locked-coil cables.....	21
Gambar 2. 23 Angkur mati & Angkur hidup.....	23
Gambar 2. 24 Alternatif pengangkuran pada menara.....	23
Gambar 2. 25 Alternatif pengangkuran pada menara.....	24
Gambar 2. 26 Lokasi pengangkuran pada dek jembatan.....	25
Gambar 2. 27 Gelagar jembatan dengan rangka pengaku.....	26
Gambar 2. 28 Gelagar jembatan dengan solid web beton.....	27
Gambar 2. 29 Gelagar jembatan dengan solid web baja.....	28
Gambar 2. 30 Bentuk dasar menara cable stayed.....	30

Gambar 2. 31 Greak torsi Jembatan Tacoma .....	34
Gambar 2. 32 Keruntuhan Jembatan Tacoma .....	35
Gambar 2. 33 Proses terbentuknya pusaran angin.....	36
Gambar 2. 34 Deskripsi Fenomena Flutter.....	37
Gambar 2. 35 Prosedur pelaksanaan metode staging. ....	39
Gambar 2. 36 Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out .....	40
Gambar 2. 37 Metode pelaksanaan kantilever .....	41
Gambar 2. 38 Metode pelaksanaan kantilever .....	42
Gambar 2. 39 Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan urutan pelaksanaan. ....	43
Gambar 3. 1 Diagram alir.....	46
Gambar 3. 2 Potongan memanjang jembatan Sembayat I .....	49
Gambar 3. 3 Rencana Potongan memanjang jembatan sembayat I .....	49
Gambar 3. 4 preliminary design kabel .....	51
Gambar 3. 5 Kasus gelagar kaku.....	52
Gambar 3. 6 Kasus menara kaku.....	52
Gambar 3. 7 Steel Twin Box Girder.....	54
Gambar 3. 8 Variasi dimensi menara jembatan cable stayed tipe harpa.....	56
Gambar 3. 9 pylon A .....	56
Gambar 3. 10 Beban Lajur "D" .....	61
Gambar 3. 11 Konfigurasi beban hidup .....	62
Gambar 3. 12 Konfigurasi pembebanan pada Truk "T" .....	65
Gambar 3. 13 Faktor beban dinamis untuk Truk "T" untuk pembebanan lajur "D" .....	66
Gambar 3. 14 Rencana awal jembatan .....	71
Gambar 3. 15 Gaya yang bekerja pada bagian bawah dan atas... 72	
Gambar 3. 16 Daerah umum pada penampang persegi .....	74
Gambar 3. 17 Koefisien nilai $C_T$ , $C_N$ , $C_M$ .....	77
Gambar 3. 18 Ilustrasi Efek Ayunan .....	77

Gambar 3. 19 Grafik penentuan faktor koreksi $\eta$ .....	79
Gambar 3. 20 Grafik penentuan nilai $\eta$ .....	80
Gambar 4. 1 Preliminary Box Girder .....	86
Gambar 4. 2 Penampang Melintang Deck (m).....	87
Gambar 4. 3 Susunan kabel arah memanjang berupa Semi-Harp Pattern (m).....	87
Gambar 4. 4 Susunan Kabel Arah Melintang Berupa Two Inclined Planed System (m).....	88
Gambar 4. 5 Tatanan sistem kabel awal dan penomoran .....	89
Gambar 4. 6 Ilustrasi beban yang dipikul kabel .....	91
Gambar 4. 7 ilustrasi gaya pada kabel $m_1$ .....	96
Gambar 4. 8 Ilustrasi gaya kabel ke pylon .....	97
Gambar 4. 9 Gambar rencana awal pylon .....	100
Gambar 4. 10 Tiang Sandaran.....	101
Gambar 4. 11 profil pipa sandaran dan gaya pipa sandaran.....	101
Gambar 4. 12 Penampang pipa sandaran .....	103
Gambar 4. 13 Penampang tiang sandaran .....	104
Gambar 4. 14 Pelat lantai kendaraan.....	107
Gambar 4. 15 Penulangan Pelat Lantai Kendaraan .....	114
Gambar 4. 16 Ilustrasi geser pons .....	114
Gambar 4. 17 Trotoar .....	116
Gambar 4. 18 Ilustrasi Pembebanan pada trotoar.....	117
Gambar 4. 19 Gelagar memanjang jembatan .....	121
Gambar 4. 20 Faktor beban Dinamis.....	123
Gambar 4. 21 Titik Momen pada Gelagar Memanjang.....	126
Gambar 4. 22 Ilustrasi pembebanan BGT dan BTR.....	128
Gambar 4. 23 Ilustrasi pembebanan TT .....	129
Gambar 4. 24 Jumlah dan jarak pemasangan baut gelagar memanjang .....	133
Gambar 4. 25 Detail Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang .....	135

Gambar 4. 26 Detail Sambungan Gelagar Memanjang.....	136
Gambar 4. 27 Detail sambungan potongan tampak samping ....	136
Gambar 4. 28 Ilustrasi pembebanan beban mati dan hidup.....	138
Gambar 4. 29 Ilustrasi tipe-tipe pembebanan truk (TT).....	139
Gambar 4. 30 Permodelan bebanmati pada gelagar melintang .	140
Gambar 4. 31 Permodelan beban hidup dan TT pada gelagar melintang.....	141
Gambar 4. 32 Gambar diagram profil .....	146
Gambar 4. 33 Hasil analisa SAP 2000 untuk lendutan yang terjadi akibat beban hidup (BTR+BGT).....	147
Gambar 4. 34 Hasil analisa SAP 2000 untuk lendutan akibat beban TT (IV).....	148
Gambar 4. 35 Pemasangan Shear connector .....	149
Gambar 4. 36 Pelat penyambung .....	153
Gambar 4. 37 Detail sambungan gel. melintang ke boxgirder ..	155
Gambar 4. 38 Detail sambungan potongan tampak samping ....	155
Gambar 4. 39 Detail sambungan gelagar melintang .....	156
Gambar 4. 40 Gelagar kantilever jembatan.....	157
Gambar 4. 41 Permodelan beban mati gelagar kantilever.....	158
Gambar 4. 42 Permodelan beban hidup(TP) pada gelagar kantilever.....	158
Gambar 4. 43 Hasil analisa SAP2000 untuk lendutan akibat beban hidup.....	163
Gambar 4. 44 Penampang Sambungan Las.....	164
Gambar 4. 45 Ilustrasi sambungan baut pada pelat badan .....	167
Gambar 4. 46 Tampak melintang sambungan gel. kantilever ..	168
Gambar 4. 47 Tampak Memanjang sambungan gelagar kantilever ke box girder.....	169
Gambar 4. 48 Tampak Atas sambungan gelagar kantilever ke box girder .....	169
Gambar 4. 49 Detail sambungan baut & las gelagar kantilever .	170

Gambar 4. 50 Tampak Prespektif Jembatan.....	171
Gambar 4. 51 Tampak Memanjang Jembatan.....	172
Gambar 4. 52 Tampak Melintang Jembatan.....	172
Gambar 4. 53 Tampak Atas Jembatan.....	173
Gambar 4. 54 Tampak Melintang Jembatan.....	173
Gambar 4. 55 Ilustrasi Beban Rem berupa Gaya Horizontal dan Momen Torsi.....	176
Gambar 4. 56 Ilustrasi Beban Angin Kendaraan menjadi Momen Torsi .....	178
Gambar 4. 57 Grafik Response Spectrum Tanah Lunak di Kabupaten Gresik .....	182
Gambar 4. 58 Diagram respon spektra gempa arah X.....	184
Gambar 4. 59 Diagram respon spektra gempa arah Y.....	184
Gambar 4. 60 Penampang Box Girder .....	187
Gambar 4. 61 Analisa Section Data dan Section Properties.....	188
Gambar 4. 62 Koordinat Box Girder.....	193
Gambar 4. 63 Ilustrasi Lendutan akibat Beban Hidup pada MidasCivil.....	196
Gambar 4. 64 Sambungan (Box Girder) pada Badan.....	202
Gambar 4. 65 Sambungan Gelagar Utama (Box Grider) pada Sayap .....	203
Gambar 4. 66 Tampak Melintang Sambungan Box Girder.....	203
Gambar 4. 67 Penomoran Kabel Jembatan .....	205
Gambar 4. 68 Flowchart Perhitungan Gaya Tiap Kabel dengan Unknown Load Factor.....	206
Gambar 4. 69 Grafik Perbandingan Kemampuan Izin Kabel dengan Gaya Tarik yang Diterima Kabel.....	217
Gambar 4. 70 Penampang Pylon tampak Melintang.....	218
Gambar 4. 71 Section Properties Penampang Kolom Pylon.....	219
Gambar 4. 72 Koordinat Kolom Pylon.....	220



Gambar 4. 73 Desain Penampang Tulangan Longitudinal Pylon pada sPColumn.....	224
Gambar 4. 74 Grafik Diagram Mx-My .....	224
Gambar 4. 75 Sketsa Desain Penulangan Kolom Pylon.....	230
Gambar 4. 76 Section Properties Kolom Mid Pylon.....	231
Gambar 4. 77 Desain Penampang Tulangan Longitudinal Mid Pylon pada sPColumn .....	235
Gambar 4. 78 Gambar Diagram Grafik Mx-My .....	236
Gambar 4. 79 Sketsa Desain Penulangan Kolom Mid Pylon....	240
Gambar 4. 80 Section Properties Lower Cross Beam .....	241
Gambar 4. 81 Koordinat Lower Cross Beam .....	241
Gambar 4. 82 Desain Penampang Tulangan Lower Cross Beam pada sPColumn.....	242
Gambar 4. 83 Gambar Diagram Grafik Mx-My .....	243
Gambar 4. 84 Sketsa Desain Penulangan Lower Cross Beam ..	247
Gambar 4. 85 Titik berat penampang deck .....	249
Gambar 4. 86 Maca-macam penampang deck .....	253
Gambar 4. 87 Nilai koefisien $C_N$ .....	253
Gambar 4. 88 Klasifikasi psikologis berdasarkan amplitudo....	255
Gambar 4. 89 Klasifikasi psikologis berdasarkan percepatan...	256
Gambar 4. 90 Grafik Vkritis.teoritis .....	258
Gambar 4. 91 Grafik koefisien koreksi .....	259
Gambar 4. 92 Ilustrasi Form Traveller yang Digunakan.....	261
Gambar 4. 93 Ilustrasi form traveller arah memanjang.....	262
Gambar 4. 94 Permodelan & input beban pada form traveller..	262
Gambar 4. 95 Hasil analisa reaksi pada form traveller.....	263
Gambar 4. 96 Penomoran Kabel dan Gelagar .....	263
Gambar 4. 97 Penomoran Node Model Jembatan.....	290
Gambar 4. 98 Grafik nilai $D_{Z_{27,33,43}}$ tiap tahapan staging .....	291
Gambar 4. 99 Grafik tegangan kabel pada sisi main span tiap tahapan staging. Sumber : (Dokumen Pribadi MidasCivil).....	292

Gambar 4. 100 Grafik tegangan kabel pada sisi side span tiap tahapan staging. Sumber : (Dokumen Pribadi MidasCivil).....	293
Gambar 4. 101 Angkur pada gelagar (Box Girder).....	294
Gambar 4. 102 Detail angkur VSL SSI 2000.....	294
Gambar 4. 103 Pelat Angkur Tendon.....	297
Gambar 4. 104 Dearah angker pada pylon.....	299
Gambar 4. 105 Dimensi Angkur .....	299
Gambar 4. 106 Detail Angkur VSL SSI 2000.....	300
Gambar 4. 107 Desain Tulangan Bursting dan Spalling M10 pada pylon.....	305
Gambar 4. 108 Detail angkur VSL SSI 2000.....	307
Gambar 4. 109 Notasi Dimensi Angkur.....	307
Gambar 4. 110 Ilustrasi desain penulangan pada blok angkur..	310
Gambar 4. 111 Layout penempatan perletakan jembatan .....	311
Gambar 4. 112 Pot Bearing type PF.....	312
Gambar 4. 113 Pot bearing tipe PU.....	312
Gambar 4. 114 Dimensi Expantion Joint .....	316

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## Daftar Tabel

Tabel 2. 1	Macam <sup>2</sup> perletakan jembatan cable stayed.....	32
Tabel 3. 1	Berat isi material untuk jembatan.....	57
Tabel 3. 2	Faktor beban untuk beban permanen.....	58
Tabel 3. 3	Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	59
Tabel 3. 4	Ketentuan jumlah lajur jembatan .....	60
Tabel 3. 5	Faktor beban untuk beban lajur "D" .....	61
Tabel 3. 6	Konfigurasi beban hidup pada jembatan .....	63
Tabel 3. 7	Faktor beban untuk beban Truk "T" .....	64
Tabel 3. 8	Kombinasi beban untuk keadaan Ultimate.....	70
Tabel 3. 9	Penjadwalan .....	82
Tabel 4. 1	Jenis kabel .....	89
tabel 4. 2	Perhitungan penampang & strand kabel .....	94
tabel 4. 3	Nilai modulus elastis ekivalen kabel .....	95
tabel 4. 4	Gaya yang bekerja pada setiap segmen .....	98
tabel 4. 5	Hasil analisa geser (V) SAP 2000 .....	141
tabel 4. 6	Hasil analisa momen (M) SAP 2000 .....	142
tabel 4. 7	Hasil analisa geser (V) oleh SAP 2000.....	159
tabel 4. 8	Hasil analisa momen (M) oleh SAP 2000 .....	159
tabel 4. 9	Nilai $V_0$ dan $Z_0$ .....	177
tabel 4. 10	Tekanan angin dasar .....	177
tabel 4. 11	Kombinasi Pembebanan Statik.....	179
tabel 4. 12	Hasil Analisa Statik pada Box Girder.....	179
tabel 4. 13	Hasil Analisa Struktur Statik pada Pylon .....	180
tabel 4. 14	Hasil Analisa Struktur Statik pada Mid Pylon.....	180
tabel 4. 15	Hasil Analisa Statik pada Lower Cross Beam.....	181
tabel 4. 16	Nilai NSPT dan perhitungan kelas tanah.....	182
tabel 4. 17	Kombinasi Pembebanan Dinamis.....	185
tabel 4. 18	Hasil Analisa Struktur Dinamis Box Girder.....	185
tabel 4. 19	Hasil Analisa Dinamis Lower Cross Beam .....	186
tabel 4. 20	Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon.....	186

tabel 4. 21 Hasil Analisa Struktur Dinamis Mid Pylon .....	186
tabel 4. 22 Gaya dalam pada Box Girder .....	188
tabel 4. 23 Lendutan Akibat Kombinasi Beban Layan.....	196
tabel 4. 24 Spesifikasi Kabel yang Digunakan.....	204
tabel 4. 25 Preliminary penampang & strand kabel .....	205
tabel 4. 26 Hasil Iterasi Awal Gaya Kabel .....	207
tabel 4. 27 Kebutuhan Luas Penampang Kabel.....	208
tabel 4. 28 Nilai Gaya Tiap Kabel Hasil Iterasi-2 .....	209
tabel 4. 29 Kontrol Kapasitas Penampang Tiap Kabel.....	209
tabel 4. 30 Nilai Gaya Maksimum Kabel Hasil Iterasi-3 .....	211
tabel 4. 31 Kontrol Kapasitas Penampang Tiap Kabel.....	211
tabel 4. 32 Perhitungan n(strand) pakai.....	213
tabel 4. 33 Nilai Gaya Maksimum Akibat M10 Putus .....	214
tabel 4. 34 Kontrol Kapasitas Penampang .....	215
tabel 4. 35 Hasil Analisa Vibration Mode MidasCivil .....	250
tabel 4. 36 Spesifikasi Form Traveller .....	261
tabel 4. 37 Urutan Pleaksanaan Staging .....	264
tabel 4. 38 Nilai Gaya Stressing Tiap Kabel .....	284
tabel 4. 39 Hasil Analisa Staging pada Box Girder.....	285
tabel 4. 40 Hasil Analisa Staging pada Pylon.....	286
tabel 4. 41 Hasil Analisa Staging pada LowerCrossBeam .....	287
tabel 4. 42 Hasil Analisa Staging pada Mid Pylon.....	289
tabel 4. 43 Spesifikasi teknis angkur VSL SSI 2000.....	295
tabel 4. 44 Nilai $\emptyset_{A1}$ dan $C_1$ sesuai $n_{pasang}$ .....	295
tabel 4. 45 Kontrol tegangan izin pelat.....	296
tabel 4. 46 Gaya tarik kabel pada pylon .....	300
tabel 4. 47 Spesifikasi Angkur VSL SSI 2000 .....	301
tabel 4. 48 Nilai $\emptyset_{A2}$ dan $C_2$ .....	301
Tabel 4. 49 Kontrol tegangan beton saat stressing .....	302
Tabel 4. 50 Kebutuhan Tulangan Daerah Pengangkuran .....	304
tabel 4. 51 Gaya tarik kabel $A_{pakai}$ .....	306

tabel 4. 52 Spesifikasi teknis angkur VSL SSI 2000.....	306
tabel 4. 53 Kontrol tegangan beton saat stressing .....	308
Tabel 4. 54 Kebutuhan Tulangan Daerah Pengangkuran .....	310
tabel 4. 55 Kapasitas pot bearing VSL tipe PF.....	313
tabel 4. 56 Kapasitas pot bearing VSL tipe PU .....	314
tabel 4. 57 Tipe Expantion Joint.....	315
tabel 4. 58 Dimensi Expantion Joint .....	316

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jembatan Sembayat merupakan jembatan yang menghubungkan antara desa Sembayat dan desa Bungah yang masih dalam satu wilayah kecamatan Manyar, Gresik, Jawa timur. Jembatan Sembayat merupakan prasarana penyebrangan utama sungai Bengawan Solo yang bermuara di daerah Gresik. Jalur lalu lintas pada jembatan Sembayat merupakan jalur vital nasional, dan jalur ini juga merupakan jalur padat kendaraan-kendaraan berat yang mendistribusikan hasil perindustrian dari kota Gresik menuju arah kota Tuban, dan sebaliknya.

Jembatan Sembayat ini berada pada STA 0+130 sampai STA 1+050, dengan panjang oprit pada sisi selatan jembatan sepanjang 219,17 meter dan oprit pada sisi utara sepanjang 346.83 meter. Jembatan yang dibangun pada tahun 1990 ini memiliki panjang total 353.5 meter, dimana terdiri dari 6 bentang jembatan rangka baja sebagai struktur bangunan atas dengan bentang terpanjang sebesar 80 meter, dan lebar 9 meter yang ditunjang oleh struktur bangunan bawah yang terdiri dari 5 pilar dan 2 *abutment* didukung dengan pondasi tiang pancang. Dengan lebar jembatan 9 meter, jembatan Sembayat terlihat selalu dalam kondisi padat kendaraan berat setiap harinya. Kemacetan yang terjadi di atas jembatan dapat mengakibatkan umur jembatan berkurang. Jembatan sembayat ini dirasa sudah cukup kuno untuk desain dan masalah struktur, dikarenakan sudah banyak mengalami kerusakan pada lantai kendaraan, dan umur jembatan yang sudah lebih dari 25 tahun, serta faktor lain yang dimana akan dibangun JIPE “*Java Integrated Industrial and Port Estate*” dan mulai beroperasinya pelabuhan internasional di kecamatan Manyar yang terletak kurang

lebih 4.5 km selatan jembatan Sembayat. Hal tersebut memungkinkan akan bertambahnya volume kendaraan-kendaraan berat yang melintasi jembatan Sembayat.

Melihat kondisi diatas, dan dengan total panjang jembatan yang tergolong sangat panjang, muncul ide untuk memodifikasi struktur jembatan Sembayat menjadi jembatan *cable stayed* dengan sistem kabel *asymmetric* menggunakan gelagar *steel twin box girder*.

Modifikasi ini dipilih karena jembatan *cable stayed* merupakan jembatan tipe gelagar /balok, yang diantara tumpuan tetapnya memperoleh tumpuan elastis dari kabel tegang yang terbentang dari satu atau beberapa titik pada gelagar/balok tersebut ke bagian atas menara (Hidayat Sugihardjo, dkk, 2007). Alasan lain pemilihan jembatan *cable stayed* yaitu pengurangan jumlah pilar pada profil sungai, serta bertambahnya lebar, dan tinggi bebas pada jembatan. Pada modifikasi ini pilar yang digunakan hanya satu yang terletak pada profil sungai yang tidak terkena aliran sungai, sehingga tatanan sistem kabel dibuat asimetris, selain itu pemilihan bentuk ini berdasarkan alasan teoritis berupa pengurangan gaya vertikal pada ankur dengan cara mengurangi kelandaian kabel, sehingga sudut optimum kabel sebesar  $45^\circ$  tercapai (Walther,1999). Dari segi estetika, jembatan *cable stayed* bentuk asimetris memiliki estetika yang sangat indah dibandingkan dengan tipe-tipe jembatan yang lain. Dengan demikian, nilai pariwisata pada wilayah tersebut akan meningkat. Sehingga selain untuk prasarana transportasi, jembatan tersebut juga dapat dijadikan *landmark* kabupaten Gresik yang tentu saja hal ini akan meningkatkan perekonomian masyarakat sekitar.



## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pokok ialah bagaimana memodifikasi struktur jembatan Sembayat dari rangka baja menjadi jembatan *cable stayed* dengan sistem kabel *asymmetric*. Adapun detail/rinci permasalahannya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi?
2. Bagaimana prosedur dan perencanaan jembatan *cable stayed* ?
3. Bagaimana permodelan dan analisa struktur dalam perencanaan jembatan *cable stayed*?
4. Bagaimana mengontrol jembatan ini akibat dari beban yang ada?
5. Bagaimana hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini?

## 1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan merencanakan struktur Jembatan Sembayat dengan sistem *cable stayed* adalah dapat memodifikasi jembatan Sembayat dari rangka baja menjadi jembatan *cable stayed* dengan sistem kabel *asymmetric*, Sedangkan tujuan secara khusus adalah :

1. Merubah dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi.
2. Mengetahui prosedur dan perencanaan jembatan *cable stayed*.
3. Memodelkan dan menganalisis struktur perencanaan jembatan *cable stayed*.
4. Mengontrol jembatan ini akibat dari beban yang ada.
5. Mengetahui hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Ruang lingkup permasalahan dan pembahasan pada tugas akhir ini dibatasi oleh beberapa hal antara lain :

1. Perencanaan jembatan ini hanya meninjau struktur saja (tidak meninjau analisa beaya, manajemen konstruksi).
2. Tidak merencanakan perkerasan diatas lantai kendaraan dan drainase jalan.
3. Tidak merencanakan jalan pendekat ke jembatan.

#### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat secara umum yaitu :

1. Sebagai referensi dalam melakukan desain jembatan *cabl stayed* asimetris.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait.

Adapun manfaat secara khusus yaitu :

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

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jembatan Bentang Panjang

Manusia mulai menggunakan jembatan sejak zaman dahulu, pertama kali digunakan manusia adalah jembatan alami, seperti pohon tumbang yang melintasi rintangan (jembatan balok sederhana). Dengan berkembangnya zaman, teknologi struktur jembatan terus mengalami kemajuan yang pesat.

Sesuai dengan pasal 4.1.2.1 pada peraturan PU No.07/SE/M/2015, bahwa bentang ekonomis jembatan *cabl* *stayed* yaitu minimal 200 m, dan jembatan *suspension* minimal 300 m.. Pada umumnya jembatan bentang panjang digantung menggunakan kabel, baik secara langsung maupun tak langsung. Jembatan mengalami perkembangan dari bentuk beserta materi pendukungnya. Tipe jembatan itu disebut *suspended-span bridge*, yaitu *cabl* *stayed* *bridge* (**Gambar 2.2**) dan *suspension bridge* (**Gambar 2.1**).



**Gambar 2. 1** Jembatan gantung (*suspension*), Selat Menai, UK

Sumber: <https://internasional.kompas.com/read/2019/04/05/13193011/jembatan-gantung-modern-pertama-dunia-dibangun-di->



menai-wales

**Gambar 2. 2** Jembatan *cable stayed*, Millau Viaduct

Sumber: <https://travel.tribunnews.com/2016/09/13/millau-viaduct-jembatan-di-atas-awan-ini-dinobatkan-tertinggi-di-dunia-3-kalinya-monas-lho>

Titik balik penting dalam evolusi jembatan *suspension* terjadi pada awal abad ke-19 di Amerika, yaitu pada saat James Findley membangun jembatan untuk pertama kalinya pada tahun 1810 di Jacobs Creek, Uniotown, Pennsylvania dengan menggunakan rantai besi fleksibel. Inovasi Findley bukanlah kabel melainkan menggunakan gelagar jembatan yang diperkaku, dengan menggunakan rangka batang kayu. Dengan inovasi ini dimulailah penggunaan jembatan *suspension* modern. Inovasi Findley dilanjutkan dengan Thomas Telford di Inggris dengan mendesain jembatan Menai Straits pada tahun 1818-1826. Jembatan ini merupakan jembatan *suspension* modern pertama yang dibangun sesuai dengan (**Gambar 2.1**).

Jembatan *cable stayed* digunakan secara luas terutama di Eropa bagian barat dan beberapa negara lain. Keberhasilan penggunaan

sistem *cable stayed* dicapai dengan ditemukannya baja berkekuatan tinggi dan tipe gelagar orthotropik, juga kemajuan teknik las. Perkembangan awal jembatan *cable stayed* dengan berdirinya Jembatan Saint Nazaire pada tahun 1974 yang melintasi di atas sungai Loire, Perancis. Jembatan ini menggunakan gelagar baja dengan bentuk *stream line* dan tower berbentuk A dengan bentang utamanya 404 m.



**Gambar 2. 3** Jembatan Saint Nazaire, Loire

*Sumber: (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing, 2012)*

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

## 2.2 Jembatan *Cable Stayed*

Jembatan *cable stayed* adalah struktur yang mempunyai sederetan kabel lurus dan memikul elemen horizontal kaku (berupa balok, rangka, atau *box*). Jembatan *cable stayed* terdiri dari sistem struktur berupa gelagar menerus yang didukung oleh tumpuan berupa kabel yang dibentangkan miring dan dihubungkan ke menara sebagai penahan utama. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2015).

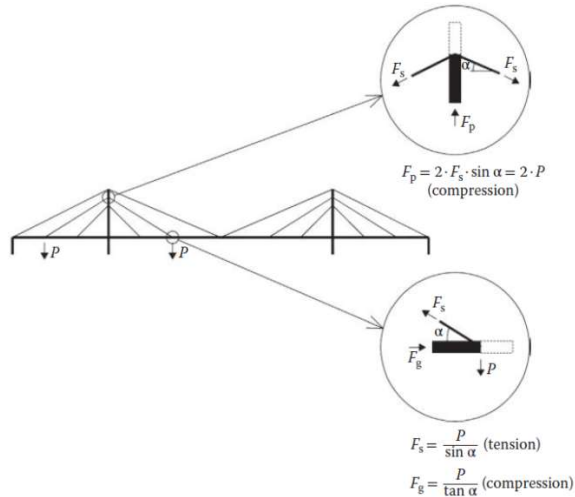
Kabel-kabel tersebut umumnya menyebar dari satu atau lebih tiang tekan penyangga (*pylon*). Keseluruhan sistem dapat mempunyai bentang besar tanpa harus menggunakan kabel lengkung yang rumit. Dalam pelaksanaan konstruksi jembatan, setiap tahapan konstruksi, besarnya gaya-gaya dalam, tidak boleh melampaui kapasitas penampang dan pada tahap akhir pembebanan, perpindahan titik puncak tower dan lendutan lantai jembatan harus memenuhi yang disyaratkan dalam perencanaan.

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

Jembatan *cable stayed* modern menyajikan suatu sistem tiga dimensi, secara umum, gelagar dapat berupa box beton atau suatu sistem gabungan struktur baja yang meringkai gelagar, struktur

komposit balok lantai melintang, dan sebuah gelagar beton. bagian-bagian pendukung seperti *pylon* dan kabel yang melintang dengan gaya tariknya. Pada umumnya *pylon* terbuat dari beton pada beberapa tipenya. Karakteristik yang penting dari struktur tiga dimensi adalah keikutsertaan penuh kerja pada konstruksi melintang dalam struktur utama arah longitudinal. Ini berarti sangat perlu ditingkatkan momen inersia konstruksinya, yang mengijinkan suatu pengurangan tinggi balok gelagar.

Sejak saat itu jembatan *cable stayed* mengalami banyak perkembangan dan mempunyai bentuk yang bervariasi dari segi material dan estetika. Bangunan atas jembatan *cables stayed* terdiri dari gelagar, *pylon*, kabel, lantai kendaraan, dan *railing*. Sedangkan bangunan bawah berupa abutmen, pilar, dan pondasi. Jembatan utama menerima beban vertical 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.



**Gambar 2. 4** Basic load transfer pada cable stayed.

Sumber : (E-book Bridge Engineering Handbook, Wai-Fah Chen, 2014)

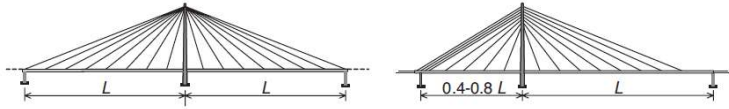
Adapun keuntungan penggunaan jembatan *cable stayed* antara lain (Svensson, 2011) yaitu :

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

Jembatan *cable stayed* ditinjau dari rintangannya yang akan disebrangi dan lokasi, bentang jembatan dapat didesain dalam ::

1. *Two-span*  
 Susunan *two span* terdiri dari bentang utama (*main span*) dan bentang lainnya (*side span*).

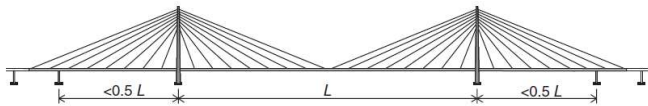




**Gambar 2. 5** Susunan *cable stayed two-span*  
*Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing,2012)*

2. *Three-span*

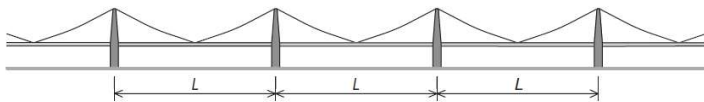
Susunan *three-span* merupakan susunan yang paling umum, terdiri dari bentang utama dan dua bentang utama atau kurang.



**Gambar 2. 6** Susunan *cable stayed three-span*  
*Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing,2012)*

3. *Multi-span*

Susunan *multi-span* memiliki beberapa bentang utama dan bentang sisi di kedua ujung jembatan.



**Gambar 2. 7** Susunan *cable stayed muti-span*  
*Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing,2012)*

### 2.2.1 Komponen Kabel

Dalam merencanakan jembatan *cable stayed* komponen kabel ialah satu hal mendasar. Kabel digunakan untuk menopang gelagar diantara dua tumpuan dan memindahkan beban tersebut ke *pylon*.

#### a. Susunan Kabel

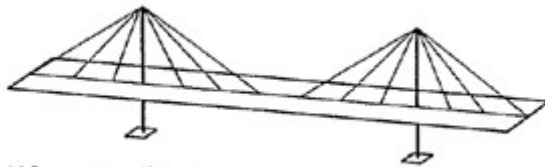
Secara umum sistem kabel dapat dilihat sebagai susunan kabel transversal dan longitudinal. Pemilihan susunan kabel tersebut didasarkan atas berbagai hal karena akan memberikan pengaruh yang berlainan terhadap perilaku struktur terutama pada bentuk menara/*pylon* dan tampang gelagar. Selain itu akan berpengaruh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

#### 1. Kabel Transversal

Susunan 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)

##### a) *Single Plane System*

Pada susunan *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 susunan ini dibutuhkan gelagar utama yang cukup kaku.



**Gambar 2. 8** Susunan kabel *single plane*

Sumber : (E-Book *Cable Stayed Bridges*, Walther R., 1999)

b) *Two Plane System*

Pada *two plane system* dibedakan menjadi :

- *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.

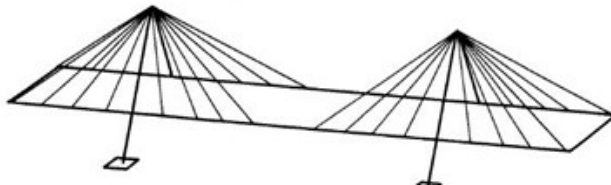


**Gambar 2. 9** Susunan kabel *two vertical planes*

Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

- *Two Inclined Planes System*

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

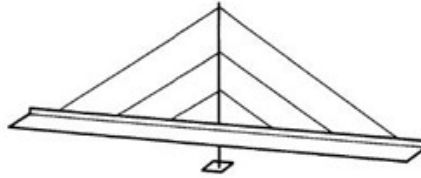


**Gambar 2. 10** Susunan kabel *two incilned planes*

Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

c) *Assymetrical Plane System*

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



**Gambar 2. 11** Susunan kabel *assymetrical planes*  
*Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)*

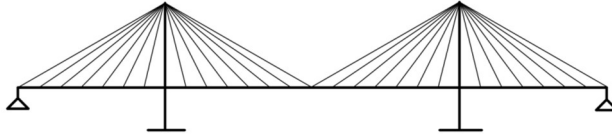
## 2. Kabel Longitudinal

Susunan 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, 1986). Menurut Walther macam – macam susunan kabel longitudinal adalah :

### a) *Fan pattern* (pola kipas)

Pada beberapa literatur yang menyebutkan pola *Fan pattern* 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. Tipe *fan* hanya cocok untuk bentang menengah dengan jumlah kabel yang terbatas.

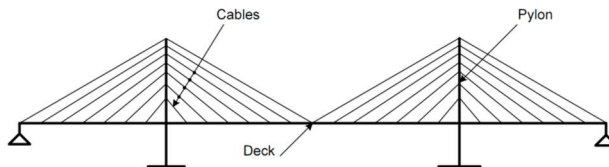


**Gambar 2. 12** Susunan kabel *fan pattern*

Sumber : (*E-Book Construction and Design of Cable-Stayed, Podolny & Scalzy, 1986*)

b) *Harp pattern* (pola kecapi)

Pada pola *harp*, susunan kabel dibuat saling berdekatan dan sejajar dengan meletakkannya pada titik yang berbeda antar satu dengan lainnya pada *pylon*. Kebutuhan akan tiang yang tinggi merupakan salah satu kekurangan dari jenis susunan ini pada jembatan *cabl stayed*.

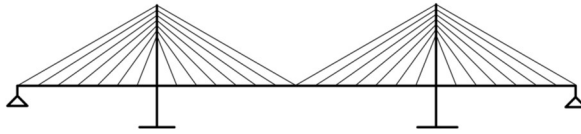


**Gambar 2. 13** Susunan kabel *harp pattern*

Sumber : (*E-Book Construction and Design of Cable-Stayed, Podolny & Scalzy, 1986*)

c) *Semi harp pattern* (pola setengah kecapi)

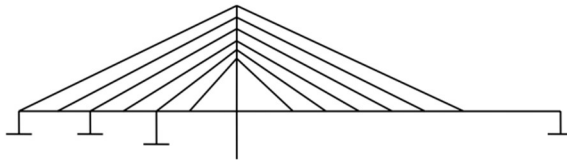
Pola ini adalah modifikasi dari pola *harp* dan *fan patter*. Dimana pada pola ini kabel akan dipasang secara menyebar pada bagian atas *pylon*. Pada sistem ini sudah yang dibentuk oleh kabel dan *pylon* lebih kecil dibandingkan pada tipe *harp* sehingga mengurangi kekakuan daru penghubung horizontal antara *pylon* dan pelat lantai



**Gambar 2. 14** Susunan kabel *semi-harp pattern*  
 Sumber : (E-Book Construction and Design of Cable-Stayed,  
 Podolny & Scalzy, 1986)

d) *Assymetric pattern* (pola tidak simetris)

Pola asimetris adalah susunan kabel yang biasanya digunakan apabila jembatan terpaksa dibangun dengan hanya menggunakan satu *pylon* dengan panjang bentang yang berbeda antara kiri dan kanan.



**Gambar 2. 15** Susunan kabel *assymetric pattern*  
 Sumber : (E-Book Construction and Design of Cable-Stayed,  
 Podolny & Scalzy, 1986)

b. *Asymmetric semi-harp pattern*

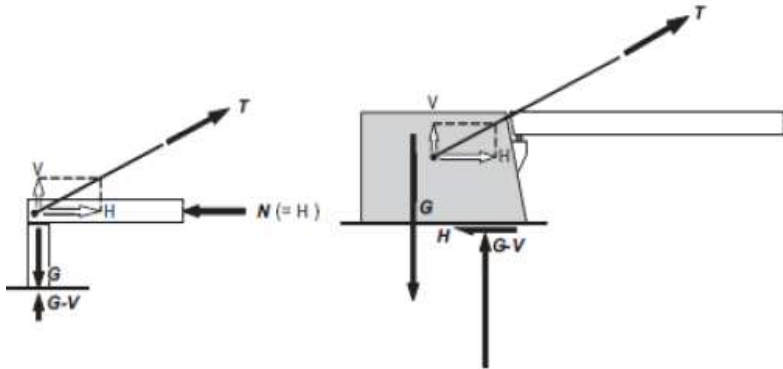
Sistem *assymetric pattern* selalu memiliki dua bentang yang berbeda, yaitu *main span* dan *side span*. Posisi *pylon* akan miring ke arah *side span* dikarenakan untuk menyeimbangkan tarikan yang terjadi pada sisi *main span*. Pada sistem ini juga digunakan *anchor block* untuk menyeimbangkan beban yang tidak seimbang pada sisi *main span*. Sistem ini diharapkan dapat menggunakan penyangga sementara untuk mengatasi ketidakseimbangan beban mati saat pelaksanaan. Penggunaan *anchor block* dengan berat sendiri yang cukup besar untuk nmelawan komponen vertikal dari

gaya kabel dan memberikan tekanan yang cukup pada pondasi untuk mencegah pergeseran akibat komponen horizontal dan gaya kabel. Posisi kemiringan *pylon* ke arah *side span* ditentukan dari resultan kekuatan aksial dari kabel dan berat mati dari jembatan (Throitsky, 1988). Di Indonesia contoh kombinasi *pylon* miring dan *block anchor* telah diterapkan pada jembatan Siak IV seperti **Gambar 2.16**.



**Gambar 2. 16** Jembatan Siak IV, Riau (2019)

Sumber : <https://www.gridoto.com/read/221667942/penantian-10-tahun-jembatan-siak-iv-pekanbaru-akhirnya-bisa-dilintasi-19-maret-2019?page=all>



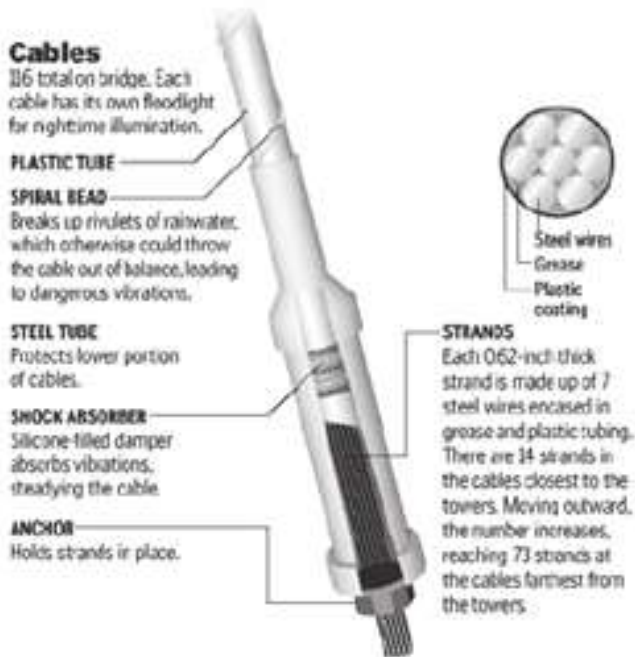
**Gambar 2. 17** Hubungan antara kabel sisi side span dan *anchor pier (self-anchored) (kiri)* dan *block anchored (earth-anchored system) (kanan)*

Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing, 2012)

c. Jenis Kabel

Kabel dapat tersusun satu atau lebih *structural rope*, *structural strands*, *locked coil strands* atau *parallel wire strands*. *Strands* merupakan gabungan dari wire yang dibuat mengelilingi *centre wire* dalam satu atau banyak lapisan yang simetris. *Strand* baik digunakan untuk menerima beban secara individu, dimana radius atau lengkungan bukanlah persyaratan utama, atau komponen dalam pembuatan *structural rope*. Pemilihan jenis kabel dipengaruhi pada segi pelaksanaan struktur dan keuangan.



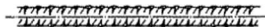
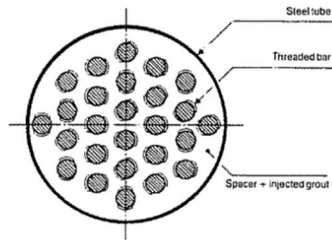


**Gambar 2. 18** Konfigurasi kabel (Haldania R,2007)

Dan berikut adalah jenis-jenis kabel yang sering digunakan pada konstruksi *cabl stayed* : (Walther,1999)

1. *Parallel-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 2.19**. Batang baja dapat bergerak bebas pada arah memanjang sehingga memungkinkan proses tensioning secara individual

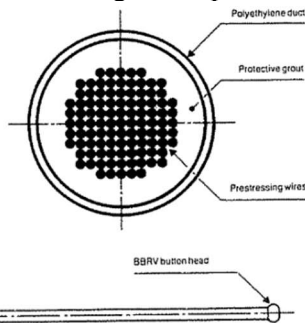


**Gambar 2. 19** *Parallel-bar cables*

*Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)*

2. *Parallel-wire cables*

Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang disusun dan disatukan yang membentuk seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.20**. Tendon-tendon tersebut kemudian ditempatkan pada selongsong logam atau *polyethylene* yang kemudian akan diisi dengan campuran semen.

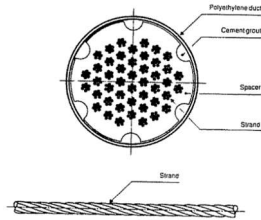


**Gambar 2. 20** *Parallel-wire cables*

*Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)*

3. *Stranded cables*

Ditunjukkan pada **Gambar 2.21**, jenis kabel ini merupakan selongsong kabel yang di dalamnya berisi bebrapa strand kabel. *Strand* kabel merupakan beberapa batang baja dengan diameter kecil yang disusun dan dipilin sehingga membentuk sebuah tendon



**Gambar 2. 21** Stranded cables

Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

#### 4. Locked-coil cables

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. Merupakan jenis kabel yang sering digunakan sebagai kabel vertical pada jembatan gantung dengan penampang pada **Gambar 2.22**.

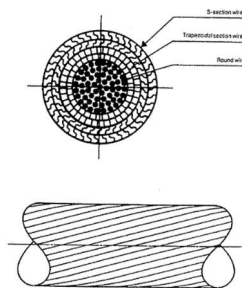


Fig 5.5 Locked-coil cable

**Gambar 2. 22** Locked-coil cables

Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

#### d. Angkur Kabel

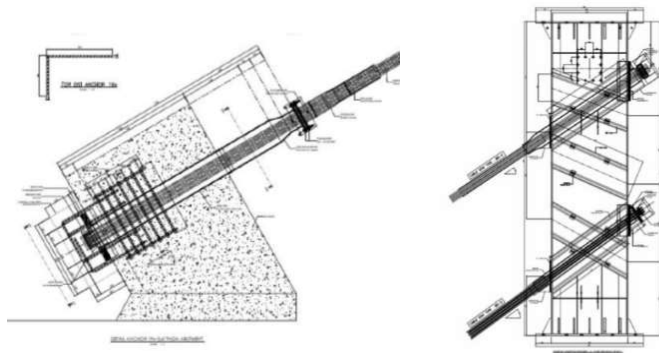
Angkur pada jembatan *cable stayed* berfungsi sebagai dukungan vertikal bagi gelagar, sehingga hampir semua beban vertikal bekerja pada ankur. Hal ini berbeda dengan sistem pratekan yang umumnya terletak di luar daerah kritis dan dengan variasi tegangan yang sangat kecil. Karena dari itu tegangan yang diijinkan untuk ankur jembarran *cable stayed* relatif kecil. Secara umum terdapat dua sistem pengangkuran pada jembatan *cable stayed*, yaitu :

a. Angkur Hidup

Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel dengan diberi tegangan. Angkur hidup biasanya diletakkan pada menara jembatan.

b. Angkur Mati

Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel tanpa diberi tegangan. Angkur mati biasanya diletakkan pada dek jembatan.



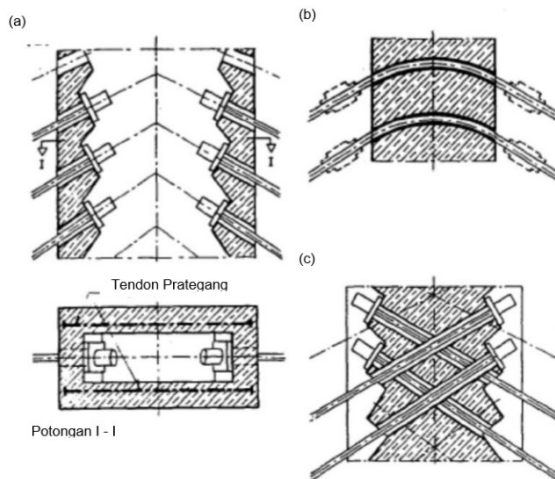
Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)

**Gambar 2. 23** Angkur mati (kiri) dan Angkur hidup (kanan)

Adapun posisi pengangkuran dibedakan menjadi :

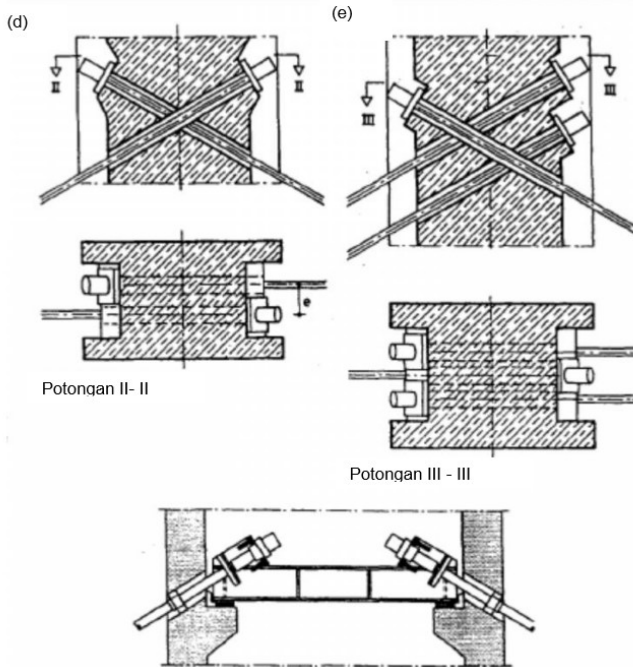
a Pengangkuran pada menara

Bagian dari kabel yang masuk ke dalam menara ditempatkan di dalam suatu pipa pengarah dari konstruksi baja menembus dari sisi *main span* ke sisi *side span* dan sebaliknya. Ada beberapa alternatif pengangkuran pada menara sebagaimana disajikan pada **Gambar 2.24** dan **Gambar 2.25**.



**Gambar 2. 24** Alternatif pengangkuran pada menara (a), (b), (c)

Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)

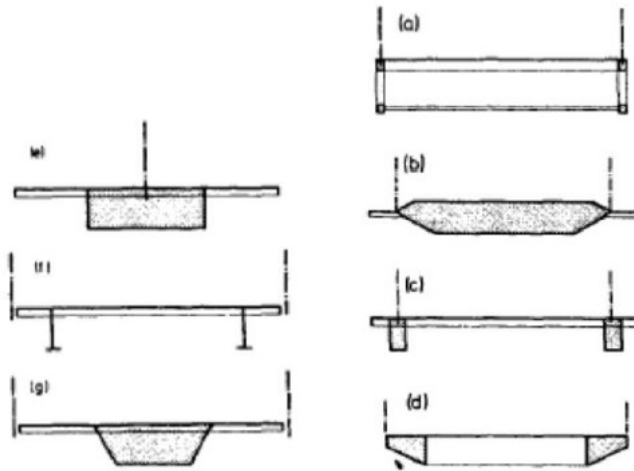


**Gambar 2. 25** Alternatif pengankuran pada menara (d), (e)  
(lanjutan)

*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

**b Pengankuran pada dek jembatan**

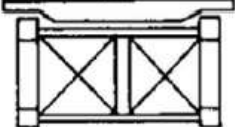
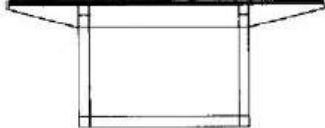
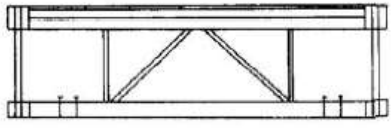
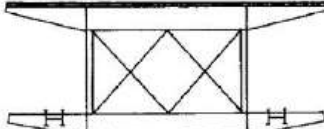
Aliran gaya sangat penting untuk diperhatikan dalam mendesain jembatan *cable stayed*. Pada kasus tertentu, kabel dapat langsung diangkurkan ke elemen utama dek jembatan, sedangkan pada kasus lain angkur harus diletakkan di luar elemen utama sehingga diperlakukan bracker khusus untuk menyalurkan gaya ke elemen utama dek jembatan yang disajikan pada **Gambar 2.26**.



**Gambar 2. 26** Lokasi pengangkuran pada dek jembatan  
*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

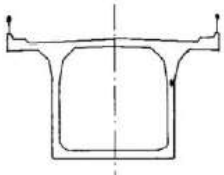
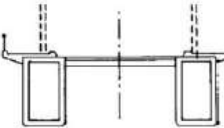
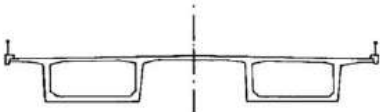
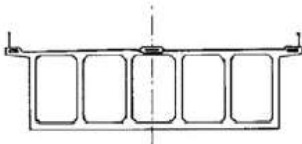

### 2.2.2 Lantai Kendaraan (*Bridge Deck*)

Bentuk gelagar jembatan *cable stayed* sangat bervariasi namun yang paling sering digunakan ada tiga jenis yaitu rangka pengaku baja (gambar 2.27), *solid web* beton (gambar 2.28), dan *solid web* baja (gambar 2.29). Pada awal perkembangan jembatan *cable stayed* modern, *stiffening truss* banyak digunakan tetapi saat ini tipe tersebut sudah jarang digunakan karena membutuhkan fabrikasi yang besar, perawatan yang relatif sulit, dan kurang menarik dari segi estetika.

No	Tipe jembatan	Penampang jembatan
1	Jalan raya	
2	Jalan raya dan kereta api	
3	Jalan raya dan kereta api	
4	Jalan raya dan kereta api	

**Gambar 2. 27** Gelagar jembatan dengan rangka pengaku  
*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*




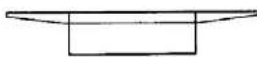

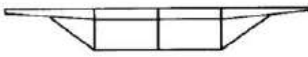
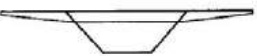


No	Komposisi	Penampang Jembatan
1	<i>Single Box Girder</i>	
2	<i>Twin Box Girder</i>	
3	<i>Twin Box Girder</i>	
4	<i>Multiple Box Girder</i>	
5	<i>Twin Trapezoidal Box Girder</i>	

**Gambar 2. 28** Gelagar jembatan dengan *solid web* beton  
*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

Gelagar yang tersusun dari *solid web* yang terbuat dari baja atau beton dapat berupa :

- a. Gelagar pelat (*plate girder*), terdiri atas dua atau banyak gelagar.

- b. Gelagar box (*box girder*), terdiri atas satu atau susunan box yang dapat berbentuk persegi panjang atau trapesium.

No	Komposisi	Penampang Jembatan
1	<i>Twin I Girder</i>	
2	<i>Single Rectangular Box Girder</i>	
3	<i>Central Box Girder dan Single Single Web Girder</i>	
4	<i>Single Twin Cellular Box Girder dan Sloping Struts</i>	
5	<i>Single Trapezoidal Box Girder</i>	
6	<i>Twin Rectangular Box Girder</i>	
7	<i>Twin Trapezoidal Box Girder</i>	

**Gambar 2. 29** Gelagar jembatan dengan *solid web baja*  
*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

Material struktur atas dapat terbuat dari beton, baja, dan komposit. Struktur atas terbuat dari beton biasanya digunakan untuk bentang sampai dengan 350 meter dengan pertimbangan biaya pelaksanaan yang lebih murah. Untuk bentang yang lebih

panjang, pemakaian beton pada gelagar jembatan akan menyebabkan penambahan berat sendiri yang pada akhirnya akan mempengaruhi dimensi elemen jembatan lain seperti kabel, *pylon*, dan pondasi. Dengan pertimbangan tersebut, pada bentang lebih dari 500 meter umumnya digunakan gelagar jembatan baja. Diantaranya dapat digunakan material komposit baja dan beton. kelebihan dari struktur komposit tersebut adalah kemudahan dalam hal pelaksanaan pekerjaan.

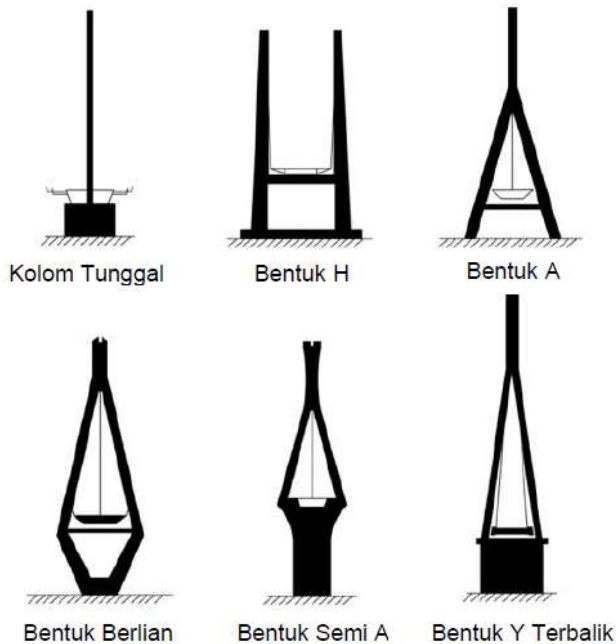
Gelagar jembatan merupakan elemen yang memiliki nilai kekakuan yang dapat menerima beban jembatan terutama kapasitas lentur lantai jembatan. Pengurangan jumlah kabel penggantung dapat mengakibatkan kebutuhan penampang gelagar jembatan semakin besar. Kekakuan dari gelagar jembatan ditentukan oleh dimensi dari gelagar itu sendiri. Semakin besar penampang gelagar jembatan maka berat sendiri struktur lantai semakin besar.

### 2.2.3 Menara/*pylon*

Perencanaan menara merupakan hal yang sangat penting dan mendasar yang akan mempengaruhi estetika, keekonomisan serta perilaku struktur dari jembatan. Menara jembatan *cable stayed* menahan tekanan tinggi karena memikul hampir semua berat sendiri/tetap dan beban hidup yang berada pada struktur. Menara jembatan umumnya langsing sehingga stabilitas menjadi dominan. Menara akan menerima gaya dari gelagar yang disalurkan melalui kabel.

Bentuk dasar menara jembatan beruji kabel ada beberapa macam, seperti ditampilkan pada **Gambar 2.30**. Adapun pemilihan bentuk menara ditentukan oleh konfigurasi kabel, bentang jembatan, dan aspek estetika.

Tinggi menara ditentukan dari beberapa aspek seperti bentang jembatan, lay-out kabel, jumlah kabel dan aspek estetika. Sebagai acuan awal dalam penentuan panjang kabel adalah didasarkan dari fungsi bentang utama dan tinggi menara dari elevasi dek jembatan. Rasio antara bentang terpanjang dan tinggi menara dari elevasi gelagar jembatan adalah 0.19-0.25.



**Gambar 2. 30** Bentuk dasar menara jembatan cable stayed  
*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

#### 2.2.4 Tipe Hubungan Jembatan *Cable Stayed*

Umumnya jembatan *cable stayed* mempunyai *expansion joint* pada ujung-ujung gelagar, sehingga dek jembatan bebas bergerak

dalam arah memanjang. Gaya aksial terbesar pada gelagar jembatan terjadi pada pertemuan gelagar dengan menara. Untuk meminimalkan pengaruh gaya aksial tersebut pada menara, maka gelagar jembatan dibuat menerus. Tidak digunakan tumpuan vertikal pada pertemuan gelagar jembatan dengan menara juga akan mengurangi momen yang terjadi pada menara. Akan tetapi karena struktur *cable stayed* memiliki kekakuan yang kurang baik dalam arah lateral, maka pada pertemuan gelagar jembatan dengan menara diberikan tumpuan dalam arah lateral. Dalam kondisi normal, menara terbebas dari gaya aksial pada gelagar. Akan tetapi pada kondisi gempa, menara diharapkan mampu menahan gaya lateral akibat gempa. Untuk itu pada pertemuan antara gelagar dan menara dipasang *Seismic Dumper* yang hanya akan bekerja pada saat gempa terjadi.

Menurut Peraturan PU No.08/SE/M/2015, terdapat tiga tipe hubungan antara menara dan gelagar lantai yaitu :

- a. Gelagar merupakan kesatuan monolitik dengan menara, dengan keuntungan besarnya momen berkurang.
- b. Gelagar melayang melalui menara, struktur tidak tertahan mempunyai keuntungan pengaruh rangkai-susut, perubahan temperatur dan gempa berkurang.
- c. Gelagar berada di atas perletakan di menara, dengan keuntungan struktur lebih banyak tumpuan.

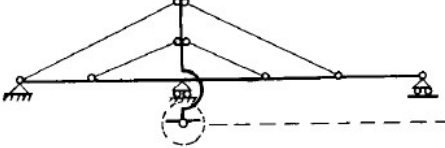
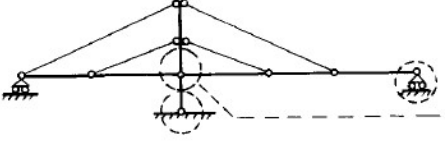
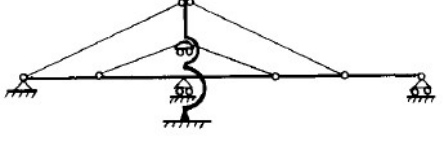
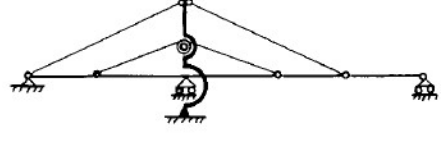
#### 2.2.5 Perletakan Jembatan

Dalam desain jembatan *cable stayed* terdapat banyak kemungkinan dalam menentukan perletakan pada abutmen maupun pada *pylon*, hal ini akan berpengaruh pada struktur jembatan *cable stayed*. Berbagai macam peletakan pada jembatan

*cable stayed* (Menurut Troitsky M.S) akan ditampilkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Macam-macam perletakan jembatan *cable stayed*

No.	Sistem perletakan
1	
2	
3	
4	

5	
6	
7	
8	

### 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. Angin lateral yang terjadi membuat sudut terhadap horizontal sehingga menimbulkan efek angkat, maka dari itu jembatan *cable-stayed* tidak boleh terlalu ramping. Tacoma *Bridge* adalah contoh kegagalan struktur *cable-stayed* dimana strukturnya terlalu langsing dengan bentang  $L=853$  m dan lebar kendaraan  $B=12$  m. (Soegihardjo, 2007) pada **Gambar 2.31**.



**Gambar 2. 31** Greak torsi Jembatan Tacoma sesaat sebelum runtuh, 7 Nopember 1940

*Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing,2012)*





**Gambar 2. 32** Keruntuhan Jembatan Tacoma  
*Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing, 2012)*

Pada bagian struktur yang dikenai gaya angin akan terjadi gaya statis yang terbagi menjadi 3, yaitu

1. Gaya horizontal (T)
2. Gaya vertikal (N)
3. Momen torsi (M)

Adapun fenomena aerodinamik pada dek jembatan bentang panjang adalah sebagai berikut.

### 1. *Vortex-shedding* (Pusaran Angin)

Terjadinya fenomena *vortex-shedding* **Gambar 2.33** 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. Fenomena ini umumnya terjadi pada kecepatan angin rendah. Angin yang berhembus ke dek jembatan akan menimbulkan pusaran di belakang dek jembatan. Jika frekuensi dari pusaran angin tersebut sama dengan salah satu frekuensi alamiah dari dek jembatan atau kabel, maka akan terjadi resonansi sehingga amplitudo getaran dari dek jembatan akan membesar.

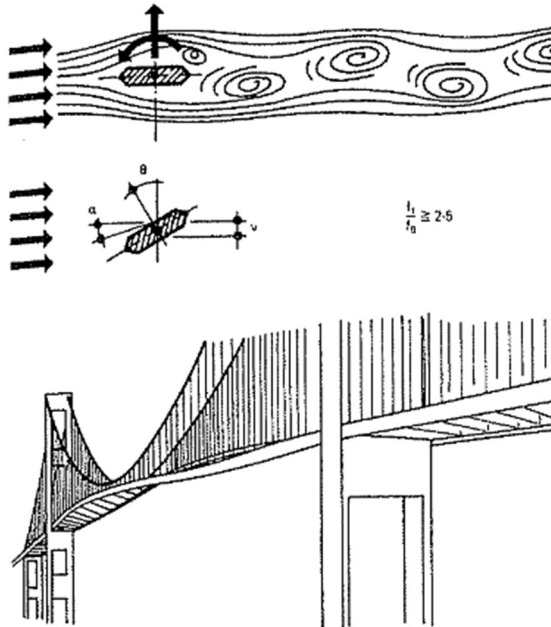


**Gambar 2. 33** Proses terbentuknya pusaran angin.

*Sumber : (E-book Cable Stayed Bridges, M.S. Troitsky ,1988)*

### 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. 34** Deskripsi Fenomena Flutter  
 Sumber : (*E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999*)

Deskripsi fenomena *flutter* dapat dilihat pada **Gambar 2.34**. 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 :

1. *Staging method,*
2. *Push out method,*
3. *Cantilever method.*

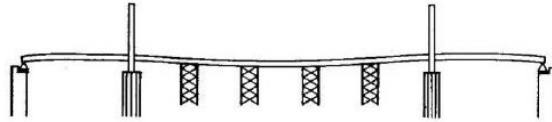
#### 2.4.1 Staging

Metode staging biasanya digunakan pada lokasi jembatan dengan lalu lintas yang tidak terlalu padat dan tinggi bebasnya memungkinkan untuk pemasangan menggunakan perancah. Keuntungan menggunakan metode staging adalah:

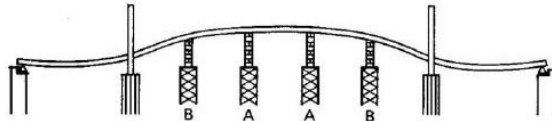
1. Teliti dalam mengikuti bentuk geometrik dan tanjakan yang dipersyaratkan pada *erection*.
2. Biaya rendah pada ruang bebas yang rendah.
- 3.

Urutan pelaksanaannya menggunakan metode staging adalah :

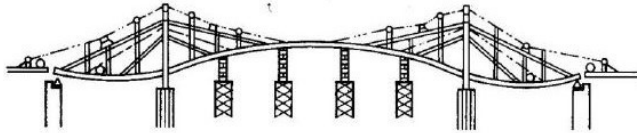
1. Setelah tembok pangkal dan pilar selesai dibuat, mulai dibuat pilar penolong sementara.
2. Gelagar dipasang dengan sistem *cantilevering*, sampai pada pilar penolong.
3. Pada saat itu pilar penolong berikutnya sudah selesai dan gelagar dapat dipasang terus sampai pada pilar penolong kedua.
4. dan seterusnya, sampai seberang.
5. Berat tiap bagian gelagar dapat mencapai : 27,5 ton ; dengan panjang : 20m.
6. *Pylon* diselesaikan pemasangannya.
7. Kabel-kabel dipasang.
8. Pada pilar penolong dapat dipasang *jack*, untuk memberi bentuk geometrik yang ditentukan, pada tahap *erection*.



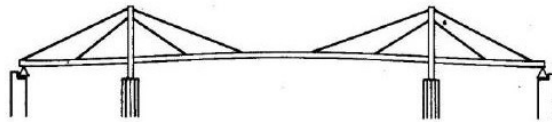
1. Installation of main girder and tower



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



3. Installation of cables



4. Jacks were released

**Gambar 2. 35** Prosedur pelaksanaan metode staging.

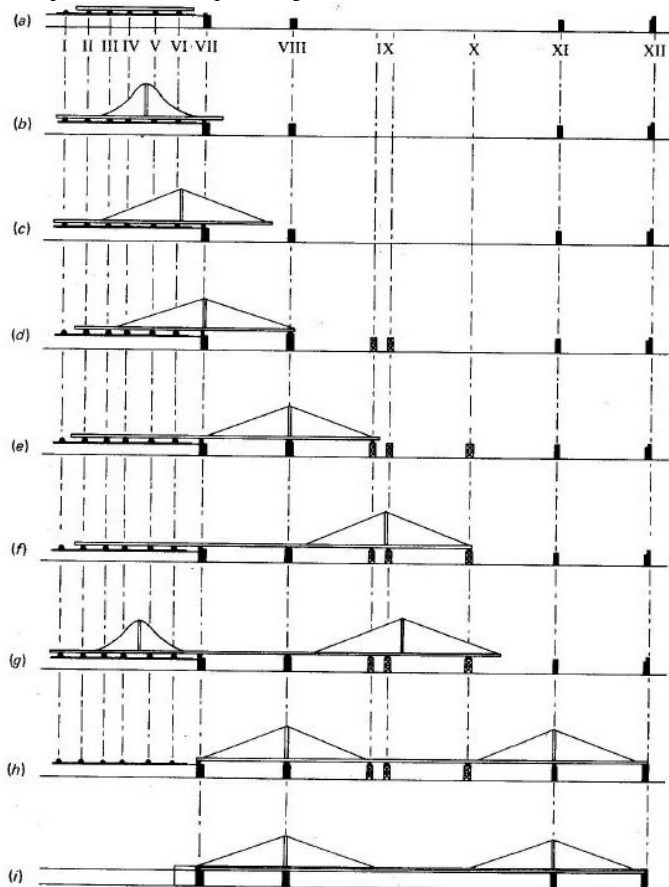
Sumber : (Materi Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang, Sugihardjo H. DKK, ed. Mei-2007)

#### 2.4.2 Push On Method

Metode ini dipakai terutama bila lalu lintas 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.

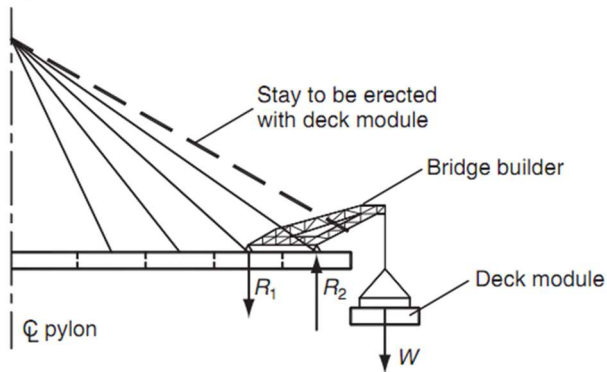


**Gambar 2. 36** Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out  
 Sumber : (Materi Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang,  
 Sugihardjo H. DKK, ed. Mei-2007)

*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.

### 2.4.3 *Cantilever Method*

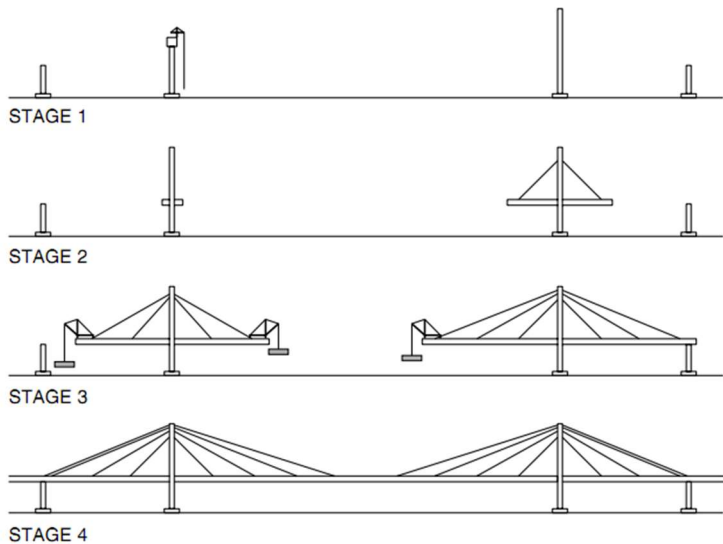
Pelaksanaan menggunakan metode kantilever biasanya digunakan untuk struktur jembatan dengan material beton atau baja dengan tinggi bebasa yang besar sehingga kurang memungkinkan untuk penggunaan perancah. Untuk jembatan dengan gelagar utama dari material beton urutan pekerjaan dimulai dengan pemasangan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



**Gambar 2. 37** Metode pelaksanaan kantilever

Sumber : (Manual of bridge engineering, Parke & Hewson N. 2008)

Proses tersebut dilangi 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.



**Gambar 2. 38** Metode pelaksanaan kantilever  
*Sumber : (E-book Cable Supported Bridges, Niels J. Gimsing, 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 :



ERECTION STAGE	OPERATION	CALCULATION STEP	STRUCTURAL SYSTEM
n-6		7	6-7
n-5		6	
n-4		5	4-5
n-3		4	
n-2		3	2-3
n-1		2	
n		1	1 FINAL SYSTEM

**Gambar 2. 39** Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan urutan pelaksanaan.

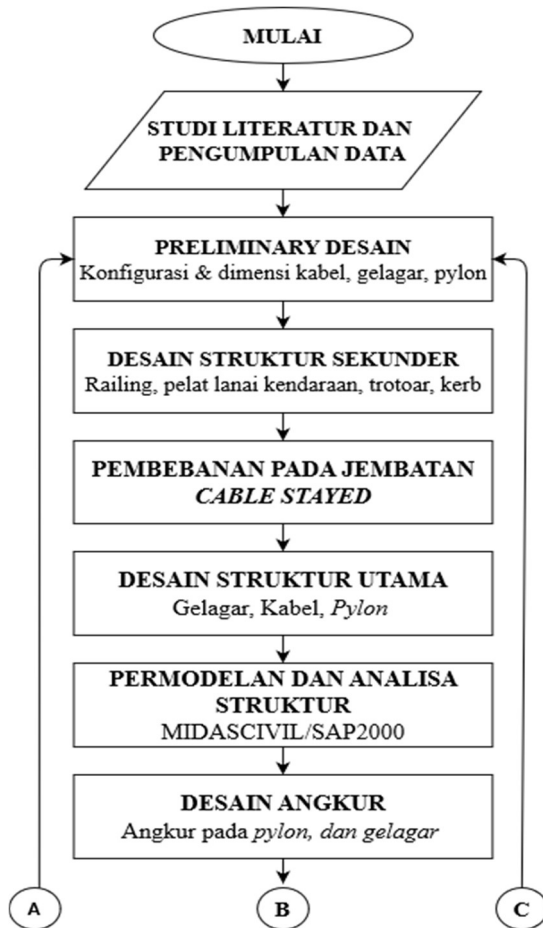
Sumber : (Materi Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang, Sugihardjo H. DKK, ed. Mei-2007)

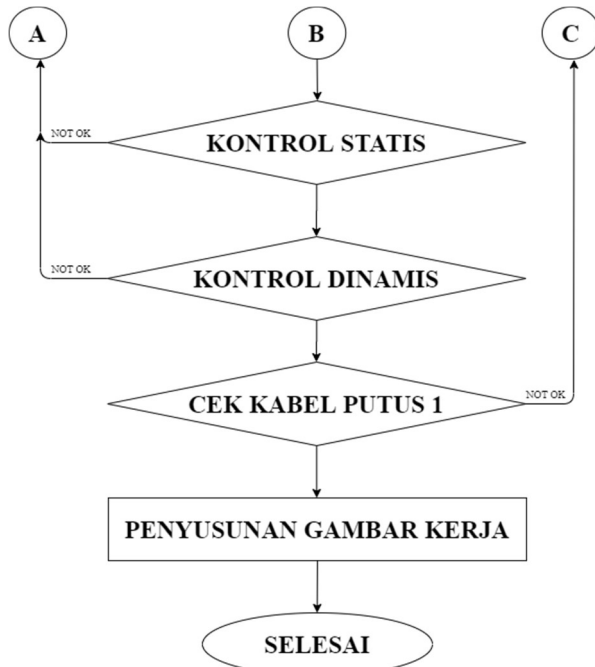
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir

Diagram alir modifikasi jembatan sembayat I dapat dilihat pada Gambar 3.1.





**Gambar 3. 1** Diagram alir  
*Sumber : Dokumen pribadi*

### 3.2 Studi Literatur

Untuk mempermudah dalam memahami mengenai jembatan *cable stayed*. Langkah pertama yang dilakukan penulis yaitu mencari dan mempelajari secara singkat mengenai sistem struktur, konsep arsitektur, dan pemilihan lokasi yang tepat, pertimbangan pemilihan design. Hal ini dipelajari dari beberapa jurnal dan TA sebelumnya, diantaranya :

1. Prihantono, Anshar Adi. 2018. Desain Modifikasi Struktur Jembatan Ngujang II Menggunakan *Cable Stayed Asymmetric* dan *Box Girder* Pratekan.

2. Yudhanto, Ashando Hario. 2017. Modifikasi Perencanaan Jembatan Mahakam Menggunakan Sistem Cable Stayed dengan Tqo Vertical Planes Semi Harp.
3. Alrasyidi, Mohammad Akbar. 2017. Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan *Assymmetric Cable Stayed System* dan *Prestressed Concrete Segmental Box Girder*.
4. Juan J. Jorquera-Lucerga. 2016. *Structural Behavior of non-Symmetrical Steel Cable-Stayed Bridges*.

Langkah kedua yaitu mempelajari literatur-literatur resmi atau buku. Selain buku atau materi mengenai desain struktur jembatan *cable stayed* juga digunakan peraturan-peraturan yang berlaku dalam negeri mengenai desain struktur jembatan *cable stayed*.

Berikut adalah buku-buku dan materi yang dijadikan sebagai literatur dalam melakukan desain jembatan *cable stayed* :

1. E-Book- *Cable Supported Bridges Concept and Design, Third Edition (2012-* Niels J. Gimsing, Christos T. Georgakis (auth.)
2. E-Book- *Bridge Engineering Handbook Superstructure Design, Second Edition (2014 –* Wai-Fah Chen and Lian Duan)
3. E-Book- *Cable Stayed Bridges- Thomas Telford Publishing (1999-* Rene Walther)
4. E-Book- *Cable Stayed Bridges Theory and Design, Second Edition-* (1988- M.S. Troitsky)

Sedangkan peraturan-peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel”.
2. SNI 1725 2016 tentang “Pembebanan untuk Jembatan”
3. SNI 2833 2016 tentang “Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa”
4. RSNI T-12-2004 tentang “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”

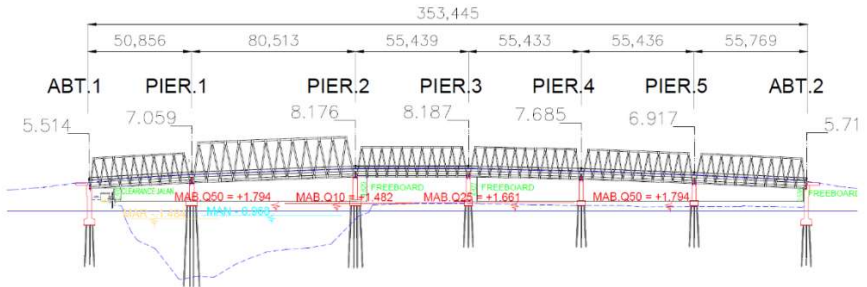
### 3.3 Pengumpulan Data

Setelah melakukan studi literatur, maka langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan desain jembatan *cable-stayed*. Data yang dikumpulkan berupa data sekunder yang meliputi :

1. Data layout dan geometrik sungai.
2. Data tanah.
3. Data jembatan Sembayat I rangka baja.

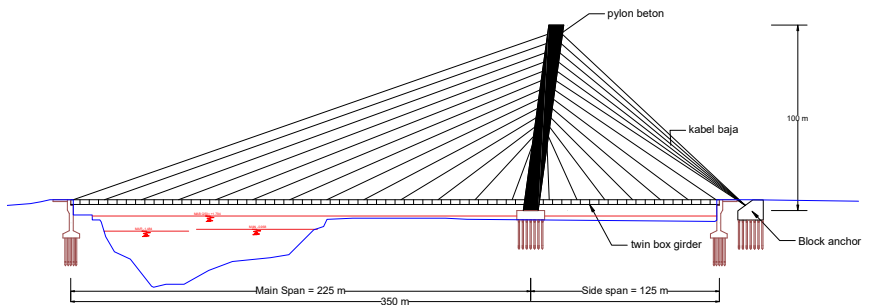
Berikut adalah data mengenai jembatan sembayat I :

1. Nama dan Lokasi : Jembatan Sembayat I, Kecamatan Manyar – Gresik.
2. Bentang kondisi *existing* : 354 m (50.85 m + 80.5 m + 55.43 m + 55.43 m + 55.43 m + 55.8 m )
3. Lebar pada kondisi *existing* : 7 m
4. Jumlah abutmen *existing* : 2
5. Jumlah pilar *existing* : 5
6. Material *existing* : Struktur Rangka Baja (dengan rangka baja terpanjang sebesar 80.5 m)



**Gambar 3. 2** Potongan memanjang jembatan Sembayat I  
(existing)

Sumber : Dokumen pribadi



**Gambar 3. 3** Rencana Potongan memanjang jembatan sembayat I

Sumber : Dokumen pribadi

1. Nama dan Lokasi : Jembatan Sembayat I, Kecamatan Manyar – Gresik.
2. Bentang kondisi rencana : 225 (main span), 125 (side span)
3. Lebar pada kondisi rencana : 17.5 m total, 11 m lebar jalan
4. Jumlah abutmen rencana : 2, 1 Block Anchor.
5. pylon rencana : inclined A pylon

6. Material rencana :
- Struktur atas berupa (*Steel twin box girder*).
  - *Pylon* Menggunakan Beton mutu tinggi
  - Sistem kabel *semi harp-pattern*.

### 3.4 Preliminary Design

Langkah awal dalam mendesain sebuah struktur jembatan adalah melakukan *preliminary design*. Dalam *preliminary design*, ditentukan dimensi awal dari masing-masing elemen struktur jembatan. Penentuan ini berdasarkan kaidah-kaidah yang berlaku seperti peraturan-peraturan yang berlaku dan literatur yang berasal dari buku. Hal-hal yang mencakup *preliminary design* geometris jembatan meliputi: penentuan panjang jembatan, penentuan lebar dan jumlah jalur jalan, penentuan elevasi jembatan, dan pengaturan *pylon*, sedangkan hal-hal yang mencakup *preliminary design* elemen struktur jembatan *cable stayed* meliputi:

#### 3.4.1 Susunan Kabel

Dalam tugas akhir ini susunan kabel untuk arah melintang berupa *two inclined planes system*. Sedangkan untuk arah memanjang berupa *semi-harp pattern* yang merupakan pengembangan dari *fan pattern* dan *harp pattern*. Adapun jarak kabel pada gelagar menurut (Walther dkk, 1999) adalah sebagai berikut.

- a. Jika berupa gelagar baja maka jaraknya ( 15 m s.d. 25 m)
- b. Jika berupa gelagar beton maka jaraknya ( 5 m s.d. 10 m)

#### 3.4.2 Dimensi Kabel

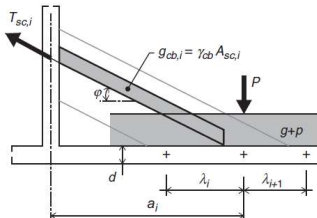
Menurut peraturan PU No.08/SE/M/2015 *preliminary* dimensi awal kabel dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :



$$A_{sc,i} \cong \frac{\left(g + p + \frac{p}{30d}\right) (\lambda_i + \lambda_{i+1}) \cos\phi_i}{2(f_{cbd} \sin\phi_i \cos\phi_i - \gamma_{cb} a_1)} \quad (3.1)$$

Keterangan :

- $A_{sc,i}$  adalah luas penampang kabel ke- $i$
- $g$  adalah beban mati merata
- $p$  adalah beban hidup merata
- $d$  adalah tinggi gelagar jembatan
- $\lambda_i$  adalah jarak antar kabel
- $\phi_i$  adalah sudut kabel ke  $i$  terhadap bidang horizontal
- $\gamma_{cb}$  adalah berat jenis kabel
- $f_{cbd}$  adalah tegangan inin pada kabel
- $a_1$  adalah jarak kabel  $i$  ke *pylon*

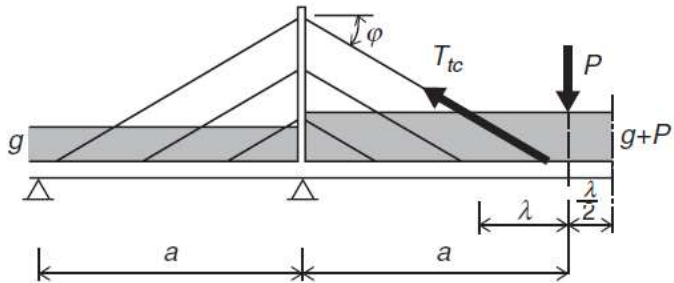


**Gambar 3. 4** preliminary design kabel  
 Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)

Untuk *preliminary* kabel paling atas ditentukan berdasarkan karakteristik jembatan yang digunakan.

- a. Jembatan dengan gelagar kaku

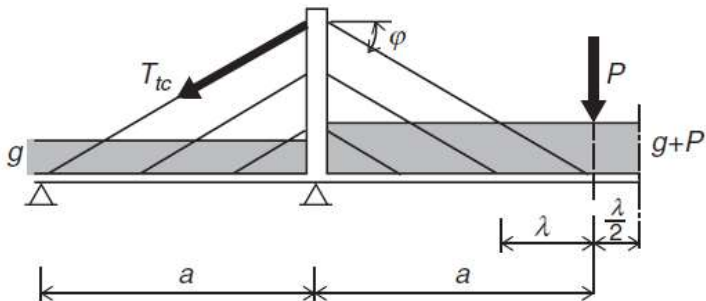
$$A_{sc,i} \cong \frac{(g + p)\lambda + 0.25p \cdot a + p}{f_{cbd} \sin\phi_i \cos\phi_i - \gamma_{cb} a_1} \quad (3.2)$$



**Gambar 3. 5** Kasus gelagar kaku  
 Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)

b. Jembatan dengan menara kaku

$$A_{sc,i} \cong \frac{(g + p)\lambda + 0.5p \cdot a + p}{f_{cbd} \sin \phi_i \cos \phi_i - \gamma_{cb} a_1} \quad (3.3)$$



**Gambar 3. 6** Kasus menara kaku  
 Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan akibat berat sendisri. Tetapi dalam analisa dapat digunakan kabel yang lurus dengan koreksi pada nilai modulus elastisitasnya sesuai dengan formula berikut (Walther dkk,1999) :

$$E_{\text{eff}} = E_0 \frac{1}{1 + \frac{\gamma^2 L_h^2 E_0}{12\sigma^3}} \quad (3.4)$$

Keterangan :

- $E_{\text{eff}}$  : modulus elastisitas efektif kabel (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_0$  : modulus elastisitas dari material kabel (N/mm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : berat jenis dari material kabel tetap (N/mm<sup>3</sup>)
- $L_h$  : jarak titik gantung kabel (mm)
- $\sigma$  : tegangan tarik dalam kabel (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.4.3 Preliminary Design Gelagar

Besaran berikut dapat digunakan sebagai perkiraan awal untuk memperkirakan berat gelagar lantai jembatan *cable stayed*: (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)

- a. Gelagar baja : 2.5-3.5 kN/m<sup>2</sup>, misalnya boks baja, rangka baja.
- b. Gelagar komposit : 6.5-8.5 kN/m<sup>2</sup>, misalnya boks dengan *flens* beton dan badan dari komponen rangka baja.
- c. Gelagar beton : 10-15 kN/m<sup>2</sup>, misalnya boks beton.

Perhitungan berat sendiri mencakup semua batang rangka ditambah perkiraan presentase 30% untuk ikatan pengaku, pelat simpul, sambungan kopel, dan baut. Dalam tugas akhir ini digunakan *steel twin box girder*.

Menurut Podolny (1986) 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 sebagai berikut :

$$h = \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \quad (3.5)$$

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

$$d = \frac{L}{12} \quad (3.6)$$

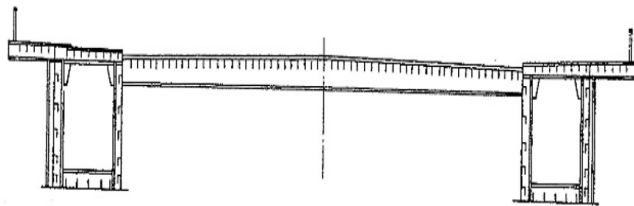
Untuk dimensi gelagar melintang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{L}{9} \quad (3.7)$$

Untuk menentukan dimensi gelagar melintang kantilever dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{L}{6} \quad (3.8)$$

Bentuk gelagar jembatan di desain menggunakan *steel twin box girder* seperti pada **Gambar 3.7**.



**Gambar 3.7** *Steel Twin Box Girder*

#### 3.4.4 Preliminary Design Pylon

Menurut peraturan PU No.08/SE/M/2015 dijelaskan bahwa perkiraan awal tinggi *pylon* yaitu sebesar 0.19-0.25 dari bentang jembatan terpanjang.

Dalam desain modifikasi ini dikarenakan menggunakan *cable stayed* asimetris, maka panjang bentang yang dipikul 1 *pylon* menjadi 2 kali jembatan *cable stayed* simetris, sehingga nilai perbandingan antara tinggi rencana dengan panjang bentang utama dapat dikalikan 2 menjadi 0.38-0.5. Menurut pasal 11.2.1 Peraturan PU No.08/SE/M/2015 dalam menentukan dimensi awal *pylon* dengan konfigurasi kabel arah memanjang pola *semi-harp*, perlu dihitung perkiraan gaya maksimum yang bekerja pada *pylon* sebagai berikut:

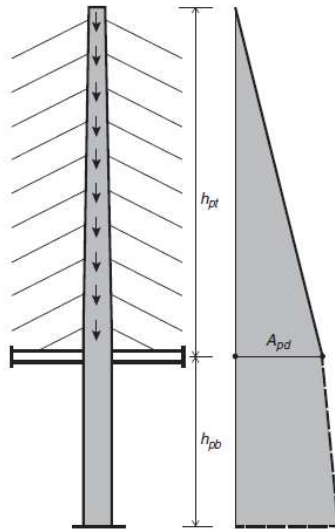
$$N_{pt} = 0.5(g + p)a_m \frac{a_m + a_a}{a_a} + \frac{a_m + 2a_a}{2a_a} Q_{Hm} + 0.5Q_{Ha} + Q_{pt} \quad (3.9)$$

Keterangan :

$Q_{Ha}$  adalah kuantitas dari kabel di bentang tepi untuk jembatan tipe harpa.

$Q_{Hm}$  adalah kuantitas dari kabel di bentang tengah untuk jembatan tipe harpa.

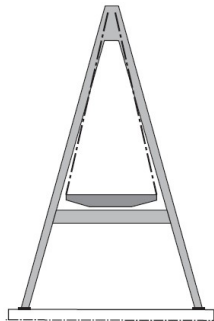
$Q_{pt}$  adalah kuantitas dari kabel paling atas.



**Gambar 3. 8** Variasi dimensi menara jembatan *cable stayed* tipe harpa

*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

Bentuk *pylon* di desain menggunakan inclined A *pylon* seperti pada **Gambar 3.9**.



**Gambar 3. 9** *pylon A*

*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

$A_{\text{perlu}}$  adalah Luas penampang *pylon*

$T$  adalah Gaya aksial total pada *pylon*

### 3.5 Pembebanan

Peraturan pembebanan yang digunakan dalam desain jembatan *cable stayed* adalah peraturan SNI 1725-2016 mengenai pembebanan untuk jembatan. Adapun beban-beban yang akan direncanakan meliputi :

#### 3.5.1 Beban Permanen

Pada beban permanen jembatan terdiri dari :

1. Berat Isi untuk Beban Mati

Dalam SNI 1725-2016 mensyaratkan massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian tersebut merupakan massa dikalikan percepatan gravitasi sebesar  $9.81 \text{ m/s}^2$ . Adapun besarnya massa dan berat isi diberikan pada tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Berat isi material untuk jembatan

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m <sup>3</sup> )	Kerapatan Massa (Kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal	22.0	2245
2	Besi tulangan	71.0	7240

3	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2315
5	Beton aspal	22.0	2245
6	Beton ringan	12.5-19.6	1250-2000
7	Beton $f_c' < 35$ MPa	22.0-25.0	2320
8	Beton 35 MPa $< f_c' < 105$ MPa	$22 + 0.022 f_c'$	$220 + 2.29 f_c'$
9	Baja	78.5	7850
10	Kayu (ringan)	7.8	800
11	Kayu (keras)	11	1125

## 2. Berat Sendiri

Berat sendiri dalam struktur jembatan merupakan berat dari elemen-elemen struktural dan juga elemen-elemen lain yang ditopang oleh jembatan. Adapun faktor beban untuk berat sendiri diberikan pada tabel 3.2.

**Tabel 3. 2** Faktor beban untuk beban permanen

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan batas layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan batas ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1.00	1.10	0.90
	Alumunium	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



### 3. Berat Mati Tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural. Dan besarnya dapat berubah. Faktor beban mati tambahan diberikan pada tabel 3.3.

**Tabel 3. 3** Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan batas layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Keadaan batas ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1.00 <sup>(1)</sup>	2.00	0.70
	Khusus (Terawasi)	1.00	1.40	0.80

Catatan<sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1.3 digunakan untuk berat utilitas

#### 3.5.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar lajur kendaraan. Sementara beban truk “T” merupakan satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” ditetapkan per jalur lalu lintas rencana.

##### 1. Lajur Lalu Lintas Rencana

Sesuai SNI 1725-2016 pasal 8.2 jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan dapat dilihat dalam tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Ketentuan jumlah lajur jembatan

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua arah, tanpa median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
Dua arah, dengan median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10750$	3
	$11000 \leq w \leq 13500$	4
	$13750 \leq w \leq 16250$	5
	$w \geq 16500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang. Catatan (2) : lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah		

## 2. Beban Lajur

Beban lajur “D” terdiri dari beban BTR (Beban Terbagi Rata), dan beban BGT (Beban Garis Terpusat). Adapun

faktor yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti tabel 3.5.

**Tabel 3. 5** Faktor beban untuk beban lajur "D"

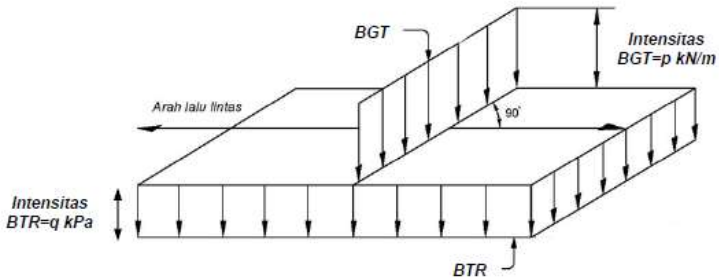
Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas layan ( $\gamma_{TD}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TD}^U$ )
Transien	Beton	1.00	1.80
	Boks Girder Baja	1.00	2.00

i. Intensitas beban "D"

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  (kPa) dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  yaitu sebagai berikut :

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9.0 \text{ kPa} \quad (3.11)$$

$$\text{Jika } L \geq 30 \text{ m : } q = 9.0 \left( 0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3.12)$$



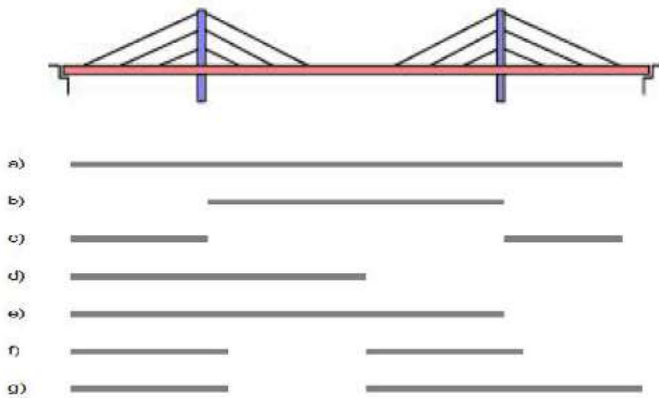
**Gambar 3. 10** Beban Lajur "D"

Sumber : (SNI 1725-2016)

Sedangkan untuk beban garis terpusat (BGT) besarnya adalah 49.0 kN/m dan ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan, seperti gambar 3.10.

ii. Distribusi Beban “D”

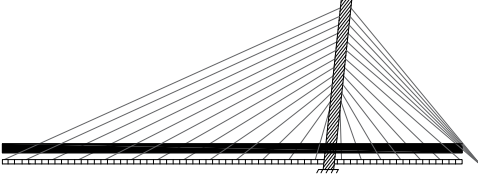
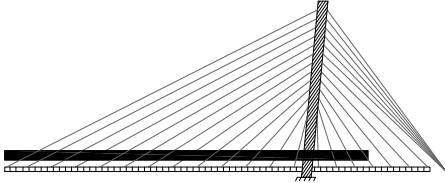
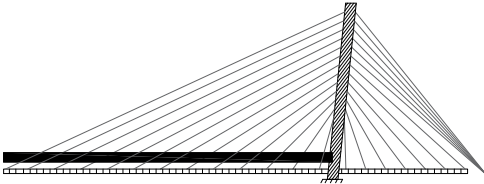
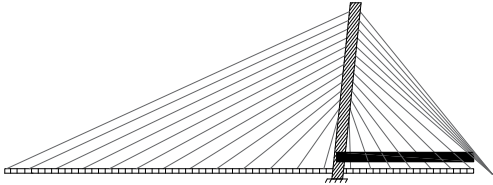
Untuk jembatan *cable stayed* distribusi bebab “D” dijelaskan dalam pasal 10.1 Peraturan PU No. 0.8/SE/M/2015 sebagai berikut :

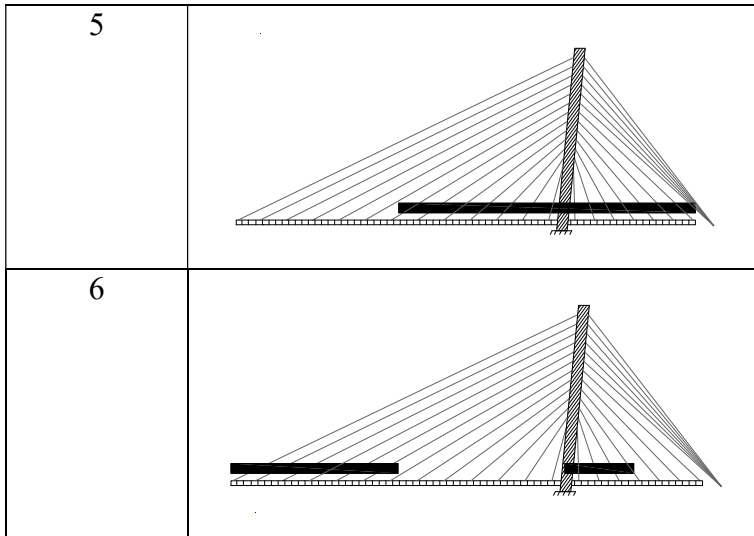


**Gambar 3. 11** Konfigurasi beban hidup  
*Sumber : (Peraturan PU No.08/SE/M/2015)*

Pada tugas akhir ini digunakan konfigurasi beban hidup seperti pada tabel 3.6.

**Tabel 3. 6** Konfigurasi beban hidup pada jembatan

Konfigurasi	Gambar
1	
2	
3	
4	



### 3. Beban Truk

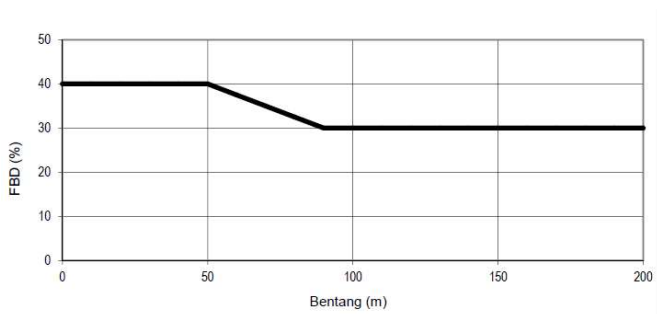
Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban lajur “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” diberikan pada tabel 3.6.

**Tabel 3. 7** Faktor beban untuk beban Truk "T"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas layan ( $\gamma_{TT}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TT}^U$ )
Transien	Beton	1.00	1.80
	Boks Girder Baja	1.00	2.00

Untuk besarnya pembebanan truk “T”, diklasifikasikan pada gambar berikut : (SNI 1725-2016 pasal 8.4.1)





**Gambar 3. 13** Faktor beban dinamis untuk Truk "T" untuk pembebanan lajur "D"  
*Sumber : (SNI 1725-2016)*

#### 5. Gaya Rem (TB)

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.7, gaya rem harus diambil terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain, atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

Gaya rem tersebut ditempatkan di semua jalur rencana yang dimuati sesuai dengan pasal 8.2 SNI 1725-2016 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang [a;ing menentukan.

#### 6. Pembebanan untuk Pejalan Kaki

Semua komponen trotoar yang lebih besar dari 600 mm direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing jalur kendaraan.



## 7. Beban Akibat Tumbukan Kendaraan

Untuk jembatan yang apabila tidak diberikan pelindung, maka semua kepala jembatan dan pilar dalam jarak 9000 mm dari tepi jalan, atau dalam jarak 15000 mm dari sumbu rel harus direncanakan untuk mampu memikul beban tarik ekuivalen sebesar 1800 kN. beban tersebut diasumsikan bekerja pada ketinggian 1200 mm di atas permukaan tanah.

### 3.5.3 Aksi Lingkungan

Beban aksi lingkungan juga berpengaruh pada struktur jembatan. Aksi lingkungan tersebut diantaranya adalah pengaruh angin, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Penentuan beban-beban akibat aksi lingkungan ini didasarkan pada pasal 9 SNI 1725-2016 sebagai berikut:

#### 1. Beban Angin

##### i. Tekanan angin horizontal

Tekanan angin yang ditentukan untuk angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_b$ ) sebesar 90-126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. (SNI 1725-2016 pasal 9.6.1)

##### ii. Tekanan angin vertikal

Pada pasal 9.6.2 SNI 1725-2016 menyatakan bahwa jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9.6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk keadaan batas III dan layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan di mana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal yang ditentukan dalam poin sebelumnya.

## 2. Beban Gempa

Analisa beban gempa untuk jembatan mengacu pada SNI 2833 tahun 2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Pemilihan metode analisis gempa dijelaskan dalam pasal 6.3 SNI 2833-2016.

### 3.5.4 Pembebanan *Railing*

*Railing* berfungsi untuk memberikan rasa aman kepada pengguna jalan. Pada pasal 11 SNI 1725-2016 menyatakan bahwa seluruh sistem lalu lintas, *railing*, dan *railing* kombinasi dan geometrik harus tahan terhadap benturan kendaraan. Salah satu kinerja berikut yang harus ditentukan untuk perencanaan pengaman lalu lintas yaitu sebagai berikut :

Kinerja 1      Digunakan pada jalan dengan kecepatan rencana rendah dan volume kendaraan yang

- sangat rendah, jalan lokal dengan kecepatan rendah.
- Kinerja 2 Digunakan pada jalan lokal dan kolektor dengan kondisi baik seperti jumlah kendaraan berat yang sedikit dan rambu kecepatan sedikit.
- Kinerja 3 Digunakan pada jalan arteri dengan kecepatan rencana tinggi dengan campuran kendaraan berat yang sangat rendah dan kondisi jalan yang baik.
- Kinerja 4 Digunakan pada jalan arteri dengan kecepatan rencana tinggi, jalan bebas hambatan, jalan ekspres, dan jalan antar kota dengan campuran truk dan kendaraan berat.
- Kinerja 5 Digunakan sesuai dengan kriteria 4 dan jika kendaraan berat memiliki porsi besar terhadap lalu lintas harian atau saat kondisi jalan mengharuskan kriteria kinerja *railing* yang tinggi.
- Kinerja 6 Digunakan pada jalan yang dapat dilalui truk tipe tanker atau kendaraan dengan beban gravitasi yang cukup besar.

### 3.5.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur jembatan *cable stayed* dilakukan berdasarkan ketentuan pasal 7.4 peraturan Kementerian Pekerjaan Umum No.08/SE/M/2015 tentang pedoman perencanaan teknis jembatan *cable stayed*.

**Tabel 3. 8** Kombinasi beban untuk keadaan batas Ultimate

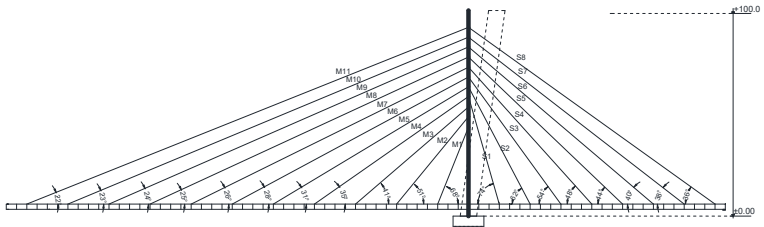
Aksi	Keadaan Batas Kelayanan					
	1	2	3	4	5	6
<b>Aksi Permanen :</b>						
Berat sendiri						
Beban mati tambahan						
Susut rangkak						
Pratekan	X	X	X	X	X	X
Pengaruh beban tetap pelaksanaan						
Teknan tanah						
Penurunan						
<b>Aksi transient :</b>						
Beban Laur "D" atau beban truk "T"; gaya rem atau gaya sentrifugal	X	0	0	0	0	0
Beban pejalan kaki	0	X	0	0	0	0
Gesekan perletakan	0	0	0	0	0	0
Pengaruh suhu	0	0	0	0	0	0
Aliran/hanyutan/ batang kayu dan hidrostati/ apung	0	0	X	0	0	0
Beban angin	0	0	0	X	0	0
<b>Aksi khusus</b>						
Gempa					X	
Beban tumbukan						
Pengaruh getaran	X	X				
Beban pelaksanaan						X
(X) : Beban yang selalu aktif	(1) Aksi permanen (X) KBU + Beban aktif (X) KBU+ 1 beban (0) KBL					
(0) : Beban yang boleh dikombinasikan dengan beban aktif tunggal atau seperti yang ditunjukkan						

### 3.6 Permodelan dan Analisa Struktur

Permodelan dan analisa struktur jembatan *cabl stayed* menggunakan program bantu MIDASCIVIL, SAP2000, dan Autocad.

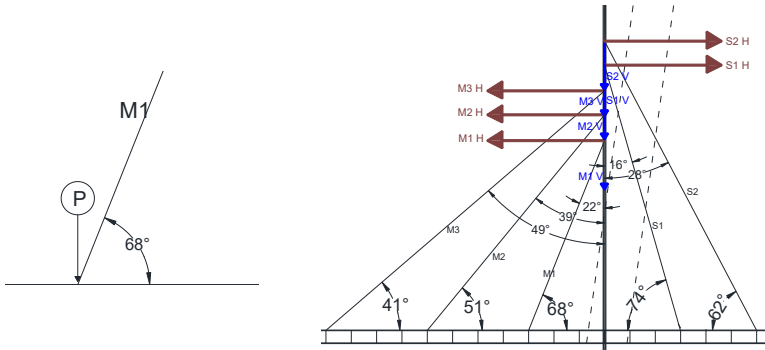
Untuk memodelkan kemiringan *pylon* direncanakan agar beban yang bekerja pada sisi *main span* dan *side span* seimbang. Hal pertama yang perlu dilakukan adalah membuat gambar rencana dengan posisi *pylon* tegak lurus dengan deck, perletakan

kabel, panjang segmental *twin box girder* dan desain perencanaan *twin box girder*. Kemudian mencari semua beban yang bekerja pada jembatan yang nantinya akan dipikul oleh kabel seperti pada Gambar 3.14.



**Gambar 3. 14** Rencana awal jembatan  
*Sumber : Dokumen Pribadi*

Setelah beban dan perletakan kabel sudah dibuat, cari sudut antara kabel dengan deck jembatan dan sudut antara kabel dengan *pylon*. Kemudian beban yang telah didapat setiap segmen dibagi sin sudut antara deck dan kabel untuk mendapatkan gaya pada masing-masing kabel seperti pada gambar 3.15.



$$\Sigma V = 0$$

$$M1 \times \sin 68 = P$$

$$M1 = P / \sin 68$$

$$\Sigma H = 0$$

$$M1 V = M1 \times \cos 22$$

$$M1 H = M1 \times \sin 22$$

**Gambar 3. 15** Gaya yang bekerja pada bagian bawah dan atas  
*Sumber : Dokumen Pribadi*

Setelah didapatkan gaya yang bekerja, jumlah semua gaya yang bekerja pada masing-masing sisi. Kemudian cari resultan gaya menggunakan rumus :

$$R = \sqrt{(\Sigma FY)^2 + (\Sigma FX)^2} \quad (3.13)$$

Keterangan :

- $\Sigma FY$  : kumulatif gaya yang bekerja vertikal
- $\Sigma FX$  : kumulatif gaya yang bekerja horizontal

Kemudian untuk mencari sudut yang terbentuk antara resultan R dengan sumbu 0 dapat dirumuskan :

$$\theta = \arctan \frac{\Sigma FY}{\Sigma FX} \quad (3.14)$$

### 3.7 Design Angkur

Terdapat 2 pengankuran dalam jembatan *cable stayed* yaitu angkur pada gelagar jembatan dan angkur pada *pylon* jembatan.

#### 3.7.1 Desain Angkur 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 dapat dirumuskan :

$$f_{yp} = 0.8 f_y \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p} - 0.2} \quad (3.15)$$

Tegangan dibawah pelat angkur :

$$f_t = \frac{P}{A_p} \quad (3.16)$$

Kontrol :

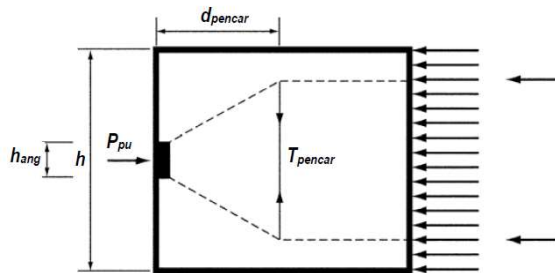
$$f_{cp} > f_t \quad (3.17)$$

#### 3.7.2 Desain Angkur pada *pylon*

Angkur 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 pengankuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pemecaran

(bursting) dan pengelupasan (spalling) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan stressing. Sesuai SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.2 untuk daerah umum digunakan rumus:

$$T_{pencar} \sim 0.25 P_{pu} \quad (3.18)$$



**Gambar 3. 16** Daerah umum pada penampang persegi  
 Sumber : (SNI 2847 2013)

### 3.8 Kontrol Dinamis

Perilaku aerodinamis akibat angin terhadap jembatan *cabl stayed* 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 Frekuensi Alami

Frekuensi balok ( $f_B$ ) dan frekuensi alam akibat torsi ( $f_T$ ) dapat dirumuskan :

$$f_B = \frac{1.1}{2\pi} \left( \frac{g}{V_{maks}} \right)^{1/2} \quad (3.19)$$



$$f_T = \frac{b}{2r} f_b \quad (3.20)$$

Keterangan	:
$f_b$	adalah frekuensi alam lentur balok (Hz)
$G$	adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$V_{maks}$	adalah deformasi statis maksimum akibat berat sendiri (m)
$f_t$	adalah frekuensi alami torsi (Hz)
$b$	adalah jarak kabel arah melintang (m)
$r$	adalah jari-jari girasi penampang lantai kendaraan (m)

akan tetapi pada program bantu MIDASCIVIL nilai frekuensi alami lentur balok maupun frekuensi alami torsi dapat dicari dengan menggunakan *modal* melalui tahapan *mode*. Dengan syarat yang dipakai adalah nilai pada *mode* yang sesuai persamaan berikut  $f_t/f_b = 2.5$

### 3.8.2 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).

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (3.21)$$

Dimana	:
$S$	adalah angka Strouhal
$f_b$	adalah frekuensi alami lentur balok
$h$	adalah tinggi lantai kendaraan
$V$	adalah 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*.

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu} \quad (3.22)$$

Dimana :

*Re* adalah Angka Reynold

*V* adalah kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

*B* adalah lebar lantai kendaraan

$\nu$  adalah viskositas kinematik udara ( $0.15 \text{ cm}^2/\text{s}$ )

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

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} Ch \quad (3.23)$$

Dimana :

*F<sub>o</sub>* adalah Gaya angkat

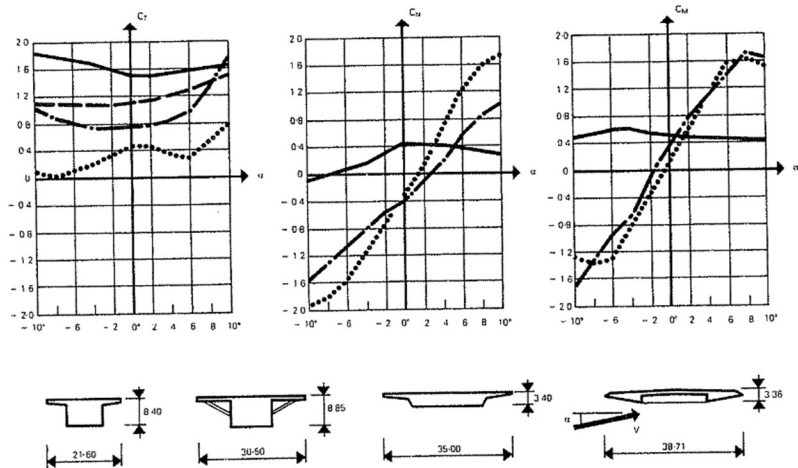
$\rho$  adalah Berat volume udara ( $1,3 \text{ kg/m}^3$ )

*V* adalah Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

*C* adalah Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

*h* adalah Tinggi lantai kendaraan

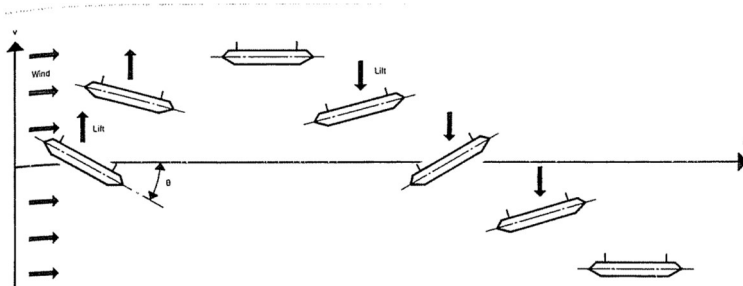
Koefisien nilai *C* didapatkan dari grafik berikut ini :



**Gambar 3. 17** Koefisien nilai  $C_T$ ,  $C_N$ ,  $C_M$   
 Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

### 3.8.3 Efek Ayunan (Flutter)

Efek ayunan pada kecepatan kritis ( $V_{kritis}$ ) akan menimbulkan lenturan dan torsi. Berikut ini adalah ilustrasi lintai kendaraan yang mengalami efek *flutter*:



**Gambar 3. 18** Ilustrasi Efek Ayunan  
 Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

Yang harus dihindari amplitudo akibat lentur dan torsi tidak terjadi bersamaan, yang ideal berjarak :

$$t = \frac{\pi}{2} = 1,57 \text{ detik} \quad (3.24)$$

Kecepatan kritis teoritis,  $V_{\text{kritis-teoritis}}$  dapat dicari menggunakan metode Kloeppe pada persamaan dibawah ini :

$$V_{\text{kritis-teoritis}} = 2 \cdot \pi \cdot f_b \cdot b \quad (3.25)$$

Dimana :  $b = 0.5$  lebar lantai kendaraan

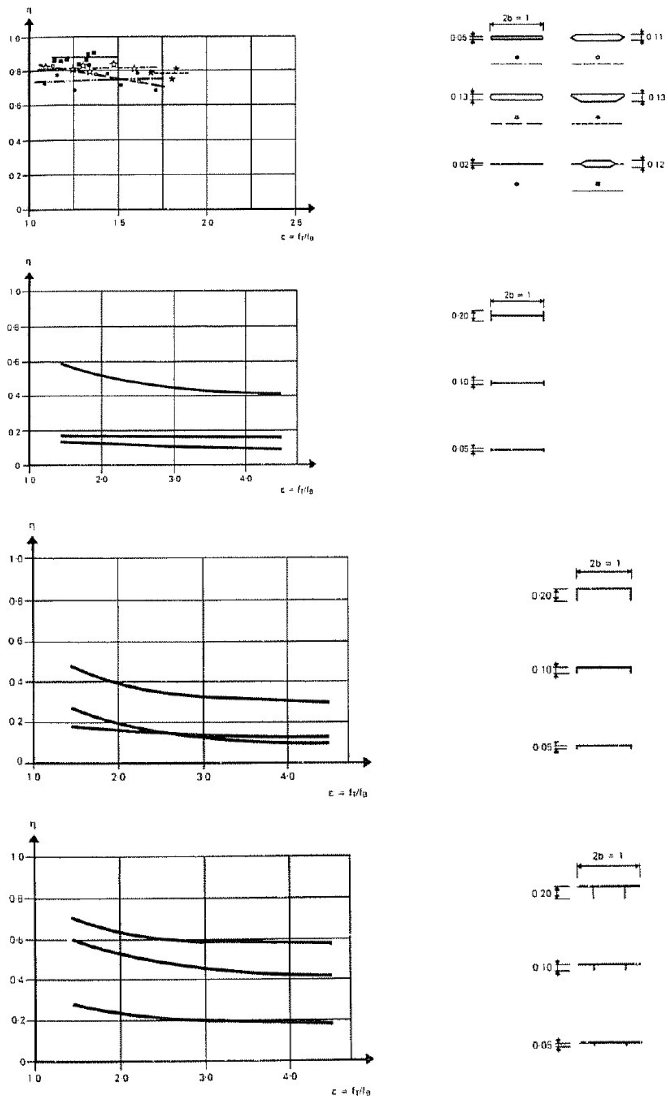
Selain itu untuk pradesain dianjurkan memenuhi rumus Mathivat yaitu :

$$\frac{f_T}{f_B} = 2.5 \quad (3.26)$$

Adapun kecepatan kritis aktual,  $V_{\text{kritis-aktual}}$  pada kenyataannya lebih kecil dari teoritisnya dihitung dari kecepatan kritis teoritis berdasarkan koreksi sudut datang angin terhadap arah horizontal yang rata-rata 6 derajat,  $\eta$  :

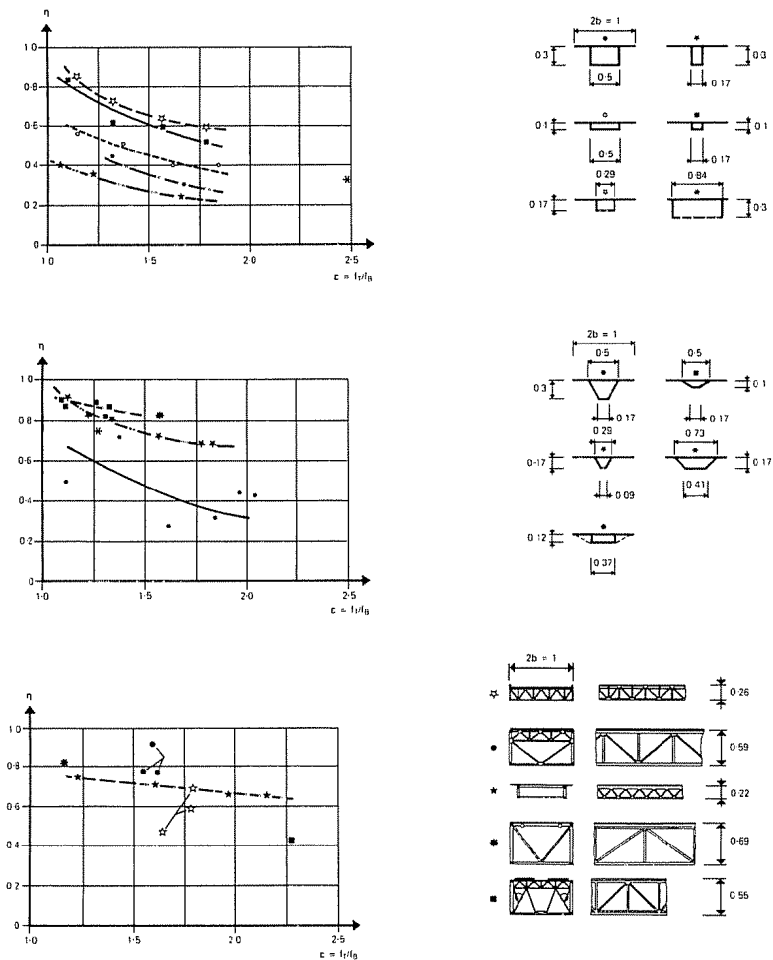
$$V_{\text{kritis-aktual}} = \frac{\eta(\alpha = \pm 6^\circ)}{\eta(\alpha = 0^\circ)} \cdot V_{\text{kritis-teoritis}} \quad (3.27)$$

Nilai  $\eta$ , koefisien koreksi dapat dilihat pada grafik di bawah untuk bermacam-macam tipe penampang lantai kendaraan:



**Gambar 3. 19** Grafik penentuan faktor koreksi  $\eta$  untuk beberapa macam LK

Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)



**Gambar 3. 20** Grafik penentuan niali  $\eta$  untuk beberapa macam LK (lanjutan)

Sumber : (E-Book Cable Stayed Bridges, Walther R., 1999)

### 3.9 Cek Kabel Putus 1

Terjadi kabel putus pada jembatan *cable stayed* sangatlah mungkin terjadi, hal ini dikarenakan oleh beban layan pada jembatan yang melebihi dari kapasitas rencana. Untuk analisa cek kabel putus 1 menggunakan program bantu MIDAS Civil. Pada program bantu MIDAS digunakan permisalan 1 kabel putus pada bagian terluar dari susunan kabel dan selanjutnya dicek apakah jembatan masih dapat bertahan dari beban yang ada.

Adapun syarat yang harus dipenuhi yaitu :

$$P < P_n \quad (3.28)$$

Dimana :

$P_n$  :Fijin.AsPakai

$P$  :Gaya tarik kabel output MIDAS

### 3.10 Menyusun Gambar Kerja

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

### 3.11 Penjadwalan

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir dibuat sebuah penjadwalan agar dapat terselesaikan sesuai waktu yang telah ditentukan pada tabel 3.8.

**Tabel 3. 9 Penjadwalan**

NO	RINCIAN PEKERJAAN	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	PENGUMPULAN DATA STUDI LITERATUR	■															
2	PRELIMINARY DESIGN	■	■														
	Konfigurasi susunan kabel	■	■														
	Dimensi kabel	■	■														
	Dimensi <i>deck</i> (Lantai Kendaraan)	■	■														
	Dimensi pylon	■	■														
3	DESAIN STRUKTUR SEKUNDER			■													
	Pelat lantai kendaraan			■													
	Gelagar memanjang			■													
	Gelagar melintang			■													
	Railling jembatan			■													
4	PEMBEBANAN JEMBATAN <i>CABLE STAYED</i>				■												
5	ANALISIS STATIS STRUKTUR UTAMA					■	■	■	■								
	<i>Deck</i>					■	■	■	■								
	Pylon					■	■	■	■								
	Kabel					■	■	■	■								
6	DESAIN ANGKUR							■	■	■							
7	ANALISIS DINAMIS								■	■	■						
8	CEK KABEL PUTUS 1									■	■	■					
9	PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG										■	■	■				
10	PENYUSUNAN GAMBAR KERJA											■	■	■	■		
11	PENULISAN LAPORAN DAN EVALUASI	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12	SELESAI																■



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Preliminary Design

Dalam perhitungan struktur jembatan. Perli 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 analasia selanjutnya ternyata dimensi awal tidak memenuhi syarat, maka parameter-parameter sebelumnya dapat berubah

#### 4.1.1 Gelagar

##### 4.1.1.1 Gelagar Melintang

Gelagar melintang direncanakan menggunakan *custom plate girder*, dengan :

$$\text{Tinggi balok } (d) \geq \frac{L}{9}$$

Dimana panjang balok (L) = 11 m

$$\text{Tinggi balok } (d) \geq \frac{11}{9} = 1.12 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan *custom plate girder* 1120.405.26.45

Dengan sifat mekanis, dan karakteristik sebagai berikut :

BJ	=	41	d	=	1118.12 mm
$f_u$	=	410 MPa	bf	=	405 mm
$f_y$	=	250 MPa	w	=	459.06 kg/m
			tw	=	26 mm
			tf	=	45 mm

##### 4.1.1.2 Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang direncanakan menggunakan profil WF, dengan :

$$\text{Tinggi balok } (d) \geq \frac{L}{12}$$

Dimana panjang balok (L) = 5 m (gelagar memanjang)

$$\text{Tinggi balok } (d) \geq \frac{5}{12} = 0.417 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 600.300.14.23.

Dengan sifat mekanis, dan karakteristik sebagai berikut :

BJ	=	41	d	=	594 mm
$f_u$	=	410 MPa	bf	=	302 mm
$f_y$	=	250 MPa	r	=	28 mm
			w	=	175 kg/m
			tw	=	14 mm
			tf	=	23 mm

#### 4.1.1.3 Gelagar Kantilever

Gelagar memanjang direncanakan menggunakan profil WF, dengan :

$$\text{Tinggi balok } (d) \geq \frac{L}{6}$$

Dimana panjang balok (L) = 1.5 m (gelagar kantilever)

$$\text{Tinggi balok } (d) \geq \frac{1.5}{6} = 0.25 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 300.200.9.14.

Dengan sifat mekanis, dan karakteristik sebagai berikut :

BJ	=	41	d	=	298 mm
$f_u$	=	410 MPa	bf	=	201 mm
$f_y$	=	250 MPa	r	=	14 mm
			w	=	65.4 kg/m
			tw	=	9 mm
			tf	=	14 mm

#### 4.1.2 Box Girder

Gelagar utama direncanakan menggunakan profil *Twin Rectangle Box Girder*. 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).

$$\begin{aligned} \text{Tinggi box girder } (h) &= \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \\ (h) &= \frac{1}{40} (225) \geq h \geq \frac{1}{100} (225) \\ (h) &= 5.625 \geq h \geq 2.25 \end{aligned}$$

Dipakai perkiraan awal dimensi *box girder* :

$$h = 3000 \text{ mm}$$

$$b = 1750 \text{ mm}$$

$$s1 = 500 \text{ mm}$$

$$s2 = 500 \text{ mm}$$

$$tf = 10 \text{ mm}$$

$$tw = 10 \text{ mm}$$

$$hr1 = 250 \text{ mm}$$

$$hr2 = 250 \text{ mm}$$

$$tr1 = 50 \text{ mm}$$

$$tr2 = 50 \text{ mm}$$

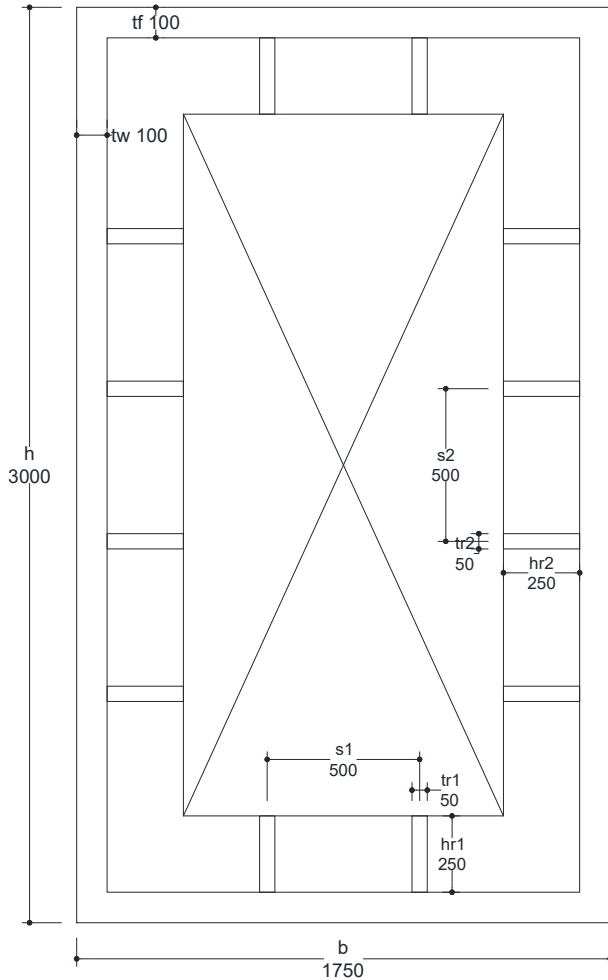
$$\begin{aligned} \text{Area} &= (b \times tf) + ((h - 2 \times tf) \times tw) + (tr1 \times hr1 \times 4) + (tr2 \times hr2 \times 8) \\ &= (1750 \times 100) + ((3000 - 2 \times 100) \times 1000) + (50 \times 250 \times 4) + \\ &(50 \times 250 \times 8) \end{aligned}$$

$$= 1060000 \text{ mm}^2$$

$$= 1.06 \text{ m}^2$$

$$w = 8321 \text{ kg/m}$$

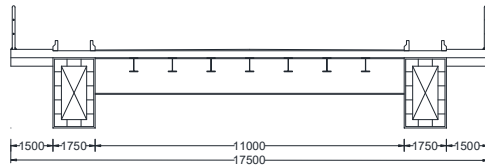
untuk lebih jelasnya, profil *box girder* dapat dilihat pada gambar 4.1



**Gambar 4.1** Preliminary Box Girder

Sumber : (Dokumen pribadi)

*Preliminary deck* jembatan dapat dilihat pada gambar 4.2.



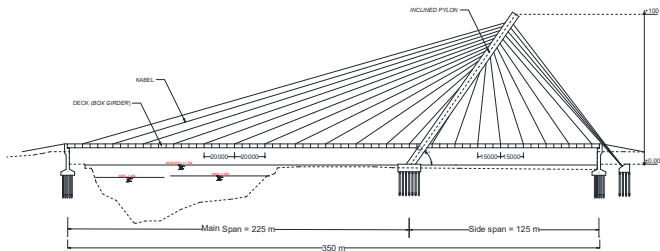
**Gambar 4. 2** Penampang Melintang *Deck* (m)  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

### 4.1.3 Kabel dan Kemiringan pylon

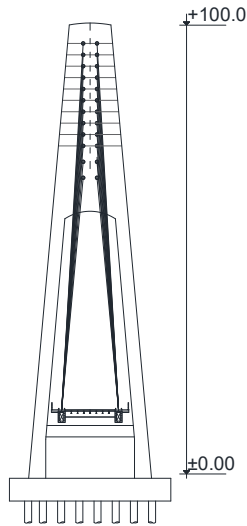
#### 4.1.3.1 Konfigurasi Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa *Two Inclined Plane System*, sedangkan untuk arah memanjang berupa *Semi-Harp pattern*.

Pada desain jembatan ini dipakai jarak kabel pada gelagar 20 m untuk sisi *main span* dan untuk 15 m untuk sisi *side span*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.3, dan gambar 4.4.



**Gambar 4. 3** Susunan kabel arah memanjang berupa *Semi-Harp Pattern* (m)  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 4** Susunan Kabel Arah *Melintang Berupa Two Inclined Planed System* (m)  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 4.1.3.2 Dimensi Kabel

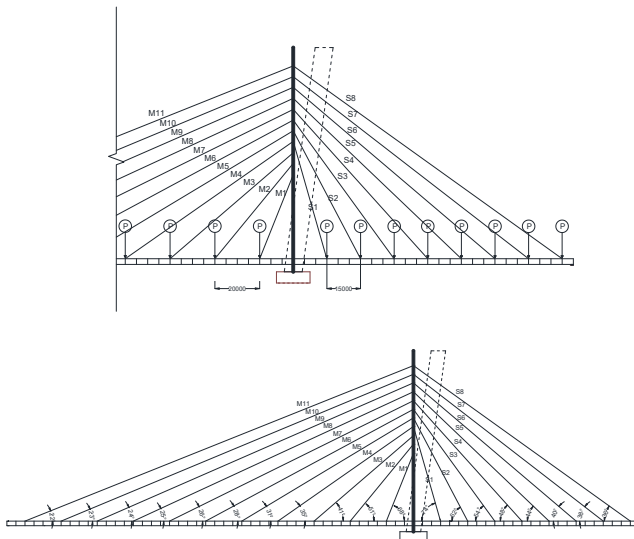
Menurut **RSNI T-03-2005 pasal 12.6**, kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 MPa.

Terdapat beberapa jenis kabel *pararel VSL seven wire strand* yang dapat digunakan pada jembatan kabel. Pada perencanaan jembatan ini menggunakan jenis kabel ASTM A 416-06 Grade 270, dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Jenis kabel

Grade	Ø (mm)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	w(kg/1000m)	f <sub>u</sub> (MPa)
270	17.78	189.7	1487	1860

Kabel betang tepi (*side span*) diberi simbol “S” dan bentang utama (*main span*) diberi simbol “M”. Adapun penomoran kabel dimulai dari kabel yang terdekat dengan *pylon* seperti pada gambar 4.5.



**Gambar 4. 5** Tatanan sistem kabel awal dan penomoran  
 Sumber : (Dokumen pribadi)

Dimensi awal kabel didekatkan dengan persamaan sebagai berikut (Pertaturan PU No.08/SE/M/2015) :

$$A_{sc,i} \cong \frac{\left(g + p + \frac{p}{30d}\right) (\lambda_i + \lambda_{i+1}) \cos\phi_i}{2(f_{cbd} \sin\phi_i \cos\phi_i - \gamma_{cb} a_1)}$$

Keterangan :

$A_{sc,i}$  adalah luas penampang kabel ke-i

$g$  adalah beban mati merata

$p$  adalah beban hidup merata

$d$  adalah tinggi gelagar jembatan

$\lambda_i$  adalah jarak antar kabel

$\phi_i$  adalah sudut kabel ke i terhadap bidang horizontal

$\gamma_{cb}$  adalah berat jenis kabel

$f_{cbd}$  adalah tegangan inin pada kabel

$a_1$  adalah jarak kabel i ke *pylon*

Menghitung jumlah kabel (Gimsing,1983) :

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

Keterangan :

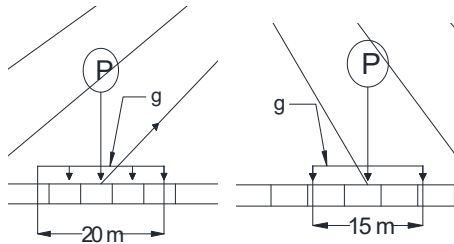
$A_{sc}$  adalah luas penampang kabel ke-i

$A_s$  Adalah Luas penampang kabel

- Perhitungan beban yang dipikul kabel

Beban yang dipikul meliputi beban hidup, beban mati, dan beban tambahan lain seperti beban pejalan kaki, dan trotoar. Dimana jarak antar kabel didesain 20m, dan 15 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.6.





**Gambar 4. 6** Ilustrasi beban yang dipikul kabel

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

- **Beban Mati**

- **Beban Gelagar Melintang**

$$q = (w \times \text{bentang} \times \text{faktor})/2$$

$$q = \frac{496.4 \times 1.1 \times 1.1}{2} = 3003 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{29.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

- **Beban Gelagar Memanjang**

$$q = (w \times \text{jumlah} \times \text{faktor})/2$$

$$q = \frac{175 \times 7 \times 1.1}{2} = 673.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{6.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

- **Beban Pelat Beton**

$$q = (\gamma_{\text{beton}} \times h \times \text{faktor} \times \text{lebar jalan})/2$$

$$q = \frac{2400 \times 0.25 \times 1.3 \times 11}{2} = 4290 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{42.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

- **Beban Aspal**

$$q = (\gamma_{\text{aspal}} \times h \times \text{faktor} \times \text{lebar jalan})/2$$

$$q = \frac{2200 \times 0.05 \times 2 \times 11}{2} = 1210 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{11.87 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

- **Beban Bekisting (*bondex w-1000*)**

$$q = (\gamma_{\text{bekisting}} \times \text{faktor} \times \text{lebar jalan})/2$$

$$q = \frac{13.76 \times 1.4 \times 11}{2} = 105.95 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

- **Beban Box Girder**

$$q = (\gamma_{\text{baja}} \times A_{\text{boxgirder}} \times \text{faktor})$$

$$q = 7850 \times 1.06 \times 1.1 = 9153.1 \frac{kg}{m} = \mathbf{89.76 \frac{kN}{m}}$$

- Beban Gelagar Kantilever

$$q = (w \times bentang \times faktor)$$

$$q = 65.4 \times 1.5 \times 1.1 = 107.9 \frac{kg}{m} = \mathbf{1.06 \frac{kN}{m}}$$

- Beban Pelat Beton Trotoar

$$q = (\gamma_{beton} \times h \times faktor \times lebar\ trotoar)$$

$$q = 2400 \times 0.25 \times 1.3 \times 1.5 = 1170 \frac{kg}{m} = \mathbf{11.47 \frac{kN}{m}}$$

- Beban Bekisting Trotoar

$$q = (\gamma_{bekisting} \times faktor \times lebar\ trotoar)$$

$$q = 13.76 \times 1.4 \times 1.5 = 28.9 \frac{kg}{m} = \mathbf{0.28 \frac{kN}{m}}$$

• Beban Hidup

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q = (BTR \times Lebar\ jalan \times faktor)/2$$

$$q = \frac{\left(9 \times \left(0.5 + \frac{15}{350}\right)\right) \times 11 \times 1}{2} = \mathbf{26.35 \frac{kN}{m}} = 2687.14 \frac{kg}{m}$$

- Beban Pejalan Kaki (TP)

$$q = (TP \times Lebar\ trotoar \times faktor)$$

$$q = 5 \times 1.5 \times 1 = \mathbf{7.5 \frac{kN}{m}} = 764.76 \frac{kg}{m}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$p = (p_{BGT} \times Lebar\ jalan \times (1 + fbd) \times faktor)/2$$

$$p = \frac{49 \times 11 \times (1 + 0.3) \times 1}{2} = \mathbf{350.35\ kN} = 35724.5\ kg$$

• Beban Anker

$$p = 500\ kg = \mathbf{4.9\ kN}$$

Maka didapatkan total beban merata hidup dan mati (g+p) sebesar **23194.5 kg/m** atau 227.47 kN/m. Untuk beban terpusat di titik kabel (P) sebesar **36224.5 kg** atau 355.25 kN

Perhitungan luasan kabel dan jumlah kabel diberikan contoh kabel  $\mathbf{m}_1$ , dengan :

$$a_1 = 15 \text{ m}$$

$$\emptyset = 68^\circ$$

$$A_{sc,m1} \cong \frac{\left(g + p + \frac{p}{30d}\right) (\lambda_i + \lambda_{i+1}) \cos\phi_i}{2(f_{cbd} \sin\phi_i \cos\phi_i - \gamma_{cb} a_1)}$$

$$A_{sc,m1} \cong \frac{\left(23194.5 + \frac{36224.5}{30(3)}\right) (15 + 20) \cos 68}{2(83700000 \times \sin 68 \times \cos 68 - 7850(15))} = 0.0053 \text{ m}^2$$

$$= 5342.8 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{Asc}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.0053}{3.14}} = 0.041$$

Maka didapatkan jumlah kabel,

$$n = \frac{Asc}{As} = \frac{5342.8}{189.7} = 29 \text{ kabel}$$

untuk kabel lainnya akan disajikan dalam tabel 4.2

**tabel 4. 2** Perhitungan penampang dan jumlah strand kabel

No. Kabel	Ø(°)	sin Ø	cos Ø	a (m)	g+p (kg)	p/30d	λ+λi	Asc (m2)	Asc (mm2)	n (kabel)	r (m)	d (m)
m1	68	0.93	0.37	15	23194.46	402.5	35	0.005	5342.8	29	0.041	0.082
m2	51	0.78	0.63	35	23194.46	402.5	40	0.007	7304.4	39	0.048	0.096
m3	41	0.66	0.75	55	23194.46	402.5	40	0.009	8684.9	46	0.053	0.105
m4	35	0.57	0.82	75	23194.46	402.5	40	0.01	9979.8	53	0.056	0.113
m5	31	0.52	0.86	95	23194.46	402.5	40	0.011	11173.2	59	0.060	0.119
m6	28	0.47	0.88	115	23194.46	402.5	40	0.012	12331.1	66	0.063	0.125
m7	26	0.44	0.90	135	23194.46	402.5	40	0.013	13289.3	71	0.065	0.130
m8	25	0.42	0.91	155	23194.46	402.5	40	0.014	13868.1	74	0.066	0.133
m9	24	0.41	0.91	175	23194.46	402.5	40	0.015	14503.3	77	0.068	0.136
m10	23	0.39	0.92	195	23194.46	402.5	40	0.015	15203.6	81	0.070	0.139
m11	22	0.37	0.93	215	23194.46	402.5	40	0.016	15979.4	85	0.071	0.143
s1	74	0.96	0.28	15	23194.46	402.5	30	0.004	4422.7	24	0.038	0.075
s2	62	0.88	0.47	30	23194.46	402.5	30	0.005	4822.2	26	0.039	0.078
s3	54	0.81	0.59	45	23194.46	402.5	30	0.005	5273.9	28	0.041	0.082
s4	48	0.74	0.67	60	23194.46	402.5	30	0.006	5755.6	31	0.043	0.086
s5	44	0.69	0.72	75	23194.46	402.5	30	0.006	6174.6	33	0.044	0.089
s6	40	0.64	0.77	90	23194.46	402.5	30	0.007	6693.7	36	0.046	0.092
s7	38	0.62	0.79	105	23194.46	402.5	30	0.007	7011.1	37	0.047	0.095
s8	36	0.59	0.81	120	23194.46	402.5	30	0.007	7368.9	39	0.048	0.097

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 (Walther dkk,1999)

$$E_{eff} = E_0 \frac{1}{1 + \frac{\gamma^2 L_h^2 E_0}{12\sigma^3}}$$

Keterangan :

- $E_{eff}$  : modulus elastisitas efektif kabel (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_0$  : modulus elastisitas dari material kabel (N/mm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : berat jenis dari material kabel tetap (N/mm<sup>3</sup>)
- $L_h$  : jarak titik gantung kabel (mm)
- $\sigma$  : tegangan tarik dalam kabel (N/mm<sup>2</sup>)

Perhitungan modulus elastisitas ekivalen kabel diambil contoh kabel m1, dengan diketahui :

$$L = 40.32$$

$$E_0 = 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 0.0000785$$

$$E_{eff\ m1} = E_0 \frac{1}{1 + \frac{0.0000785^2 \times 40320^2 \times 20000}{12 \times 837^3}}$$

$$= 199943.1\ MPa$$

Perhitungan nilai modulus elastisitas efektif ekuivalen selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.3.

**tabel 4. 3** Nilai modulus elastis ekuivalen kabel

No. Kabel	$\phi(^{\circ})$	L (m)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )	Eo (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (N/mm <sup>3</sup> )	E eff (MPa)	E eff < E o
m1	68	40.32	837	200000	0.0000785	199943.1	ok
m2	51	55.06	837	200000	0.0000785	199893.9	ok
m3	41	72.49	837	200000	0.0000785	199816.1	ok
m4	35	91.43	837	200000	0.0000785	199707.6	ok
m5	31	110.8	837	200000	0.0000785	199570.9	ok
m6	28	150.54	837	200000	0.0000785	199209.3	ok
m7	26	150.5	837	200000	0.0000785	199209.7	ok
m8	25	170.68	837	200000	0.0000785	198984.7	ok
m9	24	190.95	837	200000	0.0000785	198730.8	ok
m10	23	211.2	837	200000	0.0000785	198449.6	ok
m11	22	231.54	837	200000	0.0000785	198139.5	ok
s1	74	54.5	837	200000	0.0000785	199896.0	ok
s2	62	64.55	837	200000	0.0000785	199854.1	ok
s3	54	76.52	837	200000	0.0000785	199795.1	ok
s4	48	89.65	837	200000	0.0000785	199718.9	ok
s5	44	103.65	837	200000	0.0000785	199624.4	ok
s6	40	118.1	837	200000	0.0000785	199512.6	ok
s7	38	132.75	837	200000	0.0000785	199384.6	ok
s8	36	147.64	837	200000	0.0000785	199239.3	ok

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa  $E_{eff} < E_0$ . Hal ini berarti lendutan yang terjadi akibat berat sendiri kabel sangat kecil, sehingga dapat dianggap kabel lurus.

#### 4.1.3.3 Kemiringan Pylon

Untuk menyeimbangkan beban pada sisi *main span*, *pylon* di desain miring ke sisi *side span*. Pada perhitungan

kemiringan *pylon* ini menggunakan beban yang sudah dihitung sebelumnya dan menggunakan rumus berikut :

$$R = \sqrt{(\Sigma FY)^2 + (\Sigma FX)^2}$$

Keterangan :

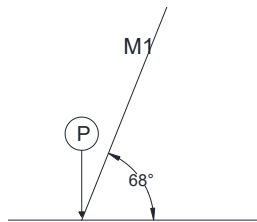
$\Sigma FY$  : kumulatif gaya yang bekerja vertikal

$\Sigma FX$  : kumulatif gaya yang bekerja horizontal

Kemudian untuk mencari sudut yang terbentuk antara resultan R dengan sumbu 0 dapat dirumuskan :

$$\theta = \text{arc tan} \frac{\Sigma FY}{\Sigma FX}$$

Perhitungan gaya yang bekerja dicontohkan pada kabel  $m_1$  :



**Gambar 4. 7** ilustrasi gaya pada kabel  $m_1$

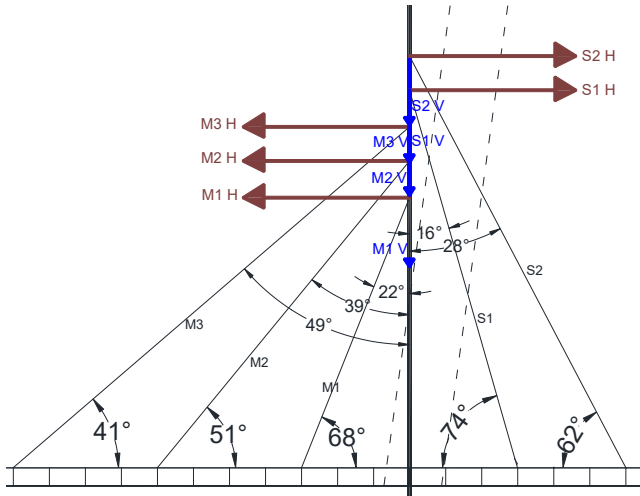
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

$$\Sigma V = 0$$

$$P - M_i * \sin\alpha = 0$$

$$M_i = \frac{P}{\sin\alpha} = \frac{\left( (w + p) * \lambda + \frac{p}{30d} \right)}{\sin\alpha}$$

$$M_1 = \frac{P}{\sin 68} = \frac{\left( (227.4 * 20) + \frac{355.25}{30(3)} \right)}{\sin 68} = 5296.6 \text{ kN}$$



**Gambar 4. 8** Ilustrasi gaya kabel ke pylon  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

$$\Sigma H = 0$$

$$M_i \times \sin\phi = M_i H$$

$$M_1 H = 5296.6 \text{ kN} \times \sin 22^\circ = 1984.13 \text{ kN}$$

$$M_i \times \cos\phi = M_i V$$

$$M_1 V = 5296.6 \text{ kN} \times \cos 22^\circ = 4910.9 \text{ kN}$$

Untuk Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.4

**tabel 4. 4** Gaya yang bekerja pada setiap segmen

No. Kabel	$\alpha$ (Sudut bawah)	$\phi$ (Sudut atas)	P (kN)	Gaya Kabel (kN)	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)
m1	68	22	4910.90	5296.58	1984.13	4910.90
m2	51	39	4553.31	5859.01	3687.20	4553.31
m3	41	49	4553.31	6940.40	5237.98	4553.31
m4	35	55	4553.31	7938.45	6502.80	4553.31
m5	31	59	4553.31	8840.72	7577.98	4553.31
m6	28	62	4553.31	9698.80	8563.53	4553.31
m7	26	64	4553.31	10386.88	9335.67	4553.31
m8	25	65	4553.31	10774.05	9764.60	4553.31
m9	24	67	4553.31	11194.74	10304.81	4374.13
m10	23	68	4553.31	11653.30	10804.76	4365.40
m11	22	69	4553.31	12154.91	11347.58	4355.93
s1	74	16	3415.97	3553.63	979.51	3415.97
s2	62	28	3415.97	3868.82	1816.30	3415.97
s3	54	36	3415.97	4222.37	2481.85	3415.97
s4	48	42	3415.97	4596.64	3075.75	3415.97
s5	44	46	3415.97	4917.48	3537.34	3415.97
s6	40	50	3415.97	5314.30	4070.99	3415.97
s7	38	52	3415.97	5548.45	4372.24	3415.97
s8	36	54	3415.97	5811.59	4701.68	3415.97
				$\Sigma f_x$		-60075.4
				$\Sigma f_y$		-77207.3
				$\Sigma T$		277142.3

Resultan :

$$R = \sqrt{(\Sigma FY)^2 + (\Sigma FX)^2} = \sqrt{(-77207.3)^2 + (-60075.4)^2}$$

$$R = 97826.45 \text{ kN}$$

Sudut :

$$\theta = \text{arc tan} \frac{\Sigma FY}{\Sigma FX} = \text{arc tan} \frac{-77207.3}{-60075.4} = 52.1^\circ = 52^\circ$$

#### 4.1.4 Struktur pylon

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

1. Material *Pylon* = Beton Bertulang
2.  $f_c$  = 50 MPa
3.  $f_y$  = 400 MPa



Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$A_{perlu} = \frac{T}{0.3 * f'c}$$

Untuk mengantisipasi momen yang timbul pada *pylon*, maka mutu beton yang digunakan pada *preliminary* ini dilakukan dengan 30%.

$$A_{perlu} = \frac{277142251 N}{0.3 * 50 N/mm^2} = 18476150.1 mm^2 = 184761.5 cm^2$$

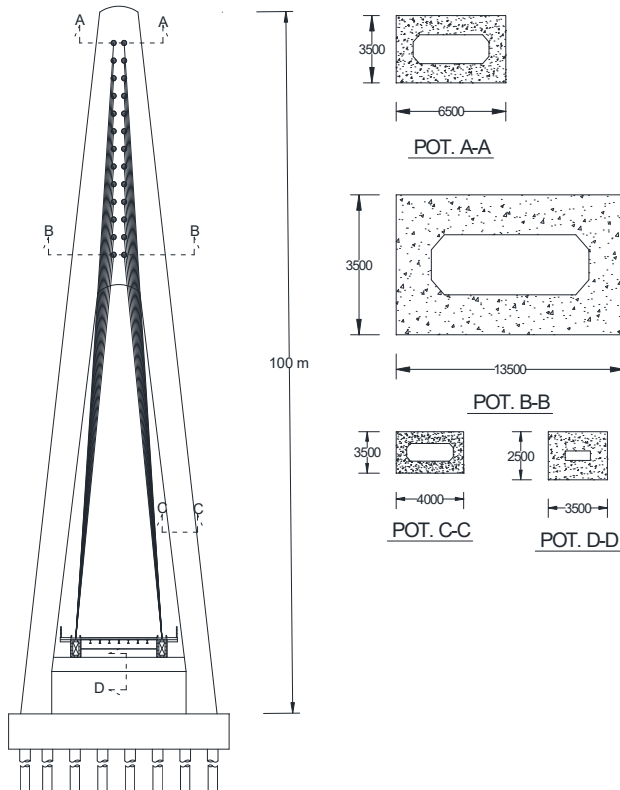
Luas penampang direncanakan :

$$A = b \times (2 \times b) = 2 \times b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{184761.5}{2}} = 303.9 cm = 350 cm$$

$$h = 2b = 2 * 303.9 = 607.9 cm = 650 cm$$

Maka digunakan dimensi *pylon*  $b = 350$  cm dan  $h = 650$  cm, untuk ilustrasi dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4. 9** Gambar rencana awal pylon

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

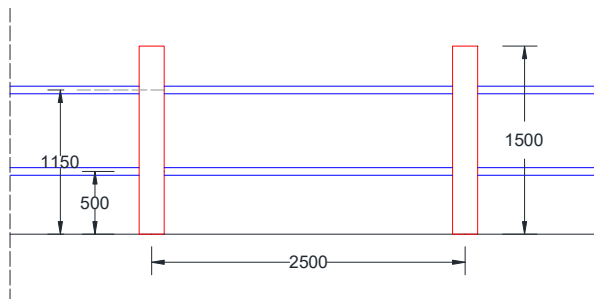
## 4.2 Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak mempengaruhi struktur utama atau hanya sebagai beban yang membebani struktur utama. Dalam perencanaan jembatan ini. Struktur sekunder terdiri dari pelat lantai dan sandaran. Struktur sekunder dianalisa secara terpisah dengan struktur utama. Hasil

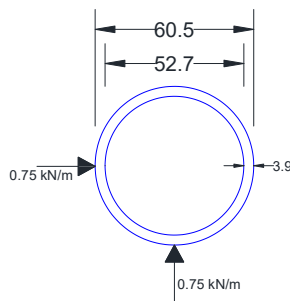
perhitungan struktur sekunder berlaku sebagai beban saat analisa struktur utama jembatan

#### 4.2.1 Pipa Sandaran

Berdasarkan pada RSNI T-02-2005 pasal 12.5, beban yang bekerja pada sandaran adalah gaya horizontal dan vertikal sebesar  $w = 0.75 \text{ kN/m}$  dan bekerja pada ketinggian 120 cm dari lantai trotoar. Sandaran menggunakan profil pipa dengan diameter 60.5, seperti pada gambar 4.10.



**Gambar 4. 10** Tiang Sandaran  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 11** profil pipa sandaran dan gaya pipa sandaran  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Data Perencanaan sandaran adalah sebagai berikut

Panjang total jembatan = 350 m

Jarak tiang sandaran = 2.5 m

Adapun bahan yang digunakan adalah

1) Mutu beton  $f_c$  = 370 MPa

2) Mutu baja  $f_y$  = 240 MPa

3) Pipa sandaran :

Diameter luar ( $d_0$ ) = 60.5 mm

Berat pipa ( $q$ ) = 5.44 kg/m

Tebal pipa ( $t$ ) = 3.9 mm

#### 4.2.1.1 Perhitungan Momen Pipa Sandaran

1. Akibat beban sendiri/pipa sandaran

$$\begin{aligned}M_{VD} &= 0.125 q l^2 \\ &= 0.125 * 5.44 * 2.5^2 \\ &= 4.25 \text{ kgm} \\ &= 0.0425 \text{ kNm}\end{aligned}$$

2. Akibat beban vertikal

$$\begin{aligned}M_{VL} &= 0.125 q l^2 \\ &= 0.125 * 0.75 * 2.5^2 \\ &= 0.59 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_V &= M_{VD} + M_{VL} \\ &= 0.0425 + 0.59 \\ &= 0.63 \text{ kNm}\end{aligned}$$

3. Akibat beban horizontal

$$\begin{aligned}M_{VL} &= 0.125 q l^2 \\ &= 0.125 * 0.75 * 2.5^2 \\ &= 0.59 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\text{Momen resultan } (M_R) = \sqrt{M_V^2 + M_H^2}$$

$$\text{Momen resultan } (M_R) = \sqrt{0.63^2 + 0.59^2}$$

$$\text{Momen resultan } (M_R) = 0.86 \text{ kNm}$$

#### 4.2.1.2 Cek Kekuatan Profil Pipa Sandaran

##### 1. Cek Penampang profil

$$\lambda = \frac{d_0}{t} = \frac{60.5}{2.5} = 24.2$$

$$\lambda_p = \frac{14800}{f_y} = \frac{14800}{240} = 61.67$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak)

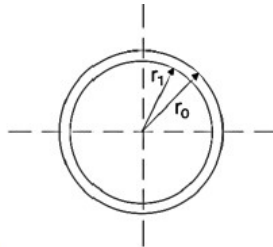
Maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$

##### 2. Kuat Lentur Nominal

$$Z_x = \frac{4}{3}(r_o^3 - r_1^3)$$

$$Z_x = \frac{4}{3}(30.25^3 - 26.35^3) = 12513.66 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 12513.66 \cdot 240 \\ &= 3003277.68 \text{ Nmm} \\ &= 3.003 \text{ kNm} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 12** Penampang pipa sandaran

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Cek kapasitas penampang

$$\phi M_n > M_R$$

$$0.9 * 3.003 \text{ kNm} > 0.86 \text{ kNm}$$

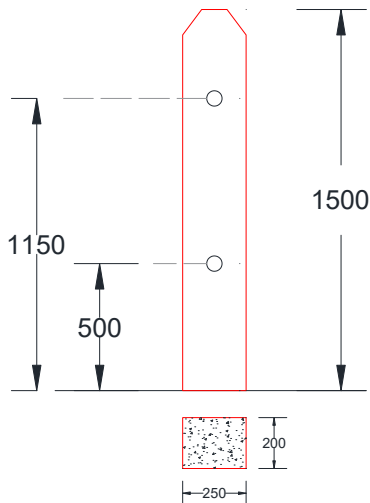
$$2.7 \text{ kNm} > 0.86 \text{ kNm} \text{ OK}$$

Maka profil dapat digunakan

#### 4.2.2 Tiang Sandaran

Dalam perencanaan ini tiang sandaran didesain sebagai berikut :

h	= 1500 mm
b	= 200 mm
d	= 250 mm
Øsengkang	= 8 mm
Ølentur	= 10 mm
Fc	= 20 MPa
Fy	= 240 MPa
Decking	= 50 mm
Mu	= $w*t*0.5t$ = $0.75*1.5*0.75$ = 0.84 kNm = 843750 Nmm



**Gambar 4. 13** Penampang tiang sandaran  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

- Penulangan Lentur Tiang Sandaran

$$d = h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 0.5\phi_{\text{tul. utama}}$$

$$d = 250 - 50 - 8 - 0.5(10) = 187$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$R_n = \frac{843750}{0.8 \cdot 200 \cdot 187^2} = 0.15 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c}$$

$$m = \frac{240}{0.85 \cdot 20} = 14.12 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.0058$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \cdot 20 \cdot 0.85}{240} \times \frac{600}{600 + 240} = 0.043$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_{\text{balance}} = 0.75 \cdot 0.043 = 0.032$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{14.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14.12 \cdot 0.15}{240}} \right) = 0.001$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$  maka dipakai  $\rho = \rho_{\min} = 0.0058$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0.0058 \cdot 200 \cdot 187 = 220.5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{220.5}{0.25 \cdot \pi \cdot 10^2} = 2.808 = 4 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan geser

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$
$$s = \frac{2\pi d^2 \cdot f_y \cdot d}{3 \cdot b \cdot d} = \frac{2(3.14)^2 \cdot 240 \cdot 187}{3 \cdot 200 \cdot 187} = 1446.9$$

Jarak tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 250/2 = 125 \text{ mm, dan } s < 600 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan Ø8-150 mm

Kontrol Tulangan

$$A_{s_{perlu}} = 220.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} = 4 * 0.25\pi\phi^2 = 4 * 78.5 = 314 \text{ mm}^2$$

- Penulangan Geser Tiang Sandaran

Kontrol tulangan

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot d = \frac{\sqrt{20}}{6} \cdot 200 \cdot 187.5 = 28174.5 \text{ N}$$

$$0.5\phi V_c = 0.5 * 0.7 * 28174.5 \text{ N} = 9861.06 \text{ N} = 9.9 \text{ kN}$$

Beban hidup

$$\begin{aligned} W_l &= w * l * 1.8 \\ &= 750 \text{ N} * 1.5 * 1.8 \\ &= 2025 \text{ N} \end{aligned}$$

Beban Mati

$$\begin{aligned} W_d &= \text{Beban tiang} + \text{Beban Pipa} \\ &= (b * h * t * \gamma * 1.3) + (w * l * 1.1 * 2) \\ &= (0.25 * 0.2 * 1.5 * 2400 * 1.3) + (5.44 * 2.5 * 1.1 * 2) \\ &= 263.92 \text{ kg} = 2539.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = W_l + W_d$$

$$V_h = 4564.1 \text{ N} = 4.56 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat, } V_c > V_h = 9.9 \text{ kN} > 4.56 \text{ kN} \text{ (OK)}$$



### 4.2.3 Pelat Lantai Kendaraan

#### 4.2.3.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

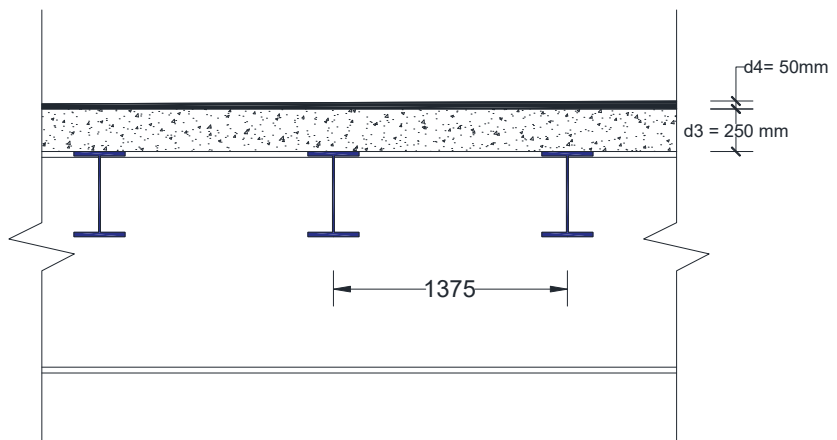
Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan lebar 1.375 m dan panjang 5 m. Berdasarkan RSNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan, persyaratan tebal pelat ( $d_3$ ) dapat dihitung dengan perumusan dibawah ini :

Ditentukan jarak antar balok memanjang ( $b_1$ ) sebesar 1.375 m

$$d_3 \geq 100 + 40b_1, \text{ atau } d_3 \geq 200 \text{ mm}$$

$$d_3 \geq 100 + 40(1.5)$$

$$d_3 \geq 155 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 14** Pelat lantai kendaraan

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Sedangkan untuk perencanaan tebal aspal ( $d_4$ ) > 50-80 mm

Dari syarat diatas maka diambil :

Tebal aspal ( $d_4$ ) = 50 mm

Tebal pelat ( $d_3$ ) = 250 mm

#### 4.2.3.2 Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Perencanaan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai peraturan SNI 1725:2016. Bekisting yang digunakan dalam pelat lantai kendaraan yaitu pelat bondex (w-1000) dari union floor deck dengan  $w = 13.76 \text{ kg/m}^2$ . Adapun perhitungan pembebanan sebagai berikut :

- Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri pelat} &= d_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \\ &= 0.25 \times 2400 \times 1 \times 1.3 \\ &= 780 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Aspal} &= d_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{MA}}^{\text{U}} \\ &= 0.05 \times 2200 \times 1 \times 1.3 \\ &= 143 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Berat total (q}_{\text{mati}}) = 780 + 143 = 923 \text{ kg/m}$$

- Perhitungan beban hidup

Beban roda truk = 11250 kg, dengan melihat grafik faktor kejut DLA (*Dynamic Load Allowance*) didapatkan besaran DLA yaitu 30% atau 0.3.

$$\begin{aligned}T &= (1+0.3) \times 11250 \text{ kg} \\ &= 14625 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T (\text{q}_{\text{hidup}}) &= \gamma_{\text{TT}}^{\text{U}} \times T \\ &= 2 \times 14625 \text{ kg} \\ &= 29250 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### 4.2.3.3 Perhitungan Pelat Bondeks

Pelat Bondeks W-1000 berfungsi sebagai bekisting, sehingga perlu dikontrol kapasitas bondeks terhadap beban akibat beban beton basah, dan beban hidup pelaksanaan. Digunakan pelat bondeks produk dari Union Metal Floor Deck dengan spesifikasi sebagai berikut :

Bahan Dasar	: Baja <i>High Tensile</i>
Tegangan leleh minimum	: 560 MPa
Tebal lapis gelombang	: 1.4 mm
Tinggi gelombang	: 50 mm
Lebar efektif	: 995 mm
Berat bahan	: 13.76 kg/m <sup>2</sup>
Area (A <sub>s</sub> )	: 1715.18 mm <sup>2</sup> /m
Momen Inersia (I <sub>x</sub> )	: 844939.88 mm <sup>4</sup> /m

Sedangkan perhitungannya dapat dilihat seperti dibawah ini:

$$d = h - 0.5 \text{ tinggi gelombang}$$

$$= 250 - 0.5 (50) = 225 \text{ mm}$$

$$h_c = h - \text{tinggi gelombang}$$

$$= 250 - 50 = 200 \text{ mm}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{E_s}{0.043 \times w^{1.5} \times \sqrt{f_c}}$$

$$= \frac{200000}{0.043 \times 2400^{1.5} \times \sqrt{40}} = 6.25$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1715.18}{995 \times 225} = 0.0076$$

maka didapatkan,

$$Y_{cc} = d \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n$$

$$= 225 \{ \sqrt{2 \cdot (0.0076) \cdot (6.25) + (0.0076 \times 6.25)^2} - 0.0076 \times 6.25 \}$$

$$= 50.18 < h_c \quad (\text{OK})$$

$$Y_{cs} = d - Y_{cc}$$

$$= 225 - 50.18 = 174.82 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{b}{3 \times h} \times Y_{cc}^3 + A_s \times Y_{cs}^2 + I_{sf}$$

$$= \frac{995}{3 \times 250} \times 50.18^3 + 1715.18 \times 174.82^2 + 844939.8$$

$$= 53428901.12 \text{ mm}^4$$

Menghitung *Flexural Strength* :

$$M_y = \frac{f_y \times I_c}{h - Y_{cc}} = \frac{560 \times 53428901.12}{250 - 50.18}$$

$$= 149735685.3 \text{ Nmm} = 149.7 \text{ kN.m}$$

$$\emptyset M_y = 0.85 * 149.7 = 127.27 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_u \text{ Beton} &= \frac{1}{10} q_{\text{beton}} \cdot b \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{10} 7.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.375^2 = 1.47 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u \text{ Pelaksanaan} &= \frac{1}{10} q_{\text{pelaksanaan}} \cdot b \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{10} 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.375^2 = 0.945 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 2.415 \text{ kN.m}$$

$\emptyset M_y > M_u$ , maka pelat bondeks dengan spesifikasi diatas mampu menahan beban beton saat pengecoran berlangsung.

#### 4.2.3.4 Perhitungan Momen Arah Melintang

Perhitungan momen-momen arah melintang akibat beban mati dan hidup berupa beban truk dapat dilihat sebagai berikut :

- Perhitungan momen akibat beban mati

$$M_D = \frac{1}{10} \times q_{\text{mati}} \times b^2$$

$$M_D = \frac{1}{10} \times 923 \times 1^2 = 174.5 \text{ kgm} = 1.75 \text{ kNm}$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup

$$M_L = 0.8 \times \frac{b + 0.6}{10} \times q_{\text{hidup}}$$

$$M_L = 0.8 \times \frac{1 + 0.6}{10} \times 29250 \text{ kg} = 3744 \text{ kgm} = 37.44 \text{ kNm}$$

Momen total :

$$\begin{aligned} M_u &= M_D + M_L \\ &= 1.75 \text{ kNm} + 37.44 \text{ kNm} \\ &= 39.19 \text{ kNm} \\ &= 3918.5 \text{ kgm} \\ &= 39185046.88 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Nilai momen tersebut pada tumpuan dan lapangan, sehingga dalam perencanaan penulangan pelat lantai digunakan tulangan rangkap dimana pada tumpuan dan lapangan atau penulangan atas dan bawah menggunakan dimensi yang sama.

#### 4.2.3.5 Perhitungan Penulangan Lentur Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah, dimana pelat bondeks diasumsikan hanya dikontrol saat menampung beban beton basah. Berikut ini merupakan data perencanaan lantai kendaraan :

- Mutu beton ( $f'c$ ) = 40 MPa
- Mutu baja tulangan utama ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Mutu baja tulangan susut ( $f_y$ ) = 240 MPa
- *Decking* = 50 mm
- Diameter tulangan utama (D) = 13 mm
- Diameter tulangan susut ( $\emptyset$ ) = 8 mm
- $\beta_1$  (untuk  $f'c > 30$  MPa) =  $0.85 - 0.008 (f'c - 30)$   
= 0.77

Perhitungan penulangan lentur lantai kendaraan dapat dilihat sebagai berikut :

$$d = h - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - 0.5\phi_{\text{tul. utama}}$$

$$d = 250 - 50 - 8 - 0.5(13) = 185.5$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$R_n = \frac{39185046.8}{0.9 \cdot 1000 \cdot 185.5^2} = 1.42 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'c}$$

$$m = \frac{240}{0.85 \cdot 40} = 11.5 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{11.5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11.5 \cdot 1.42}{240}} \right) = 0.0037$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.00359$$

$$A_{s_{pasang}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_{s_{pasang}} = 0.0037 \cdot 1000 \cdot 185.5 = 691.85 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{691.85 \cdot 240}{0.85 \cdot 40 \cdot 1000} \\ &= 7.94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 7.94 / 0.77 \\ &= 10.31 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } c \leq 0.375d = 10.31 \leq 69.6 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas penampang

$$\phi Mn > Mu$$

$$0.9 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) > 39.185.046.88 \text{ Nmm}$$

$$0.9 \times 691.85 \times 390 \times \left(185.5 - \frac{7.94}{2}\right) > 39.185.046.88 \text{ Nmm}$$

$$44.082.627,21 \text{ Nmm} > 39.185.046,88 \text{ Nmm (OK)}$$

Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

$$\begin{aligned} A_{s_{min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0.25 \sqrt{40}}{240} \times 1000 \times 185.5 = 752.054 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{min}} &= \frac{1.4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{240} \times 1000 \times 185.5 = 665.9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S_{perlu}} = 691.85 \text{ mm}^2 < A_{S_{min}} = 752.05 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka } A_{S_{pakai}} = 752.05 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{752.05}{0.25 \cdot \pi \cdot 13^2} = 5.66 = 6 \text{ tulangan}$$

Menentukan jarak tulangan lentur terpasang

$$s = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{6-1} = 200 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan rangkap lentur pelat **D13-200** (arah X)

Perhitungan penulangan susut pelat lantai kendaraan

Karena lantai kendaraan merupakan pelat 1 arah, maka tulangan arah memanjang (Y) digunakan tulangan susut. Perhitungan tulangan susut dapat dilihat mutu tulangan  $f_y$  400 MPa, paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0.0018 (SNI 03 2847-2013 ps.7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{susut}} &= \rho_{perlu} \cdot A_{bruto \text{ pelat}} \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \cdot 185.5 = 339.1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{tul}} &= 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 0.25 \cdot 3.14 \cdot 8^2 = 50.24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

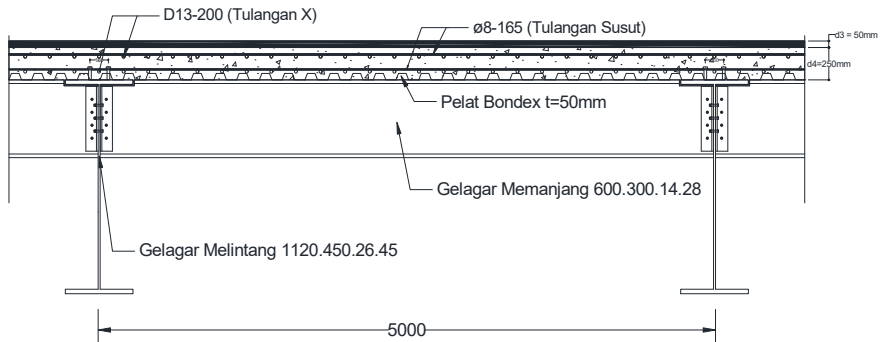
$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{339.1}{50.24} = 6.74 = 7 \text{ tulangan}$$

Menentukan jarak tulangan lentur terpasang

$$s = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{7-1} = 166.67 = 165 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 165 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan rangkap susut pelat **Ø8-165**. Sketsa penulangan pelat lantai kendaraan dapat dilihat pada gambar 4.15

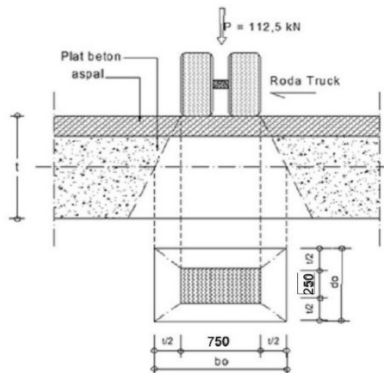


**Gambar 4. 15** Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 4.2.3.6 Kontrol Penulangan Geser (Pons)

Perhitungan penulangan geser (*pons*) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truk, sedangkan untuk kemiringan sudut geser *pons* diambil  $45^\circ$  yang dapat dilihat pada gambar 4.15. menurut SNI 1725:2016 pasal 8.4.1 memiliki luasan  $250*750$  mm dengan beban  $112.5$  kN seperti pada gambar 4.16.



**Gambar 4. 16** Ilustrasi geser pons

*Sumber : (Dokumen pribadi)*



- Tebal ( $t$ ) = 300 mm
- Gaya geser ( $V_u$ ) =  $112.5 \text{ kN} * (1+\text{FBD}) * \gamma_{\text{TT}}^U$   
 =  $112.5 \text{ kN} * (1+0.3) * 2$   
 = 292.5 kN
- Keliling kritis ( $A_k$ ) =  $(2 * \frac{t}{2} + 250 + 2 * \frac{t}{2} + 750) * 2$   
 =  $(2 * \frac{300}{2} + 250 + 2 * \frac{300}{2} + 750) * 2$   
 = 3200 mm
- Teg. Geser ( $f_{cv}$ ) =  $\frac{1}{6} \sqrt{f'c}$   
 =  $\frac{1}{6} \sqrt{40} = 1.05$
- $\phi V_n$  =  $0,75 \cdot A_k \cdot t \cdot f_{cv}$   
 =  $0,75 \cdot 3200 \cdot 300 \cdot 1,05$   
 = 756000 N = 756 kN

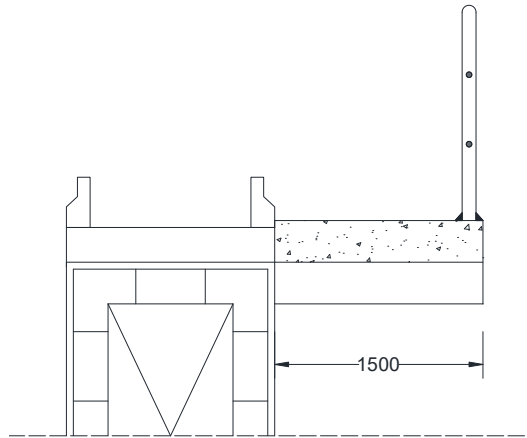
Syarat,  $V_u < \phi V_n = 292.5 \text{ kN} < 756 \text{ kN}$  (**OK**)

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan besarnya  $\phi V_n > V_u$ . Maka pelat lantai kendaraan tanpa tulangan geser cukup kuat untuk menahan beban roda truk terpusat pada tengah bentang pelat lantai kendaraan

## 4.2.4 Trotoar

### 4.2.4.1 Perencanaan trotoar

Perencanaan trotoar direncanakan untuk memikul beban nominal berdasarkan luasannya, trotoar direncanakan dengan lebar 1.5 m dan panjang 5 m dengan ketebalan pelat 250 mm, seperti ditunjukkan pada gambar 4.17.



**Gambar 4. 17** Trotoar  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 4.2.4.2 Pembebanan trotoar

Perencanaan pelat lantai kendaraan/trotoar direncanakan sesuai SNI 1725:2016, dengan perhitungan pembebanan sebagai berikut :

- Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= d_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \\ &= 0.25 \times 2400 \times 1 \times 1.3 \\ &= 780 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pipa Sandaran} &= q_{\text{sandaran}} \times n_{\text{pipa}} \times l \\ &= 5.44 \times 2 \times 2.5 \\ &= 27.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang Sandaran} &= b.d.l \times \gamma_{\text{beton}} \times n \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \\ &= 0.25 \times 0.2 \times 1.5 \times 2400 \times 2 \times 2 \\ &= 480 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka,

$$q = 780 \text{ kg/m}$$

$$p = 502.7 \text{ kg}$$

- Perhitungan beban Hidup

Berat sendiri pelat

$$= q_{\text{pejalan kaki}} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{MS}}^U$$

$$= 5 \text{ kN/m} \times 1 \times 1$$

$$= 5 \text{ kN/m}$$

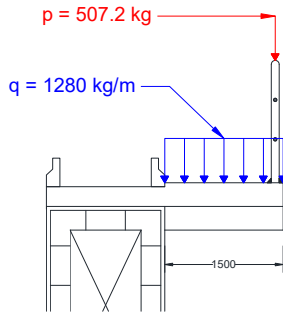
$$= 500 \text{ kg/m}$$

Maka,

$$q_{\text{total}} = 1280 \text{ kg/m}$$

$$p = 502.7 \text{ kg}$$

ilustrasi pembebanan trotoar dapat dilihat pada gambar 4.18



**Gambar 4. 18** Ilustrasi Pembebanan pada trotoar  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 4.2.4.3 Perhitungan momen

Perhitungan momen, dan geser arah melintang akibat beban mati dan hidup dapat dilihat sebagai berikut:

$$V = (q \cdot 1.5) + p$$

$$= (1280 \cdot 1.5) + 502.7$$

$$= 2422.7 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
M &= (p \cdot 1.5) + (q \cdot 1.5 \cdot 0.75) \\
&= (507.2 \cdot 1.5) + (1280 \cdot 1.5 \cdot 0.75) \\
&= 2200.8 \text{ kg.m}
\end{aligned}$$

#### 4.2.4.4 Perhitungan penulangan trotoar

Pelat lantai trotoar akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini merupakan data perencanaan lantai kendaraan :

- Mutu beton ( $f'c$ ) = 40 MPa
- Mutu baja tulangan utama ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Mutu baja tulangan susut ( $f_y$ ) = 240 MPa
- *Decking* = 50 mm
- Diameter tulangan utama (D) = 12 mm
- Diameter tulangan susut ( $\emptyset$ ) = 8 mm
- $\beta_1$  (untuk  $f'c > 30$  MPa) =  $0.85 - 0.008 (f'c - 30)$   
= 0.77

Perhitungan penulangan lentur lantai kendaraan dapat dilihat sebagai berikut :

$$d = h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 0.5\phi_{\text{tul. utama}}$$

$$d = 250 - 50 - 8 - 0.5(12) = 186 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$R_n = \frac{22008000}{0.9 \cdot 1500 \cdot 186^2} = 0.52 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'c}$$

$$m = \frac{240}{0.85 \cdot 40} = 11.5 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{11.5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.11.5.0.52}{390}} \right) = 0.0013$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = \mathbf{0.00359}$$

$$A_{s_{pasang}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_{s_{pasang}} = 0.00359 \cdot 1000 \cdot 186 = 674.92 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{1012.38 \cdot 390}{0.85 \cdot 40 \cdot 1000} \\ &= 7.74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 7.74 / 0.77 \\ &= 10.13 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } c \leq 0.375d = 10.13 \leq 70.5 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas penampang

$$\phi Mn > Mu$$

$$0.9 \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) > 22.008.000 \text{ Nmm}$$

$$0.9 \times 1012.38 \times 390 \times \left( 186 - \frac{7.74}{2} \right) > 39.185.046.88 \text{ Nmm}$$

$$43.619.829,9 \text{ Nmm} > 22.008.000 \text{ Nmm (OK)}$$

Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

$$\begin{aligned} A_{s_{min}} &= \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0.25 \sqrt{40}}{390} \times 1000 \times 186 = 762.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S_{min}} = \frac{1.4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1.4}{390} \times 1000 \times 186 = 674.87 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{perlu}} = 674.9 \text{ mm}^2 < A_{S_{min}} = 762.2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka } A_{S_{pakai}} = 762.2 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{762.2}{0.25 * \pi * 12^2} = 6.73 = 7 \text{ tulangan}$$

Menentukan jarak tulangan lentur terpasang

$$s = \frac{1000}{n - 1} = \frac{1000}{7 - 1} = 166.6 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan rangkap lentur pelat D12-150

#### 4.2.4.5 Perhitungan penulangan susut trotoar

Perhitungan tulangan susut dapat dilihat mutu tulangan  $f_y$  400 MPa, paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0.0018

(SNI 03 2847-2013 ps.7.12.2.1)

$$A_{S_{susut}} = \rho_{perlu} \cdot A_{bruto \text{ pelat}}$$

$$= 0.0018 \cdot 1000 \cdot 186 = 334.8 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{tul}} = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 0.25 \cdot 3.14 \cdot 8^2 = 50.24 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{334.8}{50.24} = 6.664 = 7 \text{ tulangan}$$

Menentukan jarak tulangan susut terpasang

$$s = \frac{1000}{n - 1} = \frac{1000}{7 - 1} = 166.67 = 165 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 165 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan rangkap susut pelat Ø8-165

## 4.3 Gelagar

### 4.3.1 Gelagar Memanjang

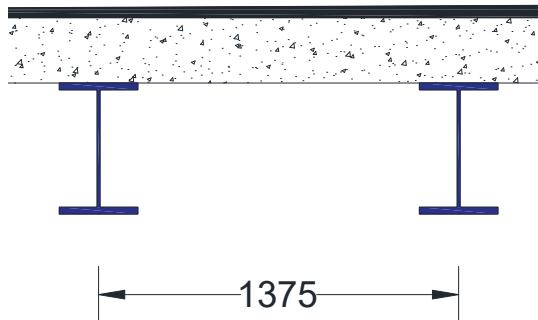
#### 4.3.1.1 Perencanaan Gelagar Memanjang

Untuk perencanaan balok memanjang menggunakan baja dengan mutu BJ41 seperti pada gambar 4.19, dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh ( $f_y$ ) = 250 Mpa

Tegangan ultimate ( $f_u$ ) = 410 Mpa

Modulus Elastisitas (E) = 200000 Mpa



**Gambar 4. 19** Gelagar memanjang jembatan

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Perencanaan gelagar memanjang menggunakan profil

WF 600.300.14.28 dengan data detail profil sebagai berikut :

A	= 222.4 cm <sup>2</sup>	i <sub>x</sub>	= 24.9 cm
d	= 612 mm	i <sub>y</sub>	= 6.9 cm
b <sub>f</sub>	= 302 mm	I <sub>x</sub>	= 137000 cm <sup>4</sup>
t <sub>w</sub>	= 14 mm	I <sub>y</sub>	= 10600 cm <sup>4</sup>
t <sub>f</sub>	= 23 mm	Z <sub>x</sub>	= 5017 cm <sup>3</sup>
r	= 28 mm	Z <sub>y</sub>	= 1076 cm <sup>3</sup>
w	= 175 kg/m	h	= 510 mm

#### 4.3.1.2 Pembebanan Gelagar Memanjang

- Beban mati Ultimate

$$\text{Pelat beton} = 0.25 \times 2400 \times 1.375 \times 1.3 = 1072.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Aspal} = 0.05 \times 2200 \times 1.375 \times 2 = 302.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Bondex(w-1000)} = 13.76 \times 1.375 \times 2 = 37.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Berat sendiri} = 175 \times 1.1 = 192.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_D = 1605.3 \text{ kg/m}$$

- Beban Hidup Ultimate

- Beban terbagi Rata (BTR)

(untuk  $L < 30$ ;  $L = 5 \text{ m}$ ) local ( $L$  gelagar)

$$q = 9 \text{ kPa (SNI 1725:2016 ps. 8.3.1)}$$

$$= 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Q_L = q \times b_1 \times \gamma^{U_{TD}}$$

$$= 900 \times 1.375 \times 2 = 2475 \text{ kg/m}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

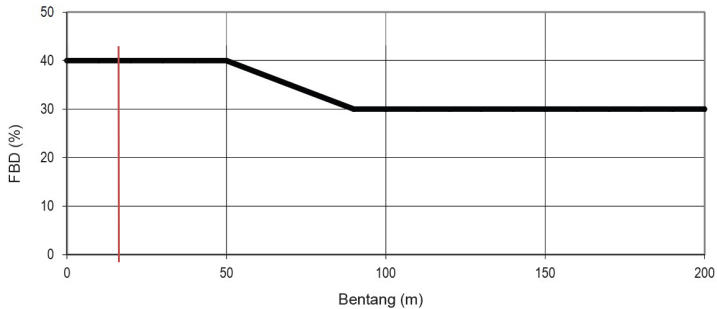
Beban garis terpusat (BGT) sebesar (p) kN/m ditempatkan tegak lurus dari arah lalu-lintas pada jembatan dimana besarnya  $p = 49 \text{ kN}$ . Faktor beban dinamik yang berlaku untuk BGT ditentukan melalui gambar 4.20 dibawah sehingga didapatkan nilai FBD = 40 %, Dikarenakan  $L = 5 \text{ m}$ . Beban garis yang bekerja sebagai berikut :

$$P_1 = (1 + \text{FBD}) \times p \times b_1 \times \gamma^{U_{TD}}$$

$$= (1 + 0.4) \times 4.9 \times 1.375 \times 2$$

$$= 18865 \text{ kg}$$





**Gambar 4. 20** Faktor beban Dinamis

*Sumber : (SNI 1725:2016)*

- **Beban (T)**

Beban Truk (T) adalah 112.5 kN (SNI 1725:2016 pasal 8.4) dengan faktor kejut DLA = 0.3. beban truk yang bekerja sebagai berikut :

Dikarenanan  $L = 5 \text{ m}$ , maka  $FBD = 40\%$

$$\begin{aligned}
 T_U &= T \times (1 + FBD) \times \gamma_{TD}^U \\
 &= 112.5 \times (1 + 0.4) \times 2 \\
 &= 315 \text{ kN} = 31500 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.1.3 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan geser akibat beban mati dan hidup dapat dilihat sebagai berikut :

- **Beban Mati Ultimate :**

$$\begin{aligned}
 M_D &= \frac{1}{8} \times Q_d \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 1605.34 \times 5^2 \\
 &= 5016.68 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$V_D = Q_d \times L \times 0.5$$

$$= 1605.34 \times 5 \times 0.5$$

$$= 4013.35 \text{ kg}$$

- Beban Hidup Ultimate :

$$M_{L1} = \left(\frac{1}{8} \times Q_{l(BTR)} \times L^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times P_{1(BGT)} \times L\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8} \times 2475 \times 5^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 18865 \times 5\right)$$

$$= 31315.6 \text{ kgm}$$

$$M_{L2} = \left(\frac{1}{4} \times T_U \times L\right)$$

$$= \left(\frac{1}{4} \times 31500 \times 5\right)$$

$$= \mathbf{39375 \text{ kgm}}$$

Maka digunakan  $M_{L2}$  sebagai Momen ultimate untuk perencanaan selanjutnya

$$V_{L1} = \left(\frac{1}{2} \times Q_{l(BTR)} \times L\right) + \left(\frac{1}{2} \times P_{1(BGT)}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 2475 \times 5\right) + \left(\frac{1}{2} \times 18865\right)$$

$$= 15620 \text{ kg}$$

$$V_{L2} = \left(\frac{1}{2} \times T_U\right)$$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 31500\right)$$

$$= \mathbf{15750 \text{ kg}}$$

Maka digunakan  $V_{L2}$  sebagai Geser ultimate untuk perencanaan selanjutnya

$$M_U = M_D + M_L$$

$$= 5016.68 \text{ kgm} + 39375 \text{ kgm}$$

$$= 44391.68 \text{ kgm}$$

$$V_U = V_D + V_L$$

$$= 4013.4 \text{ kg} + 15750 \text{ kg}$$

$$= 19763.4 \text{ kg}$$

#### 4.3.1.4 Kontrol Profil Gelagar Memanjang

- Kontrol *Local Buckling*

$$\begin{aligned} \text{Sayap} &= \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\ &= \frac{302}{2(23)} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} = 6.56 < 10.75 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &= \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \\ &= \frac{510}{14} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} = 36.42 < 106.25 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka  $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \quad \text{(SNI 1729-2015, f2-1)} \\ &= 5017 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 12542500 \text{ kgcm} = 125425 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \times M_n \quad \text{(SNI 1729-2015, f1-1)} \\ &= 0.9 \times 125425 \\ &= 112882.5 \text{ kgm} > M_U = 44391.68 \text{ kgm} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol *Lateral Buckling*

$$L_B = 500 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{(SNI 1729-2015, f2-5)} \\ &= 1.76 \times 69 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}} \\ &= 3434.84 \text{ mm} = 343.48 \text{ cm} \end{aligned}$$

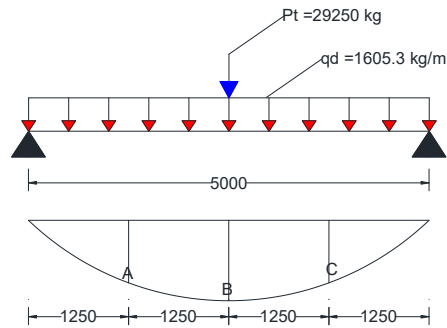
$$L_R = i_y \times \left( \frac{x_1}{f_y - f} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{x_2 f l^2}} \quad \text{(RSNI-T=03-2005,}$$

Tabel 8

$$= 1076.14 \text{ cm}$$

Karena  $L_P < L_B < L_R$  maka termasuk bentang menengah. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = C_b \times (M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P}) \quad (\text{SNI 1729-2015, F2-2})$$



**Gambar 4. 21** Titik Momen pada Gelagar Memanjang  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2q_d \\ &= 1.2(1605.3) \\ &= 1926.4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_u &= 1.6p_u \\ &= 1.6(31500) \\ &= 50400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{A-C} &= \frac{q_u L}{2} + \frac{p_u}{2} \\ &= \frac{1926.4}{2} + \frac{50400}{2} \\ &= 26163.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{A-C} &= (V_A \times 1.25) - (0.5 \times q_u \times 1.25^2) \\ &= (28515 \times 1.25) - (0.5 \times 2046 \times 1.25^2) \\ &= 34045.31 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= (V_A \times 2.5) - (0.5 \times q_u \times 2.5^2) \\ &= (28515 \times 2.5) - (0.5 \times 2046 \times 2.5^2) \\ &= 64893.75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$C_b = \frac{1.25M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2.3 \quad (\text{SNI 1729-2015, F1-1})$$

$$= \frac{1.25(64893.75)}{2.5(64893.75)+3(34045.31)+4(64893.75)+3(34045.31)} \leq 2.3$$

$$= 1.3 \leq 2.3 \quad \text{(OK)}$$

$$M_R = S_x \times (fy - fr)$$

$$= 4620 \times (2500 - 700)$$

$$= 8316000 \text{ kgcm}$$

$$M_P = Z_x \times fy$$

$$= 5017 \times 2500$$

$$= 12542500 \text{ kgcm}$$

$$M_n = C_b \times (M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P})$$

$$= 1.3 \times (8316000 + (12542500 - 8316000) \frac{1076.1 - 500}{1076.1 - 343})$$

$$= 15130803.06 \text{ kg.cm}$$

$$= 151308.03 \text{ kg.m}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 151308.03$$

$$= 136177.227 \text{ kg.m}$$

$$\phi M_n = 136177.227 \text{ kg.m} > Mu = 44391.68 \text{ kgm} \quad \text{(OK)}$$

- Kontrol Rencana Geser

Kontrol penampang :

$$\text{Badan} \quad : \frac{h}{tw} \leq 1.1 \sqrt{\frac{Kn.E}{fy}}$$

$$: \frac{510}{14} \leq 1.1 \sqrt{\frac{5 \cdot 200000}{250}}$$

$$: 36.4 \leq 69.57 \quad \text{(OK)}$$

Berdasarkan LRFD

$$V_n = 0.6 \times fy \times Aw$$

$$= 0.6 \times 250 \times (14 \times 510)$$

$$= 1071000 \text{ N} = 107100 \text{ kg}$$

Akibat beban truk (T) dan beban mati

$$V_U = T + (0.5 \times Q_D \times \lambda)$$

$$= \frac{31500}{2} + (0.5 \times 1605.3 \times 5)$$

$$= \mathbf{19763.25 \text{ kg}}$$

Akibat beban BGT, BTR dan beban mati

$$V_U = (P_{BGT} + (0.5 \times Q_{BTR} \times \lambda)) + (0.5 \times Q_D \times \lambda)$$

$$= \left( \frac{18865}{2} + (0.5 \times 2475 \times 5) \right) + (0.5 \times 1605.3 \times 5)$$

$$= 19633.25 \text{ kg}$$

$$V_{U-\max} = 19763.25 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 107100 \text{ kg} = 96390 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 96390 \text{ kg} > V_u = 19763.25 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

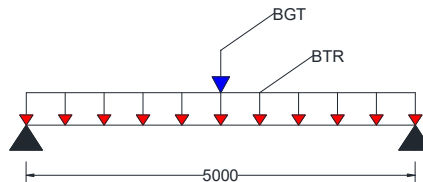
- Kontrol Lendutan

Berdasarkan RSNI T-03 2005 pasal 4.7.4. syarat lendutan yaitu :  $\delta' \leq \delta$ , dimana  $\delta$  adalah lendutan izin, sedangkan  $\delta'$  adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\delta = \frac{\lambda}{800} = \frac{500}{800} = 0.625 \text{ cm} = 6.25 \text{ mm}$$

Besarnya lendutan yang terjadi diperhitungkan terhadap beban layan (tanpa dikalikan faktor beban). Besarnya lendutan yang terjadi pada gelagar memanjang dapat dihitung sebagai berikut :

- Akibat beban BGT dan BTR



**Gambar 4. 22** Ilustrasi pembebanan BGT dan BTR

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

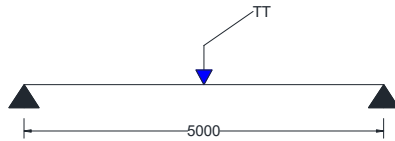
$$\delta'_1 = \left( \frac{5}{384} \times \frac{q_{BTR} \cdot l^4}{EI} \right) + \left( \frac{1}{48} \times \frac{p_{BGT} \cdot l^3}{EI} \right)$$

$$\delta'_1 = \left( \frac{5}{384} \times \frac{12.37 \text{ kg/cm} \times 500^4}{2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 137000 \text{ cm}^4} \right)$$

$$+ \left( \frac{1}{48} \times \frac{8758.75 \text{ kg} \cdot 500^3}{2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 137000 \text{ cm}^4} \right)$$

$$\delta'_1 = 0.036 + 0.08 = 0.116 \text{ cm}$$

- Akibat beban Truk



**Gambar 4. 23** Ilustrasi pembebanan TT

Sumber : (Dokumen pribadi)

$$\delta'_2 = \left( \frac{1}{48} \times \frac{p_{TT} \cdot l^3}{EI} \right)$$

$$\delta'_2 = \left( \frac{1}{48} \times \frac{14625 \text{ kg} \cdot 500^3}{2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 137000 \text{ cm}^4} \right)$$

$$\delta'_2 = \mathbf{0.138 \text{ cm}}$$

$$\delta'_{max} = 0.138 \text{ cm} \leq \delta_{izin} = 0.625 \text{ cm} \quad \mathbf{(OK)}$$

#### 4.3.1.5 Sambungan Gelagar Memanjang

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut :

$$V_U = 1.2V_D + 1.6V_L$$

$$= 1.2(4013.4 \text{ kg}) + 1.6(14625 \text{ kg})$$

$$= 28216.1 \text{ kg} = 282.16 \text{ kN}$$

- Baut

Desain Baut M14 dengan ASTM A490 produk dari *Rockside* :

$$D_{\text{baut}} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Proof load } (T_b) = 95.5 \text{ kN}$$

$$A_{\text{baut}} = 154 \text{ mm}^2$$

- Pelat Penyambung (Siku 100.100.14 BJ 41)

$$T_p = 14 \text{ mm (2 bidang geser)}$$

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$F_u = 410 \text{ MPa}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

- Sambungan pada Gelagar Memanjang

Kuat nominal satu (1) baut

- Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip)

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-4})$$

Dimana,

$$\mu = 0.5 \text{ (koef. Slip untuk baut grup B A490)}$$

$$D_u = 1.13$$

$$h_f = 1 \text{ (faktor untuk pengisi)}$$

$$T_b = 95.5 \text{ kN (proof load baut dilihat pada brosur)}$$

$$n_s = 2 \text{ (jumlah bidang slip)}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \\ &= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 95.5 \text{ kN} \times 2 \\ &= 107.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 107.9, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\ &= \mathbf{107.9 \text{ kN}} \end{aligned}$$

- Kuat Tumpu

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-3})$$

Dimana,

$$F'_{nt} = \text{tegangan tarik nominal}$$

$$A_b = \text{luas baut}$$



$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
 &= 830 \text{ MPa} \times 154 \text{ mm}^2 \\
 &= 127.82 \text{ kN} \\
 \phi R_n &= 1 \cdot 127.8 \\
 &= 127.8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip) sebesar **107.9 kN**

- Kebutuhan Jumlah Baut (n)

$$n = \frac{Vu}{\phi Vd} = \frac{282.16 \text{ kN}}{107.9 \text{ kN}} = 2.61 = 4 \text{ baut}$$

- Penentuan Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot 14 \leq S \leq 15 \cdot 14 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$42 \leq S \leq 210 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu **100 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>1</sub>) (SNI 1729-2015 J3.4)

$$1.5 \cdot d_b \leq S_1 \leq (4 \cdot t_p + 10 \text{ cm}) \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$1.5 \cdot 14 \leq S_1 \leq (4 \cdot 14 + 10 \text{ cm}) \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$21 \leq S_1 \leq 156 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi yaitu **100 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>2</sub>)

$$1.25 \cdot d_b \leq S_2 \leq 12 t_p$$

$$1.25 \cdot 14 \leq S_2 \leq 12 \cdot 14$$

$$17.5 \leq S_2 \leq 168 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu **50 mm**

- Sambungan pada Gelagar Melintang

- Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip)

$$\begin{aligned}
 R_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-4}) \\
 &= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 95.5 \text{ kN} \times 1 \\
 &= 53.95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 1 \cdot 53.95, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\
 &= \mathbf{53.95 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

- Kuat Tumpu

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-3})$$

Dimana,

$$F'_{nt} = \text{tegangan tarik nominal}$$

$$A_b = \text{luas baut}$$

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$= 830 \text{ MPa} \times 154 \text{ mm}^2$$

$$= 127.82 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 1 \cdot 127.8$$

$$= 127.8 \text{ kN}$$

Maka digunakan Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip) sebesar **53.95 kN**

- Kebutuhan Jumlah Baut (n)

$$n = \frac{Vu}{\phi Vd} = \frac{282.16 \text{ kN}}{53.95 \text{ kN}} = 4.78 = 6 \text{ baut}$$

- Penentuan Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot 14 \leq S \leq 15 \cdot 14 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$42 \leq S \leq 210 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu **100 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>1</sub>) (SNI 1729-2015 J3.4)

$$1.5 \cdot d_b \leq S_1 \leq (4 \cdot t_p + 10 \text{ cm}) \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$1.5 \cdot 14 \leq S_1 \leq (4 \cdot 14 + 10 \text{ cm}) \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

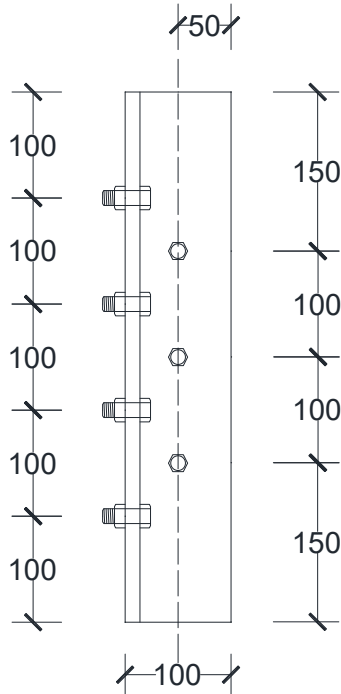
$$21 \leq S_1 \leq 156 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi yaitu **150 mm**

- Jarak Tepi Baut ( $S_2$ )  
 $1.25 \cdot d_b \leq S_2 \leq 12t_p$   
 $1.25 \cdot 14 \leq S_2 \leq 12 \cdot 14$   
 $17.5 \leq S_2 \leq 168 \text{ mm}$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu **50 mm**

- Kontrol Pelat Penyambung



**Gambar 4. 24** Jumlah dan jarak pemasangan baut gelagar memanjang

Sumber : (Dokumen pribadi)

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*  
 $A_{gv} = (L) \times t_p \times \text{jumlah pelat siku}$

$$= (500) \times 14 \times 2$$

$$= 14000 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 2S_2 \times t_p \times \text{jumlah pelat siku}$$

$$= 2(50) \times 14 \times 2$$

$$= 2800 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (L) - n \times (db + 1.5) \times t_p \times \text{jumlah pelat}$$

$$= 500 - 3 \times (14 + 1.5) \times 14 \times 2$$

$$= 12698 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = ((2S_2 - n \times (db + 1.5))) \times t_p \times \text{jumlah pelat}$$

$$= ((2(50) - 1 \times (14 + 1.5))) \times 14 \times 2$$

$$= 2366 \text{ mm}^2$$

Kuat geser *rupture* nominal :

$$N_n = 0.6 \times A_{nv} \times f_u$$

$$= 0.6 \times 12698 \text{ mm}^2 \times 410 \text{ MPa}$$

$$= 3123708 \text{ N}$$

Kuat tarik *rupture* nominal :

$$N_n = A_{nt} \times f_u$$

$$= 2366 \times 410$$

$$= 970060 \text{ N}$$

Karena  $N_n$  geser  $>$   $N_n$  tarik maka :

$$\phi N_n = 0.75 \times (0.6 \times A_{gv} \times f_u + A_{gt} \times f_y)$$

$$\phi N_n = 0.75 \times (0.6 \times 14000 \times 410 + 2800 \times 290)$$

$$\phi N_n = 3192000 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 3192 \text{ kN} > V_u = 282.16 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

- Kontrol Leleh

$$A_g = A_g \times \text{jumlah Pelat Siku}$$

$$= 7000 \times 2 = 14000 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.9 \times A_g \times f_y$$

$$= 0.9 \times 14000 \times 290$$

$$= 3654000 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 3654 \text{ kN} > V_u = 282.16 \quad \text{(OK)}$$

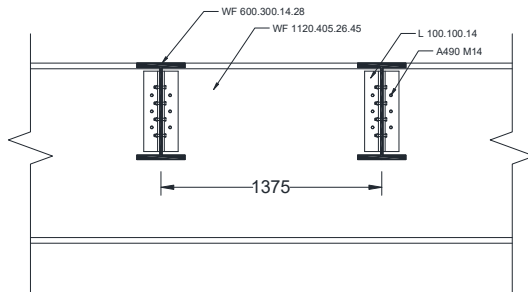
• Kontrol Putus

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \times U \\ &= ((A_g - n(d_b + 1.5) \times t_p)) \times (1 - (i_x/L)) \\ &= ((7000 - 3(14 + 1.5) \times 14)) \times (1 - (30.78/500)) \\ &= 5958.16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0.75 \times A_e \times f_u \\ &= 0.75 \times 5958.16 \times 410 \\ &= 1832134.2 \text{ N} \end{aligned}$$

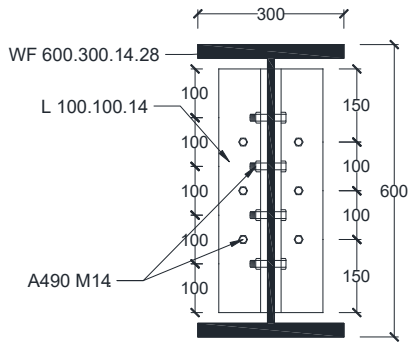
Kontrol :

$$\phi N_n = 1832.1 > V_u = 282.16 \quad \text{(OK)}$$

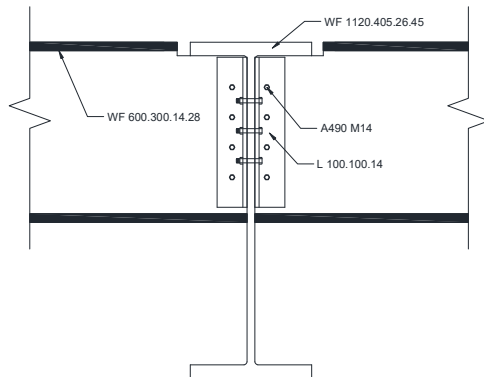


**Gambar 4. 25** Detail Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang

*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 26** Detail Sambungan Gelagar Memanjang  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 27** Detail sambungan potongan tampak samping  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

### 4.3.2 Gelagar Melintang

#### 4.3.2.1 Perencanaan Gelagar Melintang

Untuk perencanaan balok melintang ini digunakan baja dengan mutu BJ 41, dengan ketentuan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan leleh } (f_y) = 250 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan ultimate } (f_u) = 410 \text{ Mpa}$$

$$\text{Modulus Elastisitas } (E) = 200000 \text{ Mpa}$$

Perencanaan gelagar melintang menggunakan profil WF 1120.405.26.45 dengan data detail profil sebagai berikut :

A	= 630.66 cm <sup>2</sup>	i <sub>x</sub>	= 45.12 cm
d	= 1118.12 mm	i <sub>y</sub>	= 8.9 cm
b <sub>f</sub>	= 405 mm	I <sub>x</sub>	= 1284092.1 cm <sup>4</sup>
t <sub>w</sub>	= 26 mm	I <sub>y</sub>	= 49973.04 cm <sup>4</sup>
t <sub>f</sub>	= 45 mm	Z <sub>x</sub>	= 26393.52 cm <sup>3</sup>
r	= 0 mm	Z <sub>y</sub>	= 3862.022 cm <sup>3</sup>
w	= 496.4 kg/m	h	= 1028.19 mm
S <sub>x</sub>	= 22969.02 cm <sup>3</sup>	S <sub>y</sub>	= 2467.013 cm <sup>3</sup>

#### 4.3.2.2 Pembebanan Gelagar Melintang

- Beban mati

Beban mati (Sebelum Komposit)

$$\text{Pelat beton} = 0.25 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3900 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Bondex(w-1000)} = 13.76 \times 5 \times 2 = 137.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Berat G. memanjang} = 175 \times 1.1 \times 5 = 962.5 \text{ kg}$$

$$\text{Berat G. melintang} = 459.06 \times 1.1 = 504.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{D1} = 3900 + 137.6 + 504.96$$

$$Q_{D1} = 4542.56 \text{ kg/m}$$

$$P_{D1} = 962.5 \text{ kg}$$

Beban mati (Setelah Komposit)

$$\text{Aspal} = 0.05 \times 2200 \times 5 \times 2 = 1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_{D2} = 1100 \text{ kg/m}$$

- Beban Hidup (Sesudah komposit)
    - Beban terbagi Rata (BTR)
 

Dikarenakan  $L_{\text{Melintang}}=11 \text{ m}$  maka,  $q_{\text{BTR}} = 9 \text{ kPa}$

$$Q_{\text{BTR}} = q \times L \times \gamma^{U_{TD}}$$

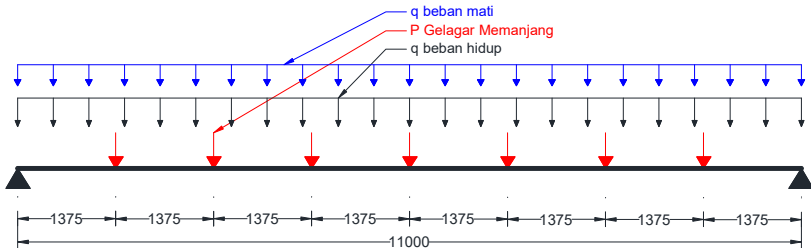
$$= 900 \times 5 \times 2 = 9000 \text{ kg/m}$$
    - Beban Garis Terpusat (BGT)
 
$$Q_{\text{BGT}} = (1 + \text{FBD}) \times p \times \gamma^{U_{TD}}$$

$$= (1 + 0.4) \times 4900 \times 2$$

$$= 12740 \text{ kg/m}$$
- $$Q_{L1} = 12740 + 9000 = 21740 \text{ kg/m}$$

Untuk ilustrasi pembebanan dapat dilihat pada gambar

4.28

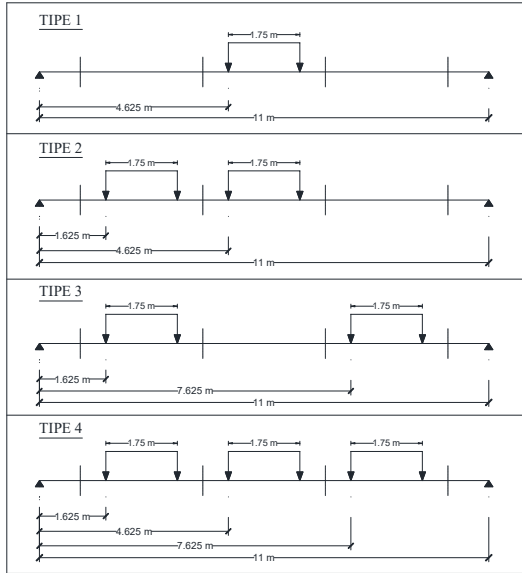


**Gambar 4. 28** Ilustrasi pembebanan beban mati dan hidup  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

- Beban (T)
 

Sesuai kondisinya, pembebanan truk dimodelkan dengan 4 tipe pembebanan agar mendapatkan beban truk yang paling kritis, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.29





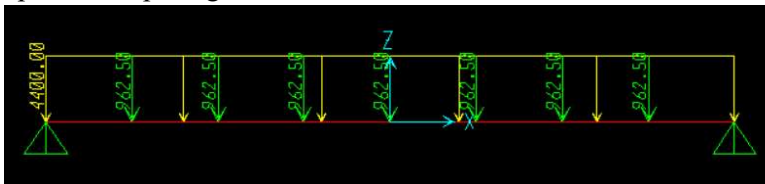
**Gambar 4. 29** Ilustrasi tipe-tipe pembebanan truk (TT)

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

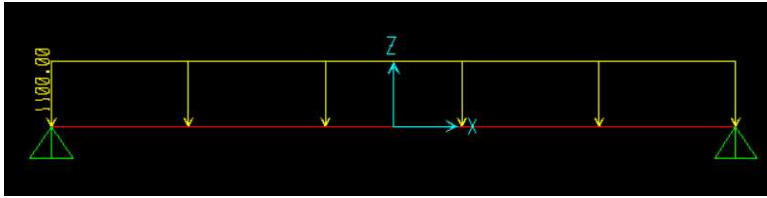
$$\begin{aligned}
 TT &= (1+DLA) \times 11250 \text{ kg} \times \nabla^U_{TD} \\
 &= (1+0.3) \times 11250 \text{ kg} \times 2 \\
 &= 29250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.2.3 Perhitungan Momen dan geser

Untuk perhitungan momen dan geser pada gelagar melintang dilakukan pada program bantu SAP 2000. Untuk pembebanan beban mati, hidup(BTR dan BGT), dan beban truk dapat dilihat pada gambar 4.30 dan 4.31.

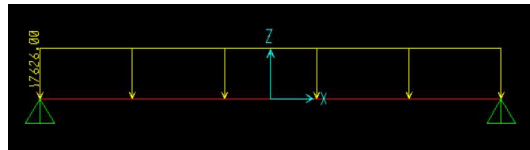


(a) Beban mati  $Q_{D1}$  dan  $P_{D1}$

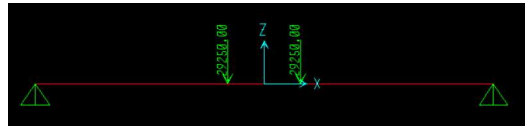


(b) Beban mati  $Q_{D2}$

**Gambar 4. 30** Permodelan beban mati pada gelagar melintang  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



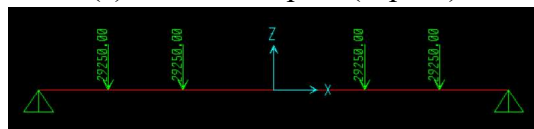
(a) Beban Hidup (BTR+BGT)



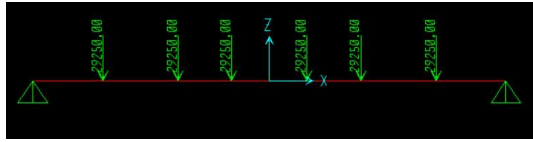
(b) Beban Hidup TT(Tipe I)



(c) Beban Hidup TT(Tipe II)



(d) Beban Hidup TT(Tipe III)



(d) Beban Hidup TT (Type IV)

**Gambar 4. 31** Permodelan beban hidup dan TT pada gelagar melintang

Sumber : (Dokumen pribadi)

Berikut adalah besaran momen, dan geser akibat beban mati dan beban hidup:

- Geser (V)

Dari analisa SAP 2000, didapatkan masing-masing besaran geser (V) yang disajikan dalam tabel 4.5 :

**tabel 4. 5** Hasil analisa geser (V) SAP 2000

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2 (kg)
G. Melintang	0	D + SDL 1 (Q <sub>D1</sub> + P <sub>D1</sub> )	Combination	30322.5
G. Melintang	0	D + SDL 2 (Q <sub>D2</sub> )	Combination	8803.7
G. Melintang	0	LIVE 1 (BTR&BGT)	LinStatic	<b>96943.0</b>
G. Melintang	0	LIVE TT (1)	LinStatic	29250.0
G. Melintang	0	LIVE TT(2)	LinStatic	78309.4
G. Melintang	0	LIVE TT(3)	LinStatic	58500.0
G. Melintang	0	LIVE TT(4)	LinStatic	87750.0

Maka,

$$V_U = V_{Q_{D1}+P_{D1}} + V_{Q_2} + V_{LIVE(BTR+BGT)}$$

$$V_U = 30322.5 + 8803.7 + 96943 \text{ kg}$$

$$V_U = \mathbf{136069.2 \text{ kg}}$$

- Momen (M)

Dari analisa SAP 2000, didapatkan masing-masing besaran geser (M) yang disajikan dalam tabel 4.6 :

**tabel 4. 6** Hasil analisa momen (M) SAP 2000

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
<b>Frame</b>	<b>Station</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>M3 (kg.m)</b>
G. Melintang	0	D + SDL 1 (Q <sub>D1</sub> + P <sub>D1</sub> )	Combination	84644.88
G. Melintang	0	D + SDL 2 (Q <sub>D2</sub> )	Combination	24144.88
G. Melintang	0	LIVE 1 (BTR&BGT)	LinStatic	266593.25
G. Melintang	0	LIVE TT (1)	LinStatic	135281.25
G. Melintang	0	LIVE TT(2)	LinStatic	220039.77
G. Melintang	0	LIVE TT(3)	LinStatic	146250
G. Melintang	0	LIVE TT(4)	LinStatic	<b>281531.25</b>

Maka,

$$M_U = M_{Q_{D1}+P_{D1}} + M_{Q2} + M_{LIVE\ TT(4)}$$

$$M_U = 84644.8 \text{ kgm} + 24144.8 \text{ kgm} + 281531.25 \text{ kgm}$$

$$M_U = \mathbf{390320.85 \text{ kgm}}$$

#### 4.3.2.4 Kontrol Profil Gelagar Melintang

- Kuat Rencana Geser

Sebelum Komposit

Kontrol penampang :

$$K_n : 5 + \frac{5}{\left(\frac{0.6875}{1.02}\right)^2} = 16.18$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &: \frac{h}{tw} \leq 1.1 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} \\ &: \frac{1028.19}{26} \leq 1.1 \sqrt{\frac{16.18 \cdot 200000}{250}} \\ &: 34.7 \leq 125.16 \quad \mathbf{(OK)} \end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times 250 \times (1028.19 \times 26) \\ &= 3994518.15 \text{ N} = 399451.8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{U\text{-max}} = 136069.2 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\emptyset V_n &= 0.9 * 399451.8 \text{ kg} = 359506.6 \text{ kg} \\ \emptyset V_n &= 359506.6 \text{ kg} > V_u = 136069.2 \text{ kg} \quad \text{(OK)}\end{aligned}$$

- Kontrol *Local Buckling*

Sebelum Komposit

Kontrol Penampang :

$$\begin{aligned}\text{Sayap} &= \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\ &= \frac{405}{2(45)} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} = 4.5 < 10.75 \quad \text{(OK)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Badan} &= \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \\ &= \frac{1028.19}{26} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} = 39.68 < 106.25 \quad \text{(OK)}\end{aligned}$$

Penampang kompak, maka  $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot f_y \quad \text{(SNI 1729-2015, f2-1)} \\ &= 26393.5 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 65983810 \text{ kgcm} = 659838.1 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset M_n &= 0.9 \times M_n \quad \text{(SNI 1729-2015, f1-1)} \\ &= 0.9 \times 659838.1 \\ &= 593854.3 \text{ kgm} > M_u = 390320.85 \text{ kgm} \\ &\quad \text{(OK)}\end{aligned}$$

- Kontrol *Lateral Buckling*

$$L_B = 137.5 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}L_P &= 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{(SNI 1729-2015, f2-5)} \\ &= 1.76 \times 89 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}} \\ &= 4431.2 \text{ mm} = 443.12 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$L_R = i_y \times \left( \frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{x_2 f l^2}} \quad \text{(RSNI-T=03-2005,}$$

Tabel 8)

$$= 1431.87 \text{ cm}$$

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_L = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 ; \text{ pelat badan } b = d - 2t_f = 1118.12 - 2(45) = 1028.19 \text{ mm}$$

$$= \left( \frac{1}{3} \times 102.819 \times 4.49^2 \right) + 2 \left( \frac{1}{3} \times 40.5 \times 2.59^2 \right) \\ = 3349.24 \text{ cm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{h'^2}{4} ; h' = d - t_f = 1118.12 - 45 = 107.315 \text{ mm}$$

$$= 44973 \times \frac{107.315^2}{4} \\ = 143878744 \text{ cm}^6$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{\frac{EGJA}{2}} ; \text{ Modulus geser (G)} = 800000 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{\pi}{22969} \times \sqrt{\frac{2.10^6 \times 8.10^5 \times 3379.24 \times 630.66}{2}} ; \text{ Modulus geser (G)} \\ = 177706.4157 \text{ kg/cm}^2$$

$$X_2 = 4 \times \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y}$$

$$= 4 \times \left( \frac{22969}{8.10^5 \times 3349.26} \right)^2 \times \frac{143878744}{49973} \\ = 8.46 \times 10^{-7} \text{ kg/cm}^2$$

$$L_R = i_y \times \left( \frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{X_2 \times f_L^2}}$$

$$= 8.9 \times \left( \frac{177706.4157}{1800} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{8.46 \times 10^{-7} \times 1800^2}} \\ = 1431.87 \text{ cm}$$

$$L_P = 443.12 \text{ cm}, L_B = 137.5 \text{ cm}, L_R = 1431.87 \text{ cm}$$

Karena  $L_B < L_P < L_R$  maka termasuk dalam bentang pendek.

Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
M_n &= M_p \\
M_p &= Z_x \cdot f_y \\
&= 26393.5 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 \\
&= 65983750 \text{ kgcm} \\
\phi M_n &= 0.9 \times 65983750 \\
&= 659837.5 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 659837.5 \text{ kgm} > M_u = 390320.85 \text{ kgm} \quad \text{(OK)}$$

- Kapasitas Momen

Sesudah Komposit

Lebar efektif pelat

Lebar efektif lantai harus diambil sebagai nilai terkecil dari :

$$B_{\text{eff}} = \frac{1}{5} \times 11 = 2.2 \text{ m}$$

$B_{\text{eff}} = 5 \text{ m}$  (jarak antar gelagar melintang)

Lebar efektif pelat beton diambil yang terkecil yaitu 2200 mm

Menentukan garis netral

Diketahui :

$$f_c = 40 \text{ MPa}$$

$$A_s' = 11304 \text{ mm}^2$$

$$f_y' = 390 \text{ MPa}$$

$$A_s = 63066.1 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

Dimana :

$$C_1 = C \text{ beton}$$

$$C_2 = C \text{ profil baja}$$

$$c_c = c \text{ beton}$$

$$c_s = c \text{ tulangan}$$

maka jarak garis netral didapat :

$$\begin{aligned}
c_c &= 0.85 \cdot f_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \\
&= 0.85 \cdot 40 \cdot 2200 \cdot 250
\end{aligned}$$

$$= 18700000 \text{ N}$$

$$c_s = A_s' \cdot f_y$$

$$= 11304.390$$

$$= 4408560 \text{ N}$$

$$C_1 = c_s + c_c$$

$$= 11304.390$$

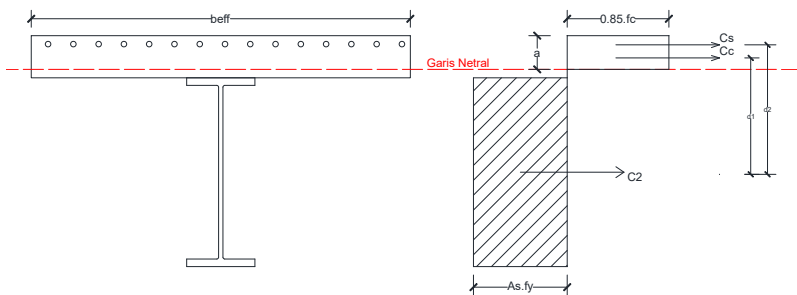
$$= 23108560 \text{ N}$$

$$C_2 = A_s \cdot f_y$$

$$= 63066.1 \times 250$$

$$= 15766517.5 \text{ N}$$

$C_1 > C_2$ , maka garis netral jatuh di beton



**Gambar 4. 32** Gambar diagram profil

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Mencari jarak :

$$a = \frac{C_2 - A_s' f_y'}{0.85 \cdot f_c \cdot b_{eff}}$$

$$= \frac{15766517.5 - 11304.390}{0.85 \cdot 40.2200}$$

$$= 151.8 \text{ mm}$$

$$d_1 = (h+d) - (h/2) - (a/2)$$

$$= (1118.1+250) - (1118.1/2) - (151.8/2)$$

$$= 733.15 \text{ mm}$$

$$d_1 = (h+d) - (h/2) - \text{selimut beton}$$



$$= (1118.1+250) - (1118.1/2) - 40$$

$$= 768.75 \text{ mm}$$

Kemampuan balok komposit :

$$M_n = (0.85 \cdot f_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot a \cdot d_1) + (A_s \cdot f_y \cdot d_2)$$

$$= (0.85 \cdot 40 \cdot 2200 \cdot 151 \cdot 8.733 \cdot 15) + (63066 \cdot 250 \cdot 768.75)$$

$$= 20439667230 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \cdot M_n$$

$$= 0.9 \cdot 20439667230 \text{ Nmm}$$

$$= 18395700510 \text{ Nmm} = 1839570 \text{ kgm}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 1839570 \text{ kgm} > \mu_u = 390320.85 \text{ kgm} \text{ (OK)}$$

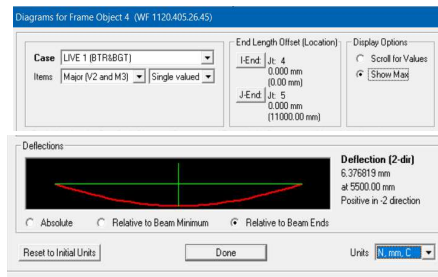
- Kontrol Lendutan

Berdasarkan RSNI T-03 2005 pasal 4.7.4. syarat lendutan yaitu :  $\delta' \leq \delta$ , dimana  $\delta$  adalah lendutan izin, sedangkan  $\delta'$  adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\delta = \frac{\lambda}{800} = \frac{1100}{800} = 1.375 \text{ cm} = 13.75 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 seperti yang terlihat pada gambar 4.33 Dan gambar 4.34 , dapat diketahui lendutan yang terjadi oleh beban hidup tanpa faktor adalah sebagai berikut :

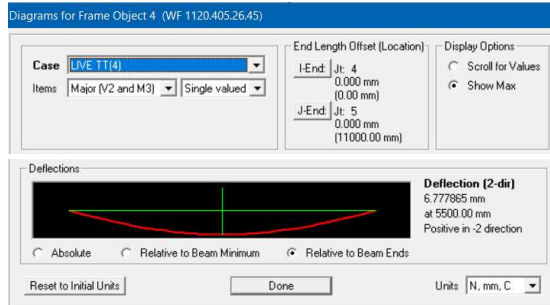
- Akibat beban BGT dan BTR



**Gambar 4. 33** Hasil analisa SAP 2000 untuk lendutan yang terjadi akibat beban hidup (BTR+BGT)

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

- Akibat Beban Truk (IV)



**Gambar 4. 34** Hasil analisa SAP 2000 untuk lendutan akibat beban TT (IV)

Sumber : (Dokumen pribadi)

$$\delta'_{max} = 6.77 \text{ mm} \leq \delta_{izin} = 13.75 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- Perhitungan Kebutuhan *Shear Connector*

*Shear connector* merupakan tipe D-22 dengan  $A_s$  yaitu 388.12 mm<sup>2</sup>, Tinggi stud yaitu 100mm, dan jarak antar stud sebesar 150 mm dengan mutu  $F_u$  yaitu 550 MPa. Untuk perhitungan kekuatan *shear connector* dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{40} \\ &= 29725.4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$A_s = 388.12 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 \times A_s \times \sqrt{f'_c \times E_c} \\ &= 0.5 \times 388.12 \times \sqrt{40 \times 29725.4} \\ &= 211606.92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$R_g = 1 \quad (\text{SNI 1729:2015})$$

$$R_p = 0.75 \quad (\text{SNI 1729:2015})$$

$$\begin{aligned} Q_n' &= A_s \times F_u \times R_g \times R_p \\ &= 388.12 \times 550 \times 1 \times 0.75 \end{aligned}$$

$$= 160099.5 \text{ N}$$

$$Q_n > Q_n' \quad (\text{Diambil } Q_n')$$

Perhitungan kebutuhan *shear connector*

$$\begin{aligned} V_u &= A_s \cdot f_y \\ &= 630.66 \cdot 2500 \\ &= 1576650 \text{ kg} = 15766500 \text{ N} \end{aligned}$$

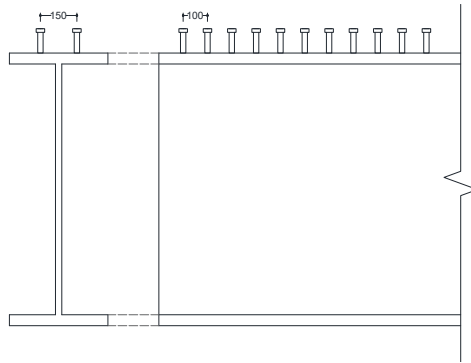
$$Q_n = 160099.5 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_u}{Q_n} = \frac{15766500 \text{ N}}{160099.5 \text{ N}} = 98.48 = 100 \text{ (Setengah bentang)}$$

100 buah *Shear Connector* dipasang pada setengah bentang gelagar melintang.

*Shear Connector* dipasang 2 baris pada penampang gelagar melintang seperti pada gambar 4.34, maka sepanjang gelagar melintang terdapat 100 buah *shear connector*.

$$s \text{ (jarak)} = \frac{11000}{100} = 110 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 35** Pemasangan *Shear connector*

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 4.3.2.5 Sambungan Gelagar Melintang

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut :

$$V_u = 136069.2 \text{ kg} = 1360.69 \text{ kN}$$

- Baut  
Desain Baut M27 dengan ASTM A490 produk dari *Rockside* :  
 $D_{\text{baut}} = 27 \text{ mm}$   
 $T_{\text{b}} = 381 \text{ kN}$   
 $A_{\text{baut}} = 572.8 \text{ mm}^2$
- Pelat Penyambung (Siku 300.300.25 BJ 41)  
 $T_{\text{p}} = 25 \text{ mm}$  (2 bidang geser)  
 $L = 500 \text{ mm}$   
 $F_{\text{u}} = 410 \text{ MPa}$   
 $F_{\text{y}} = 250 \text{ MPa}$

- Sambungan pada Gelagar Melintang  
Kuat nominal satu (1) baut

- Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip)

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-4})$$

Dimana,

$$\mu = 0.5 \text{ (koef. Slip untuk baut grup B A490)}$$

$$D_u = 1.13$$

$$h_f = 1 \text{ (faktor untuk pengisi)}$$

$$T_b = 638.1 \text{ kN (proof load baut dilihat pada brosur)}$$

$$n_s = 2 \text{ (jumlah bidang slip)}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \\ &= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 381 \text{ kN} \times 2 \\ &= 430.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 430.5, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\ &= \mathbf{430.5 \text{ kN}} \end{aligned}$$

- Kuat Tumpu

$$R_n = F'_{\text{nt}} \cdot A_b \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-3})$$

Dimana,

$F'_{nt}$  = tegangan tarik nominal

$A_b$  = luas baut

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\ &= 830 \text{ MPa} \times 572.8 \text{ mm}^2 \\ &= 475424 \text{ N} = 475.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 475.4 \\ &= 475.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka digunakan Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip) sebesar **430.5 kN**

- Kebutuhan Jumlah Baut (n)

$$n = \frac{Vu}{\phi Vd} = \frac{1360.69 \text{ kN}}{430.5 \text{ kN}} = 3.16 = 4 \text{ baut}$$

- Penentuan Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot 27 \leq S \leq 15 \cdot 25 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$81 \leq S \leq 375 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu **100 mm**

- Jarak Tepi Baut ( $S_1$ ) (SNI 1729-2015 J3.4)

Sesuai dengan tabel J3.4M SNI 1729-2015, dipakai jarak tepi minimum untuk baut  $D_b = 27 \text{ mm}$  sebesar :

$$S_1 \geq 34$$

Dipakai nilai  **$S_1 = 100 \text{ mm}$**

- Jarak Tepi Baut ( $S_2$ )

$$1.25 \cdot d_b \leq S_2 \leq 12 t_p$$

$$1.25 \cdot 27 \leq S_2 \leq 12 \cdot 25$$

$$33.75 \leq S_2 \leq 300 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu **150 mm**

- Sambungan pada Box Girder

• Kuat Geser

$$\begin{aligned} R_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \\ &= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 381 \text{ kN} \times 1 \\ &= 215.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 215.3, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\ &= \mathbf{215.3 \text{ kN}} \end{aligned}$$

• Kuat Tumpu Rencana Baut

$$\begin{aligned} R_n &= F'_{nt} \cdot A_b \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-3}) \\ &= 830 \text{ MPa} \times 572.8 \text{ mm}^2 \\ &= 475.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 475.4 \\ &= 475.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka digunakan Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip) sebesar **215.3 kN**

• Kebutuhan Jumlah Baut (n)

$$n = \frac{Vu}{\phi v d} = \frac{1360 \text{ kN}}{215.3 \text{ kN}} = 6.3 = 8 \text{ baut}$$

• Penentuan Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot 27 \leq S \leq 15 \cdot 25 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$81 \leq S \leq 375 \text{ mm atau } 20 \text{ cm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu **100 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>1</sub>) (SNI 1729-2015 J3.4)

Sesuai dengan tabel J3.4M SNI 1729-2015, dipakai jarak tepi minimum untuk baut D<sub>b</sub> = 27 mm sebesar :

$$S_1 \geq 34$$

Dipakai nilai **S<sub>1</sub> = 100 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>2</sub>)

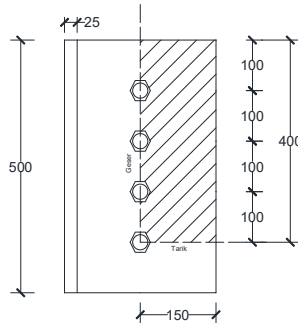
$$1.25 \cdot d_b \leq S_2 \leq 12t_p$$

$$1.25 \cdot 27 \leq S_2 \leq 12 \cdot 25$$

$$33.75 \leq S_2 \leq 300 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu **150 mm**

- Kontrol Pelat Penyambung



**Gambar 4. 36** Pelat penyambung

Sumber : (Dokumen pribadi)

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned} A_{gv} &= (3S + S_1) \times t_p \times \text{jumlah pelat siku} \\ &= (400) \times 25 \times 2 \\ &= 20000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{jumlah pelat siku} \\ &= 150 \times 25 \times 2 \\ &= 7500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= ((3S + S_1) - 3.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{jumlah pelat} \\ &= ((400) - 3.5 \times (27 + 1.5)) \times 25 \times 2 \\ &= 14487.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nt} &= ((S_2 - 0.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{jumlah pelat} \\ &= ((150) - 0.5 \times (27 + 1.5)) \times 25 \times 2 \\ &= 6712.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat geser *rupture* nominal :

$$N_n = 0.6 \times A_{nv} \times f_u$$

$$= 0.6 \times 14487.5 \text{ mm}^2 \times 410 \text{ MPa}$$

$$= 3563925 \text{ N}$$

Kuat tarik *rupture* nominal :

$$N_n = A_{nt} \times f_u$$

$$= 6712.5 \times 410$$

$$= 2752125 \text{ N}$$

Karena  $N_n$  geser  $>$   $N_n$  tarik maka :

$$\phi N_n = 0.75 \times (0.6 \times A_{gv} \times f_u + A_{gt} \times f_y)$$

$$\phi N_n = 0.75 \times (0.6 \times 20000 \times 410 + 7500 \times 290)$$

$$\phi N_n = 5321250 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 5321.25 \text{ kN} > V_u = 1360.69 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

- Kontrol Leleh

$$A_g = A_g \times \text{jumlah Pelat Siku}$$

$$= 6250 \times 2 = 12500 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.9 \times A_g \times f_y$$

$$= 0.9 \times 12500 \times 290$$

$$= 3262500 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 3262.5 \text{ kN} > V_u = 1360.69 \quad \textbf{(OK)}$$

- Kontrol Putus

$$A_e = A_n \times U$$

$$= ((A_g - 1(d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) \times (1 - (i_x/L))$$

$$= ((6250 - 1(27 + 1.5) \times 25) \times 2) \times (1 - (93/300))$$

$$= 4824.7 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.75 \times A_e \times f_u$$

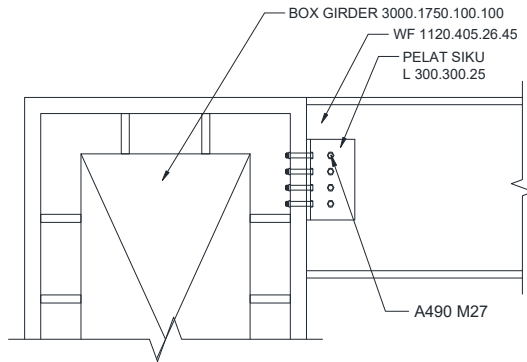
$$= 0.75 \times 4824.7 \times 410$$

$$= 1483592.2 \text{ N}$$

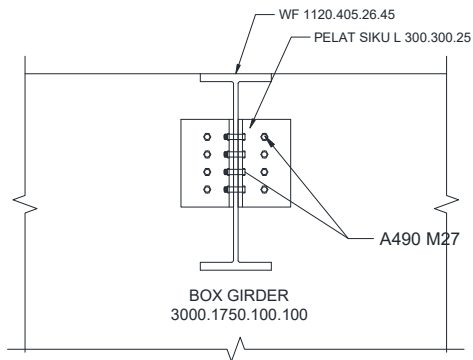
Kontrol :

$$\phi N_n = 1483.5 > V_u = 1360.69 \quad \textbf{(OK)}$$

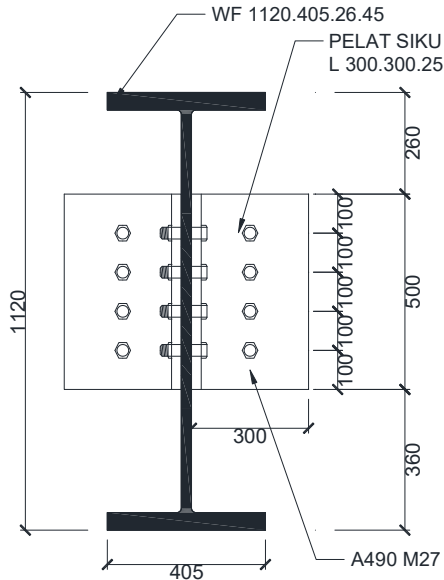




**Gambar 4. 37** Detail sambungan gelagar melintang ke box girder  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 38** Detail sambungan potongan tampak samping  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 39** Detail sambungan gelagar melintang

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

### 4.3.3 Gelagar Kantilever

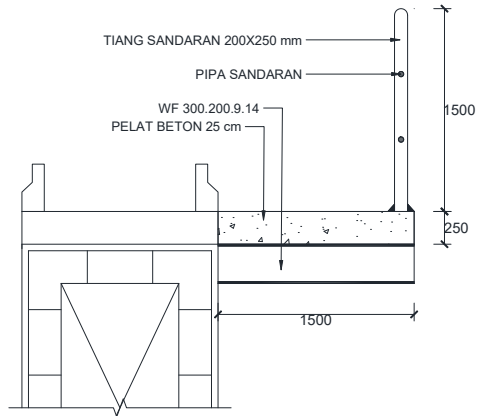
#### 4.3.3.1 Perencanaan Gelagar Kantilever

Untuk perencanaan balok melintang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41 seperti pada gambar 4.40, dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh ( $f_y$ ) = 250 MPa

Tegangan Ultimate ( $f_u$ ) = 410 MPa

Modulus Elastisitas ( $E$ ) = 200000 MPa



**Gambar 4. 40** Gelagar kantilever jembatan  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Perencanaan gelagar kantilever menggunakan profil WF 300.200.9.14 dengan data detail profil sebagai berikut :

A	= 83.36 cm <sup>2</sup>	i <sub>x</sub>	= 12.6 cm
d	= 298 mm	i <sub>y</sub>	= 4.77 cm
b <sub>f</sub>	= 201 mm	I <sub>x</sub>	= 13300 cm <sup>4</sup>
t <sub>w</sub>	= 9 mm	I <sub>y</sub>	= 1900 cm <sup>4</sup>
t <sub>f</sub>	= 14 mm	Z <sub>x</sub>	= 963 cm <sup>3</sup>
r	= 14 mm	Z <sub>y</sub>	= 288 cm <sup>3</sup>
w	= 65.4 kg/m	h	= 234mm

#### 4.3.3.2 Pembebanan Gelagar Kantilever

- Beban mati

$$\text{Pelat beton} = 0.25 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3900 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Tiang Sandaran} = (0.075) \times 2400 \times 2 = 360 \text{ kg}$$

$$\text{Pipa Sandaran} = (5.44) \times 5 \times 2 = 54.5 \text{ kg}$$

$$\text{Bondex(w-1000)} = 13.76 \times 5 \times 2 = 137.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Berat G. Kantilever} = 65.4 \times 1.1 = 71.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Q_D = 3900 + 137.6 + 71.9$$

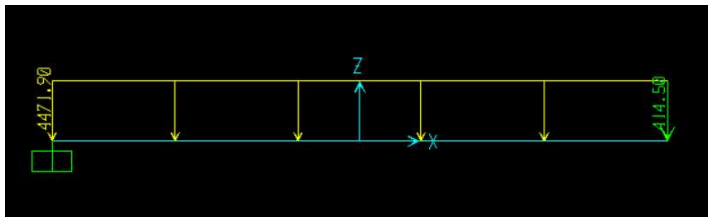
$$\begin{aligned}
 &= 4109.5 \text{ kg/m} \\
 P_D &= 360 + 54.5 \\
 &= 414.5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban Hidup (Sesudah komposit)
  - Beban pejalan kaki (TP)

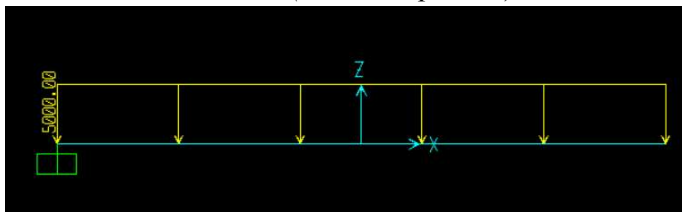
$$\begin{aligned}
 Q_{TP} &= q \times L \times \gamma^{UMS} \\
 &= 500 \times 5 \times 2 = 5000 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.3.3 Perhitungan Momen dan Geser

Untuk perhitungan momen dan geser pada gelagar kantilever dilakukan pada program bantu SAP 2000. Untuk pembebanan beban mati, dan hidup (TP) dapat dilihat pada gambar 4.41 dan 4.42.



**Gambar 4. 41** Permodelan beban mati pada gelagar kantilever  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 42** Permodelan beban hidup(TP) pada gelagar kantilever  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Berikut adalah besaran momen, dan geser akibat beban mati dan beban hidup:

- Geser (V)

Dari analisa SAP 2000, didapatkan masing-masing besaran geser (V) yang disajikan dalam tabel 4.7 :

**tabel 4. 7** Hasil analisa geser (V) oleh SAP 2000

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2 (kg)
G. Kantilever	0	DEAD	LinStatic	94.75
G. Kantilever	0	SDL1	LinStatic	7122.35
G. Kantilever	0	LIVE (TP)	LinStatic	7500

Maka,

$$V_U = V_D + V_{Qd+Pd} + V_{L TP}$$

$$V_U = 94.75 + 7122.35 + 7500 \text{ kg}$$

$$V_U = \mathbf{14717.1 \text{ kg}}$$

- Momen (M)

Dari analisa SAP 2000, didapatkan masing-masing besaran momen (M) yang disajikan dalam tabel 4.8 :

**tabel 4. 8** Hasil analisa momen (M) oleh SAP 2000

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M3 (kgm)
G. Kantilever	0	DEAD	LinStatic	71.07
G. Kantilever	0	SDL1	LinStatic	5652.64
G. Kantilever	0	LIVE (TP)	LinStatic	5625

Maka,

$$M_U = M_D + M_{Qd+Pd} + M_{L TP}$$

$$M_U = 71.07 + 5652.64 + 5625 \text{ kgm}$$

$$M_U = \mathbf{11348.7 \text{ kgm}}$$

#### 4.3.3.4 Kontrol Profil Gelagar Kantilever

- Kuat Rencana Geser

Kontrol penampang :

$$K_n : 5$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &: \frac{h}{tw} \leq 1.1 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} \\ &: \frac{234}{9} \leq 1.1 \sqrt{\frac{5 \cdot 200000}{250}} \\ &: 26 \leq 69.27 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times 250 \times (234 \times 9) \\ &= 315900 \text{ N} = 31590 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{U\text{-max}} = 14717.1 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 31590 \text{ kg} = 28431 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 28431 \text{ kg} > V_u = 14717.1 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

- Kontrol *Local Buckling*

Kontrol Penampang :

$$\begin{aligned} \text{Sayap} &= \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{201}{2(14)} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} = 7.17 < 10.75 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &= \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{234}{9} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} = 26 < 106.25 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka  $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \quad \text{(SNI 1729-2015, f2-1)} \\ &= 963 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 2407500 \text{ kgcm} = 24075 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times M_n \quad \text{(SNI 1729-2015, f1-1)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.9 \times 24075 \\
 &= 21667.5 \text{ kgm} > M_U = 11348.7 \text{ kgm} \quad \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol *Lateral Buckling*

$$L_B = 150 \text{ cm}$$

$$L_P = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{SNI 1729-2015, f2-5})$$

$$= 1.76 \times 47.7 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$$= 2374.5 \text{ mm} = 237.45 \text{ cm}$$

$$L_R = i_y \times \left( \frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{x_2 f l^2}} \quad (\text{RSNI-T=03-2005,}$$

Tabel 8)

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_L = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 ;$$

$$= \left( \frac{1}{3} \times 23.4 \times 0.9^2 \right) + 2 \left( \frac{1}{3} \times 20.1 \times 1.4^2 \right)$$

$$= 32.58 \text{ cm}^4$$

$$I_w = I_y \times \frac{h'^2}{4} ; h' = d - t_f = 298 - 14 = 284 \text{ mm}$$

$$= 1900 \times \frac{28.4^2}{4}$$

$$= 383116 \text{ cm}^6$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{\frac{E G J A}{2}} ; \text{Modulus geser (G)} = 800000 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{\pi}{864.6} \times \sqrt{\frac{2.10^6 \times 8.10^5 \times 32.58 \times 83.36}{2}}$$

$$= 114939.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \times \left(\frac{Sx}{GJ}\right)^2 \times \frac{Iw}{Iy} \\
 &= 4 \times \left(\frac{864.6}{8.10^5 \times 32.58}\right)^2 \times \frac{383116}{1900} \\
 &= 8.87 \times 10^{-7} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_R &= iy \times \left(\frac{x_1}{fy - fr}\right) \times \sqrt{1 + \sqrt{X_2 \times f_L^2}} \\
 &= 4.77 \times \left(\frac{114939.5}{1800}\right) \times \sqrt{1 + \sqrt{8.87 \times 10^{-7} \times 1800^2}} \\
 &= 500.05 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$L_P = 237.45 \text{ cm}, L_B = 150 \text{ cm}, L_R = 500.05 \text{ cm}$$

Karena  $L_B < L_P < L_R$  maka termasuk dalam bentang pendek. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = M_P$$

$$\begin{aligned}
 M_P &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 963 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 2407500 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.9 \times 24075 \\
 &= 21667.5 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 21667.5 \text{ kgm} > M_u = 11348.7 \text{ kgm} \quad \text{(OK)}$$

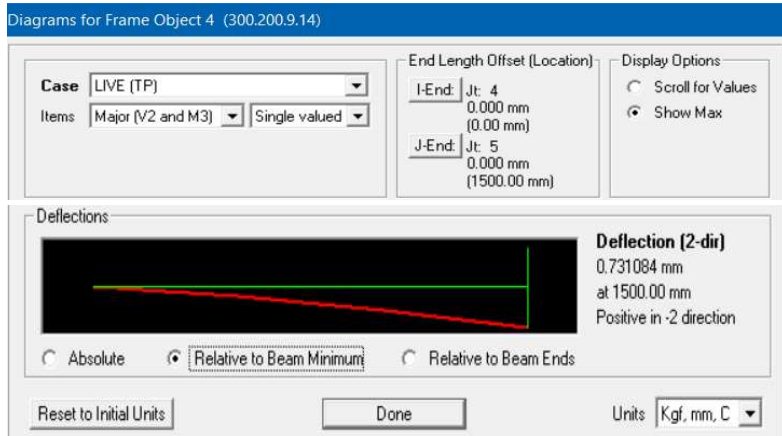
#### - Kontrol Lendutan Profil

Berdasarkan RSNI T-03 2005 pasal 4.7.4. syarat lendutan yaitu :  $\delta' \leq \delta$ , dimana  $\delta$  adalah lendutan izin, sedangkan  $\delta'$  adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\delta = \frac{\lambda}{800} = \frac{150}{800} = 0.1875 \text{ cm} = 1.875 \text{ mm}$$



Berdasarkan hasil analisa SAP2000 seperti yang terlihat pada gambar 4.43 , dapat diketahui lendutan yang terjadi oleh beban hidup tanpa faktor adalah sebagai berikut :



**Gambar 4. 43** Hasil analisa SAP2000 untuk lendutan akibat beban hidup

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

$$\delta'_{max} = 0.73 \text{ mm} \leq \delta_{izin} = 1.875 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

#### 4.3.3.5 Sambungan Gelagar Kantilever

Pada sambungan gelagar kantilever-Box Girder digunakan sambungan las (WF-Box Girder) dan baut dengan pelat penyambung,  $t=15 \text{ mm}$ . dengan gaya sebagai berikut :

$$V_u = 14717.1 \text{ kg} = 147.17 \text{ kN}$$

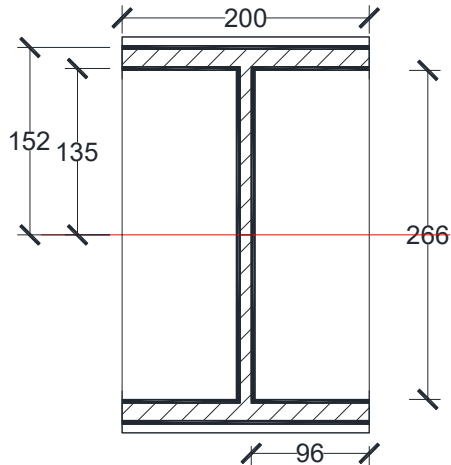
$$M_u = 11348.7 \text{ kgm} = 113.48 \text{ kN.m}$$

- Sambungan Las

Digunakan las dengan mutu las  $F_{E70XX}$ , dan perencanaan sebagai berikut :

$$\text{Tebal las rencana (tw)} = 3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal Las Efektif (w)} &= 0,707 \cdot 3 = 2.121 \text{ mm} \\ \text{Panjang efektif Las (Lw)} &= (96.4)+(266.2)+(200.2) \\ &= 1316 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 44** Penampang Sambungan Las  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Dari gambar 4.44 mengenai Penampang sambungan las pada gelagar kantilever, maka didapatkan :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi (0.6 \times (F_{E70xx}) \times 0.707 \times tw \times lw) \\ &= 0.75 (0.6 \times 482 \text{ MPa} \times 0.707 \times 3 \times 1316) \\ &= 605419.088 \text{ N} \\ &= 605.4 \text{ kN} > V_u = 147.17 \text{ kN} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

$$M_R = \phi \cdot M_n$$

$$M_n \text{ las} = Z_x \text{ las} * f_{y \text{ las}}$$

$$\begin{aligned} Z_x \text{ las} &= 2(200.3.152)+4(96.3.135)+2(266.3.135) \\ &= 553380 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$M_n \text{ las} = 482 \text{ MPa} \cdot 553380 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}
&= 226.729 \text{ kN.m} \\
\phi M_{n_{\text{las}}} &= 0.9 * 226.729 \\
&= 240.05 \text{ kN.m} > M_u = 113.438 \text{ kN m} \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

- Sambungan Baut

Sambungan baut menggunakan pelat penyambung pada bagian badan (geser), dan sayap (momen) profil WF. Desain Baut M16 dengan ASTM A490 produk dari *Rockside* :

$$\begin{aligned}
D_{\text{baut}} &= 16 \text{ mm} \\
\text{Proof load } (T_b) &= 130.3 \text{ kN} \\
A_{\text{baut}} &= 201.14 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Pelat Penyambung

$$\begin{aligned}
T_p &= 14 \text{ mm} \\
F_u &= 410 \text{ MPa} \\
F_y &= 250 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Perencanaan sambungan pada pelat badan

Pembagian beban momen :

$$\begin{aligned}
M_{u\text{-badan}} &: (I_{\text{badan}}/I_{\text{profil}}) * M_u \\
&: (1509.27 \text{ cm}^3/13300 \text{ cm}^3) * 113.48 \text{ kN.m} \\
&: 12.9 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{u\text{-sayap}} &: M_u - M_{u\text{-badan}} \\
&: 113.48 - 12.9 = 100.58 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Kuat nominal satu (1) baut

- Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip)

$$\begin{aligned}
R_{nv} &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-4}) \\
&= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 130.3 \text{ kN} \times 1 \\
&= 73.619 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi R_{nv} &= 1 \cdot 73.619, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\
&= \mathbf{73.619 \text{ kN (menentukan)}}
\end{aligned}$$

- Kuat Tarik Baut

$$R_{nt} = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s$$

$$= 0.75 \times 1.13 \times 1 \times 130.3 \text{ kN} \times 1$$

$$= 110.43 \text{ kN}$$

$$\phi R_{nt} = 1 \cdot 110.43, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart}$$

$$= 110.43 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya kopel sayap} \quad : Tu = M_u/d = 100.58 \text{ kN.m} / 0.286 \text{ m}$$

$$= 351.678 \text{ kN}$$

- Kebutuhan Jumlah Baut (n)

$$n = \frac{Tu}{\phi Rn} = \frac{351.678 \text{ kN}}{73.619 \text{ kN}} = 4.77 = 6 \text{ baut}$$

- Penentuan Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 15 t_p \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$3 \cdot 16 \leq S \leq 15 \cdot 14 \text{ atau } 20 \text{ cm}$$

$$48 \leq S \leq 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut yaitu **50 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>1</sub>)

$$1.25 \cdot d_b \leq S_2 \leq 12 t_p$$

$$1.25 \cdot 16 \leq S_2 \leq 12 \cdot 14$$

$$20 \leq S_2 \leq 168 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi yaitu **50 mm**

- Perencanaan sambungan pada pelat badan

- Penentuan Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S$$

Maka digunakan jarak baut yaitu **75 mm**

- Jarak Tepi Baut (S<sub>1</sub>)

$$1.25 \cdot d_b \leq S_2 \leq 12 t_p$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi yaitu **50 mm**

Kuat nominal satu (1) baut

- Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip)

$$\begin{aligned}
 R_{nv} &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-4}) \\
 &= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 130.3 \text{ kN} \times 2 \\
 &= 147.2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nv} &= 1 \cdot 147.2, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\
 &= \mathbf{147.2 \text{ kN (menentukan)}}
 \end{aligned}$$

- Kuat Tarik Baut

$$\begin{aligned}
 R_{nt} &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \\
 &= 0.75 \times 1.13 \times 1 \times 130.3 \text{ kN} \times 2 \\
 &= 220.9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nt} &= 1 \cdot 220.9, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\
 &= 220.9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perencanaan cara elastis :

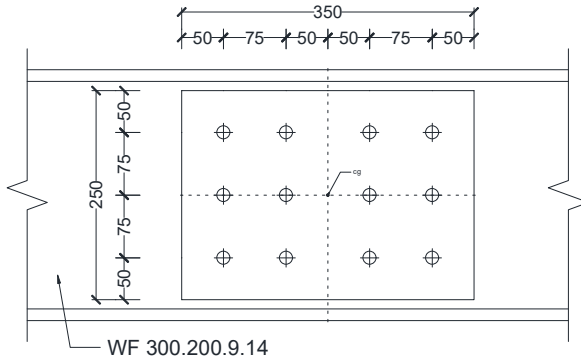
Asumsi  $e = 90 \text{ mm}$

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan :

$$\begin{aligned}
 M_{u\text{total}} &= M_{u\text{-badan}} + V_u \cdot e = 12.9 \text{ kN.m} + 147.17 \cdot 0.09 \\
 &= 26.14 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Kebutuhan Jumlah Baut (n)

$$n = \sqrt{\frac{6Mu}{\mu Rn}} = \sqrt{\frac{6(26.14 \text{ kN.m})}{0.075 \cdot (147.2 \text{ kN})}} = 4.212 = 6$$



**Gambar 4. 45** Ilustrasi sambungan baut pada pelat badan  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

$$\text{Akibat } V_u = V_u / n = 147.17 \text{ kN} / 6 = 24.52 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat } M_u &= \Sigma R^2 = \Sigma x^2 + \Sigma y^2 \\ &= 4.50 \text{ mm}^2 + 4.75 \text{ mm}^2 = 32500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

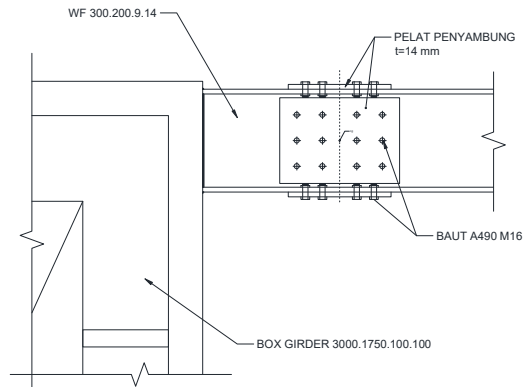
$$\begin{aligned} P_{vb} &= (M_x) / \Sigma R^2 = 26.14 \text{ kN.m} * 0.05 \text{ m} / 0.0325 \text{ mm}^2 \\ &= 40.21 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{hb} &= (M_y) / \Sigma R^2 = 26.14 \text{ kN.m} * 0.075 \text{ m} / 0.0325 \text{ mm}^2 \\ &= 60.32 \text{ kN} \end{aligned}$$

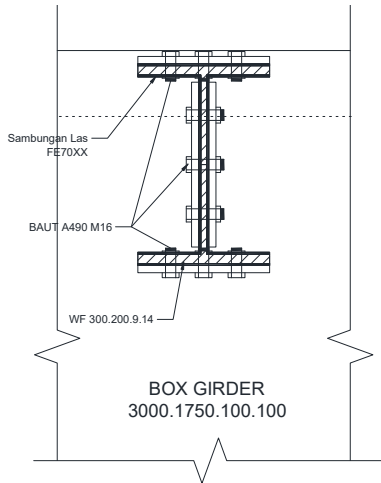
$$\Sigma P_v = 40.21 + 24.52 = 64.73 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= \sqrt{(pva + pvb)^2 + phb^2} = \sqrt{64.73^2 + 60.32^2} \\ &= 88.44 \text{ kN} \leq \phi R_{nv} = \mathbf{147.2 \text{ kN}} \end{aligned}$$

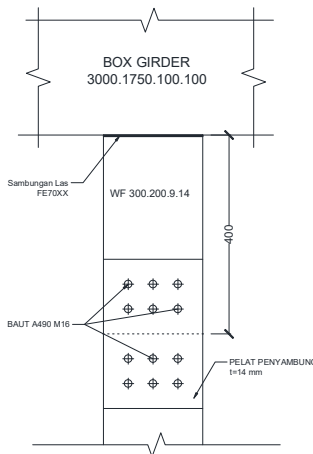
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.46 s.d.4.48



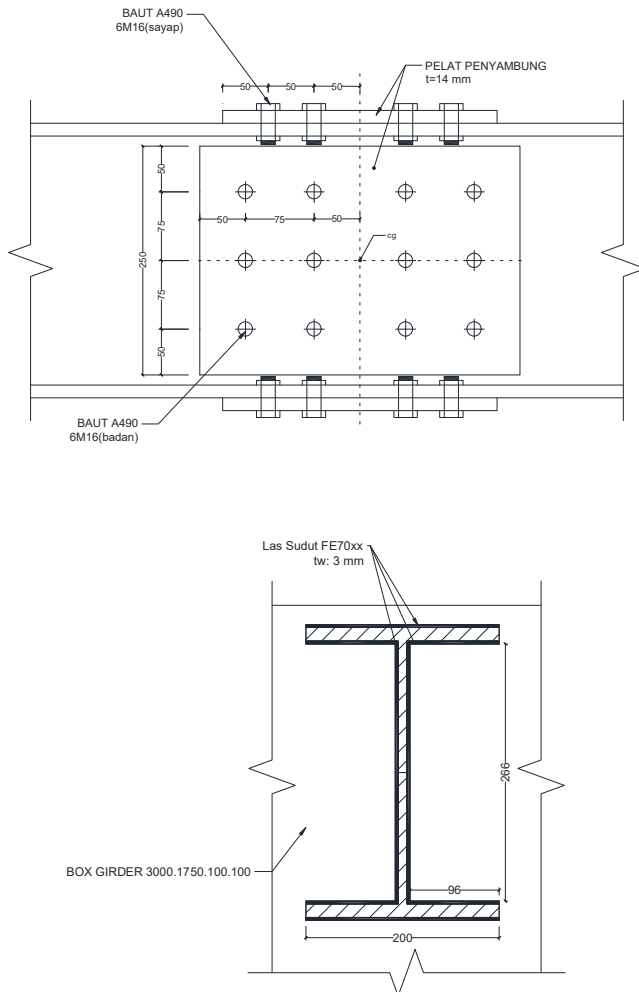
**Gambar 4. 46** Tampak melintang sambungan gelagar kantilever  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 47** Tampak Memanjang sambungan gelagar kantilever ke *box girder*  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 48** Tampak Atas sambungan gelagar kantilever ke *box girder*  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 49** Detail sambungan baut dan las gelagar kantilever  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

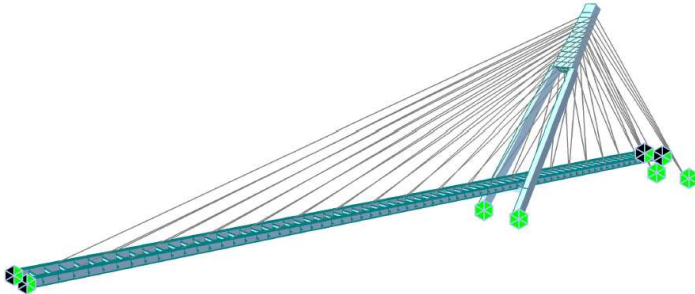


#### 4.4 Permodelan dan Analisa Struktur

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai gaya-gaya yang terjadi pada struktur utama jembatan *cabl stayed* yaitu meliputi gelagar (*box girder*), kabel, dan *pylon*. Dalam analisa struktur jembatan, digunakan program bantu MidasCivil v.2019. Adapun beban yang bekerja berupa beban statik yang meliputi beban sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin. Beban dinamik yang meliputi beban gempa dengan *response spectrum*. Dan *staging analysis* yaitu beban yang bekerja saat pelaksanaan atau pendirian jembatan

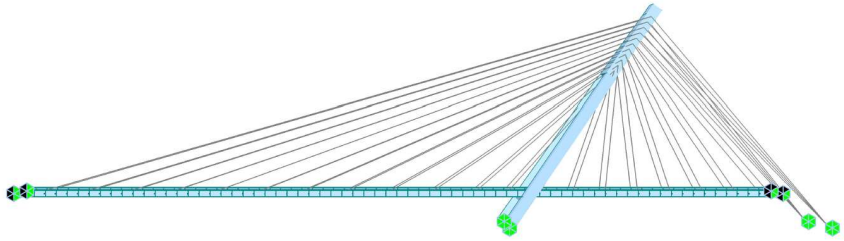
##### 4.4.1 Permodelan Struktur

Permodelan struktur jembatan menggunakan tiga dimensi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.50 s.d. 4.54.



**Gambar 4. 50** Tampak Prespektif Jembatan

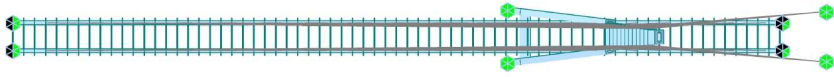
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 51** Tampak Memanjang Jembatan  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 52** Tampak Melintang Jembatan  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 53** Tampak Atas Jembatan

*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 54** Tampak Melintang Jembatan

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 4.4.2 Analisa Statis

##### 4.4.2.1 Pembebanan Statis

Beban yang termasuk beban statis antara lain beban tetap/ sendiri, beban hidup, dan beban angin. Untuk beban sendiri struktur akan dihitung secara otomatis oleh program bantu MidasCivil. Dan berikut adalah penjabaran dari beban statis.

##### 1. Beban Mati Struktur (MS)

Beban mati struktur terdiri dari :

- Gelagar Memanjang  
Berat Sendiri = 175 kg/m
- Gelagar Melintang  
Berat Sendiri = 496.6 kg/m
- Gelagar Kantilever  
Berat Sendiri = 65.4 kg/m
- Box Girder  
Berat Sendiri = 8321 kg/m

## 2. Beban Mati Perkerasan dan Utilitas (MA)

Beban Mati Perkerasan akan dimodelkan pada gelagar melintang dan kantilever, adapun pembebanannya adalah sebagai berikut :

- Gelagar melintang

$$\begin{aligned}\text{Pelat Beton} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \\ &= 0.25\text{m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 5\text{m} = \mathbf{3000 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aspal} &= d_4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot \lambda \\ &= 0,05\text{m} \cdot 2200 \text{ kg/m}^3 \cdot 5\text{m} = \mathbf{550 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bondex(w-1000)} &= \gamma_{\text{bondex}} \cdot \lambda \\ &= 13.76 \text{ kg/m}^2 \cdot 5\text{m} = \mathbf{68.8 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dengan total, } q_D &= 3618.8 \text{ kg/m} = \mathbf{36.2 \text{ kN/m}} \\ P_D &= 875 \text{ kg} = \mathbf{8.75 \text{ kN}}\end{aligned}$$

- Gelagar Kantilever

$$\begin{aligned}\text{Pelat Beton} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \\ &= 0.25\text{m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 5\text{m} = \mathbf{3000 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bondex(w-1000)} &= \gamma_{\text{bondex}} \cdot \lambda \\ &= 13.76 \text{ kg/m}^2 \cdot 5\text{m} = \mathbf{68.8 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pipa Sandaran} &= \gamma_{\text{pipa}} \cdot \lambda \cdot \text{jumlah} \\ &= 5.445 \text{ kg/m} \cdot 5 \cdot 2 = \mathbf{54.5 \text{ kg}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tiang Sandaran} &= V_{\text{tiang}} \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \text{jumlah} \\ &= (0,25 \cdot 0,2 \cdot 1) \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 2 = \mathbf{240 \text{ kg}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dengan total, } q_D &= 3068.8 \text{ kg/m} = \mathbf{30.68 \text{ kN/m}} \\ P_D &= 294.5 \text{ kg} = \mathbf{2.945 \text{ kN}}\end{aligned}$$

## 3. Beban Jalur (TD)

Beban lajur yang bekerja pada jembatan *cable stayed* dipilih yang terbesar antara beban TD, dan TT. Pada umumnya untuk jembatan bentang panjang (*cable stayed*) beban TD meliputi BTR dan BGT yang menentukan, adapun besarnya sebagai berikut :

- Gelagar Melintang :

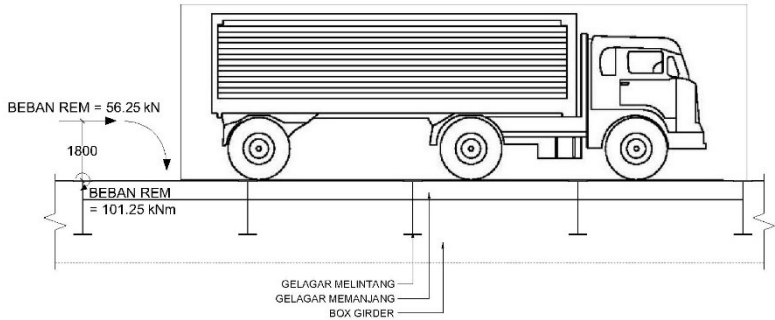
$$\begin{aligned}
\text{Beban Terbagi Rata(BTR)} &= q \cdot \lambda \\
&= 9 \times \left(0.5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \cdot 5 \text{ m} \\
&= 4.89 \text{ kPa} \cdot 5 \text{ m} \\
&= 2443 \text{ kg/m} = \mathbf{24.43 \text{ kN/m}} \\
\text{Beban Garis Terpusat (BGT)} &= 49 \text{ kN/m} \cdot (1+\text{FDB}) \\
&= 49 \text{ kN/m} \cdot (1+0.3) \\
&= \mathbf{63.7 \text{ kN/m}}
\end{aligned}$$

#### 4. Beban Akibat Gaya Rem (TB)

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.7, gaya akibat rem diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain
$$\begin{aligned}
\text{TB} &= 25\% (2.T) \\
&= 25\%(2 \cdot 112,5 \text{ kN}) \\
\text{TB} &= 56.25 \text{ kN} \\
\text{M}_{\text{TB}} &= \text{TB} \cdot \text{tinggi} \\
&= 56.25 \text{ kN} \cdot 1.8 \text{ m} \\
\text{M}_{\text{TB}} &= 101.25 \text{ kNm}
\end{aligned}$$
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)
$$\begin{aligned}
\text{TB} &= 5\% \cdot (\text{Beban Truk} + \text{BTR} \cdot L_{\text{Melintang}}) \\
&= 5\% \cdot (500 \text{ kN} + 24.4(11)) \\
\text{TB} &= 38.42 \text{ kN} \\
\text{M}_{\text{TB}} &= \text{TB} \cdot \text{Tinggi} \\
&= 38.42 \cdot 1.8 \\
\text{M}_{\text{TB}} &= 69.15 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Maka didapatkan  $\text{TB} = 56.25 \text{ kN}$ , dan  $\text{M}_{\text{TB}} = 101.25 \text{ kNm}$  dimana bekerja tegak lurus dengan gelagar melintang. Ilustrasi beban TB dapat dilihat pada gambar 4.55.



**Gambar 4.55** Ilustrasi Beban Rem berupa Gaya Horizontal dan Momen Torsi

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 5. Beban Pejalan Kaki (TP)

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.9 semua komponen trotoar yang memiliki lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa.

$$\begin{aligned} Q_{TP} &= 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} \\ &= 25 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### 6. Beban Angin ( $E_w$ )

- Beban Angin Struktural ( $E_{ws}$ )

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1 tekanan angin horizontal untuk bagian jembatan dengan elevasi lebih dari 10 m di atas permukaan tanah atau permukaan air, maka kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$  dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{DZ} = 2.5 \times V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)$$

Dimana  $Z$  sebesar 15 m, dan untuk nilai  $Z_0$  dan  $V_0$  dapat dilihat pada tabel 4.9 yang mengacu pada tabel 28 SNI 1725-2016.

tabel 4. 9 Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

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

Maka,

$$V_{DZ} = 2.5 \times 17.6 \left(\frac{90}{90}\right) \ln\left(\frac{15000}{1000}\right) = 119.2 \text{ km/jam}$$

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

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

Dimana nilai  $P_B$  dapat dilihat pada tabel 4.10 yang mengacu pada tabel 29 SNI 1725-2016.

tabel 4. 10 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

Maka,

$$\begin{aligned} P_D &= 0.0024 \left(\frac{119.2}{90}\right)^2 \text{ tekan, } 0.0012 \left(\frac{119.2}{90}\right)^2 \text{ hisap} \\ &= 4.2 \text{ kN/m}^2 \text{ (tekan)} \\ &= 2.1 \text{ kN/m}^2 \text{ (hisap)} \end{aligned}$$

Beban pada struktur akan diterima pada gelagar utama (*box girder*) sehingga dikalikan dengan tinggi penampang.

$$\begin{aligned} E_{ws\text{-tekan}} &= P_D \cdot h \\ &= 4.2 * 2.5 = 10.5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$E_{ws\text{-hisap}} = P_D \cdot h$$

$$= 2.1 * 2.5 = 5.25 \text{ kN/m}$$

- **Beban Angin Kendaraan ( $E_{W1}$ )**

Beban angin juga akan dibebankan pada kendaraan yang melintas ( $E_{W1}$ ) dimana diatur dalam SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.2 dengan asumsi sebagai tekanan menerus sebesar 1.46 N/mm yang bekerja tegak lurus dan bekerja diatas 1800 mm diatas permukaan jalan. Maka beban angin pada kendaraan yang akan diinput adalah sebagai berikut.

$$E_{W1} = 1.46 \text{ N/mm}$$

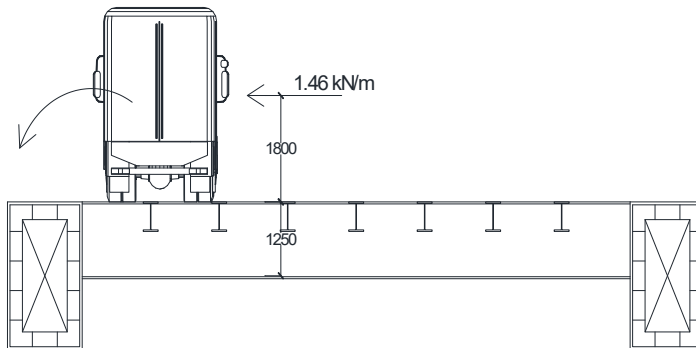
$$= 1.46 \text{ kN/mm}$$

$$M_{EW1} = E_{W1} * (\text{tinggi} + 0.5_{t \text{ box}}) \cdot \text{Panjangsegmen}$$

$$= 1.46 \text{ kN/m} (1.8 \text{ m} + 1.25 \text{ m}) \cdot 5 \text{ m}$$

$$M_{EW1} = 22.27 \text{ kNm}$$

Untuk beban angin pada kendaraan akan diinput sebagai momen torsi. Untuk ilustrasi dapat dilihat pada gambar 4.56.



**Gambar 4. 56** Ilustrasi Beban Angin Kendaraan menjadi Momen Torsi

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

#### 7. Beban Temperatur ( $EU_N$ )

Sesuai dengan tabel 18 SNI 1725-2016 pasal 9.31 besaran temperatur yang bekerja pada komponen jembatan yaitu  $15^\circ\text{C}$



untuk temperatur rata-rata minimum, dan 40°C untuk temperatur rata-rata maksimum, kedua besaran temperatur tersebut akan di masukkan dalam program bantu MidasCivil.

#### 4.4.2.2 Konfigurasi Pembebanan

Pada konfigurasi pembebanan dan *load factor* sesuai dengan tabel 1 SNI 1725-2016. Sedangkan untuk konfigurasi pembebanan LL sesuai dengan tabel 3.6 mengenai Konfigurasi Pembebanan untuk Beban Hidup dari tipe (a) sampai (f).

Kombinasi pembebanan statik dapat dilihat pada tabel 4.11.

tabel 4. 11 Kombinasi Pembebanan Statik

KUAT I	$1.1MS + 2MA + 1.8TD + 1.8TB + 1.8TP + 0.5EU_N$
KUAT II	$1.1MS + 2MA + 1.4TD + 1.4TB + 1.4TP + 0.5EU_N$
KUAT III	$1.1MS + 2MA + 1.4E_{WS} + 0.5EU_N$
KUAT IV	$1.1MS + 2MA + 0.5EU_N$
KUAT V	$1.1MS + 2MA + 0.4E_{WS} + E_{Wl} + 0.5EU_N$
LAYAN I	$MS + MA + TD + TB + TP + 0.3E_{WS} + E_{WL} + EU_N$
LAYAN II	$MS + MA + 1.3TD + 1.3TB + 1.3TP + EU_N$
LAYAN III	$MS + MA + 0.8TD + 0.8TB + 0.8TP + EU_N$
LAYAN IV	$MS + MA + 0.7E_{WS} + EU_N$

#### 4.4.2.3 Hasil Analisa Statis

Hasil analisa struktur statik pada struktur utama jembatan *cabl stayed* yang meliputi *box girder*, *pylon*, *mid pylon*, *lower cross beam*, akan ditampilkan pada tabel 4.12-4.15

tabel 4. 12 Hasil Analisa Struktur Statik pada *Box Girder*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear- Y (kN)	Shear- Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment- Y (kN.m)	Moment- Z (kN.m)
Kuat I	140399.0	359.6	6532.5	1829.9	127083.2	1796.4
Kuat II	133521.4	359.7	6399.2	1423.3	114515.1	1796.4
Kuat III	106802.9	1531.9	6422.6	5726.2	75864.7	55291.2

Kuat IV	109449.7	359.7	5932.7	0.0	72285.3	1796.4
Kuat V	108588.9	555.8	6073.0	1634.8	73317.8	15841.6
Layan I	93786.8	624.5	4066.7	1421.9	60653.5	11880.6
Layan II	99590.5	719.5	4061.4	1321.6	67485.6	3593.6
Layan III	90993.4	719.6	3894.7	813.3	54983.4	3593.6
Layan IV	79992.0	1014.8	4254.7	2863.1	43778.5	27658.6

**tabel 4. 13** Hasil Analisa Struktur Statik pada *Pylon*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Kuat I	191540	1752	10329	1575	82093	15842
Kuat II	188027	1750	10227	1341	80589	15749
Kuat III	177431	1800	9919	1243	75607	16284
Kuat IV	175734	1743	9868	522	75328	15422
Kuat V	176220	1760	9883	681	75408	15669
Layan I	139192	2544	10132	897	84070	25286
Layan II	141473	2558	10199	801	86362	25171
Layan III	137082	2555	10071	762	82314	25054
Layan IV	139428	2682	10922	1051	85753	26262

**tabel 4. 14** Hasil Analisa Struktur Statik pada *Mid Pylon*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Kuat I	316694.4	62.0	10431.7	0.7	39068.6	217.2
Kuat II	310633.0	59.3	10671.3	0.8	29163.6	170.9
Kuat III	289417.8	184.8	11509.8	3358.9	37562.7	51767.6
Kuat IV	289417.8	49.6	11509.9	5.9	37551.3	142.6
Kuat V	289419.2	88.3	11510.1	970.6	37567.2	14894.4
Layan I	223388.8	71.6	8166.2	713.5	96857.2	11089.0
Layan II	227933.6	44.7	7986.2	12.9	104300.2	139.1
Layan III	220356.7	41.2	8285.7	11.0	91919.1	81.3
Layan IV	220590.7	105.5	9574.5	1666.7	84212.4	25941.9

**tabel 4. 15** Hasil Analisa Struktur Statik pada *Lower Cross Beam*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Kuat I	1666	0.5	3010	4.9	8303	5986
Kuat II	1685	0.4	3010	3.8	8330	5933
Kuat III	1749	61.9	3141	293.0	9868	6424
Kuat IV	1749	0.0	3009	0.0	8425	5747
Kuat V	1749	17.6	3046	84.6	8838	5940
Layan I	2526	12.9	2763	61.0	9533	8331
Layan II	2513	0.3	2736	3.5	9221	8233
Layan III	2536	0.2	2736	2.1	9254	8166
Layan IV	2665	31.0	3075	146.5	10667	8876

Keterangan : Teks berwarna merah adalah hasil maksimum dari beberapa kombinasi

#### 4.4.3 Analisa Dinamis

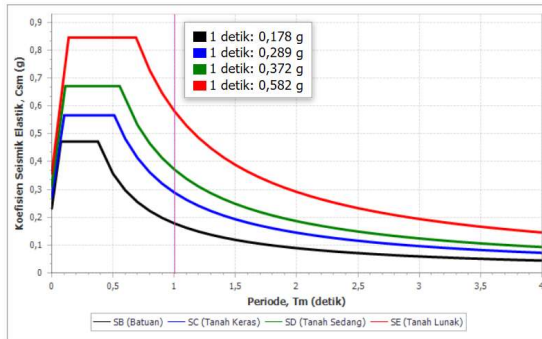
##### 4.3.3.1 Analisa Pembebanan Dinamis

Untuk pembebanan gempa pada desain jembatan ini digunakan metode *response spectrum* dengan program bantu MidasCivil berdasarkan RSNI 2833-2016, dapat dilihat posisi kota Gresik dalam peta gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun memiliki data sebagai berikut :

- Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) = 0.357
- Percepatan 0.2detik di batuan dasar ( $S_s$ ) = 0.845
- Percepatan 1 detik di batuan dasar ( $S_1$ ) = 0.582

Perencanaan jembatan terhadap gempa, dapat dilihat dari *website* <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/> dengan memasukkan lokasi Kabupaten Gresik dengan jenis batuan tanah **lunak**. Kemudian data diinput pada program bantu untuk kemudian diolah secara otomatis sehingga didapatkan grafik *response spectrum*.

Berikut adalah grafik nilai *response spectrum* yang didapat dari puskim dapat dilihat pada Gambar 4.57



**Gambar 4. 57** Grafik *Response Spectrum* Tanah Lunak di Kabupaten Gresik

(Sumber:<http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/SpektrumRespons.aspx?lon=112,65618382&lat=-7,15647443165&kota=Gresik>)

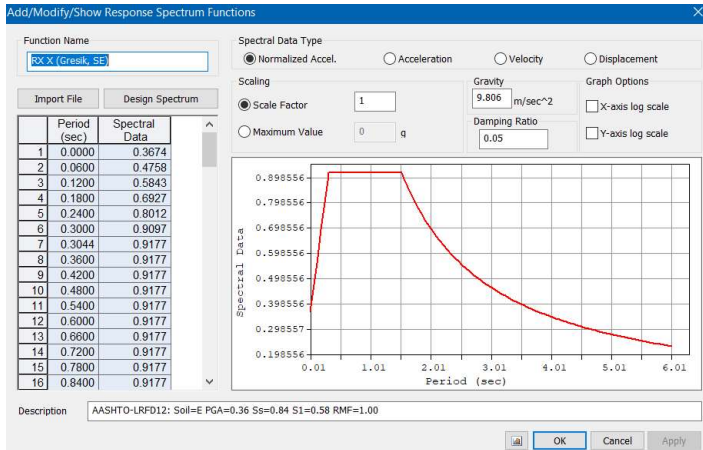
Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan jembatan Sembayat II didapatkan nilai NSPT sampai kedalaman 54 m diantara 6 sampai 50 jadi dapat dikatakan tanah termasuk dalam kelas situ **SE**. untuk nilai NSPT dapat dilihat pada tabel 4.16

tabel 4. 16 Nilai NSPT dan perhitungan kelas tanah

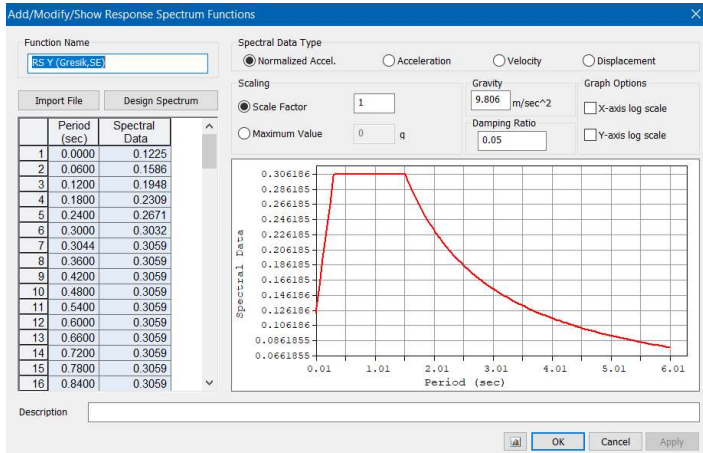
Lokasi tanah : Sembayat, Gresik				
Lapis Ke-	h (m)	t <sub>i</sub> (m)	N <sub>i rata</sub> "	t <sub>i</sub> /N <sub>i</sub>
1	2	2	6.00	0.33
2	4	2	2.00	1.00
3	6	2	3.00	0.67
4	8	2	4.00	0.50
5	10	2	5.00	0.40
6	12	2	14.00	0.14

7	14	2	15.00	0.13
8	16	2	12.00	0.17
9	18	2	16.00	0.13
10	20	2	14.00	0.14
11	22	2	14.00	0.14
12	24	2	16.00	0.13
13	26	2	14.00	0.14
14	28	2	16.00	0.13
15	30	2	17.00	0.12
16	32	2	19.00	0.11
17	34	2	20.00	0.10
18	36	2	16.00	0.13
19	38	2	50.00	0.04
20	40	2	50.00	0.04
21	42	2	50.00	0.04
22	44	2	50.00	0.04
23	46	2	50.00	0.04
24	48	2	50.00	0.04
25	50	2	50.00	0.04
26	52	2	50.00	0.04
27	54	2	50.00	0.04
	$\sum t_i$ (m)	54	$\sum t_i/N_i$	4.95
N=	10.9	Tanah Lunak (SE)		

Untuk faktor modifikasi respons (R) gempa pada perencanaan ini berorientasi pada SNI 2833-2016 tabel 6, pada tugas akhir ini, jembatan pada arah X nilai faktor modifikasi respon (R) sebesar **1.5**, untuk arah Y nilai faktor modifikasi respon (R) sebesar **3**. Untuk hasil respon spectra desain yang diinput di MidasCivil dapat dilihat pada gambar 4.58 dan gambar 4.59



**Gambar 4. 58** Diagram respon spektra gempa arah X  
*Sumber : (Dokumen pribadi MidasCivil)*



**Gambar 4. 59** Diagram respon spektra gempa arah Y  
*Sumber : (Dokumen pribadi MidasCivil)*

#### 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 spektrum.

Untuk konfigurasi Pembebanan LL mengacu pada Peraturan Kementrian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perancangan Jembatan Beruji Kabel”. Namun dalam tugas akhir ini digunakan konfigurasi pembebanan LL sesuai dengan tabel 3.6 mengenai Konfigurasi Pembebanan untuk Beban Hidup. Tabel kombinasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 4.17

**tabel 4. 17** Kombinasi Pembebanan Dinamis

Ekstrem I X	$1.1MS+2MA+0.5TD+0.3TB+0.3TP+EQ_X+0.3EQ_Y$
Ekstrem I Y	$1.1MS+2MA+0.5TD+0.3TB+0.3TP+0.3EQ_X+EQ_Y$

#### 4.3.3.3 Hasil Analisa Dinamis

Hasil analisa struktur dinamis pada struktur utama jembatan *cable stayed* yang meliputi *box girder, pylon, mid pylon, lower cross beam*, akan ditampilkan pada tabel 4.18-4.21

**tabel 4. 18** Hasil Analisa Struktur Dinamis *Box Girder*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear- Y (kN)	Shear- Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment- Y (kN.m)	Moment- Z (kN.m)
Ekstrem I X	133951.9	193.2	4481.2	796.6	100690.0	5335.1
Ekstrem I Y	124370.4	562.1	5118.0	1842.7	85674.7	17743.8

**tabel 4. 19** Hasil Analisa Struktur Dinamis Lower Cross Beam

Kombinasi	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Ekstrem I X	428.6	1608.8	4823.0	662.4	15661.0	22677.7
Ekstrem I Y	741.2	5362.6	9055.7	2204.6	59366.6	62945.6

**tabel 4. 20** Hasil Analisa Struktur Dinamis *Pylon*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Ekstrem I X	154302.9	4262.9	18133.5	4408.4	107943.9	40618.8
Ekstrem I Y	143049.1	10917.7	13996.9	9433.9	90588.8	113787.9

**tabel 4. 21** Hasil Analisa Struktur Dinamis *Mid Pylon*

Kombinasi	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
Ekstrem I X	275711.8	1858.1	6225.3	3584.2	133845.2	34375.4
Ekstrem I Y	291084.6	6057.1	9740.5	11863.6	43781.4	114730.2

Keterangan : Teks berwarna merah adalah hasil maksimum dari beberapa kombinasi dinamis

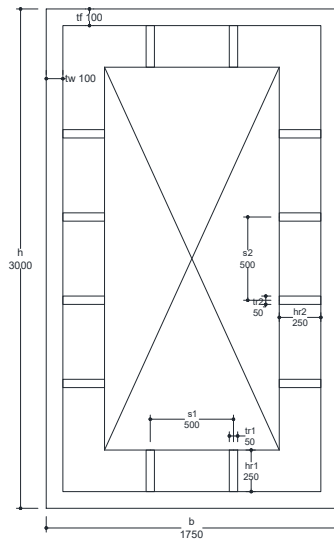
## 4.5 Box Girder

### 4.5.1 Perencanaan Box Girder

Desain gelagar utam jembatan *cabl stayed* menggunakan *twin regular box girder* BJ55 dengan dimensi 3000.1750.100.100 dengan rusuk pada sisi atas, bawah, kiri, dan kanan seperti pada gambar 4.60. Dengan data perencanaan sebagai berikut :



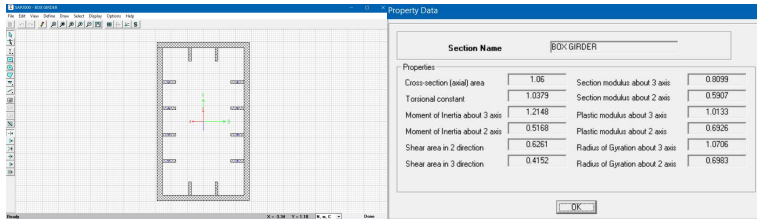
$A$	$= 1.06 \text{ m}^2$	$i_x$	$= 1.076 \text{ m}$
$h$	$= 3 \text{ m}$	$i_y$	$= 0.6983 \text{ m}$
$b$	$= 1.75 \text{ m}$	$I_x$	$= 1.214 \text{ m}^4$
$h_{r1} = h_{r2}$	$= 0.25 \text{ m}$	$I_y$	$= 0.5168 \text{ m}^4$
$t_{r1} = t_{r2}$	$= 0.025 \text{ m}$	$Z_x$	$= 1.013 \text{ m}^3$
$S$	$= 0.5 \text{ m}$	$Z_y$	$= 0.6926 \text{ m}^3$
$t_w$	$= 0.1 \text{ m}$	$S_x$	$= 0.8099 \text{ m}^3$
$t_f$	$= 0.1 \text{ m}$	$S_y$	$= 0.0907 \text{ m}^3$



**Gambar 4. 60** Penampang Box Girder

Sumber : (Dokumen pribadi)

Berikut adalah *section data* dan *calculation result* dengan menggunakan program bantu SAP2000.



**Gambar 4. 61** Analisa *Section Data* dan *Section Properties*  
*Sumber : (Dokumen pribadi SAP2000 v.14)*

### 4.5.2 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur gelagar utama dilakukan dengan program bantu MidaCecil. Dengan hasil analisa seperti pada sub bab sebelumnya didapatkan nilai gaya dalam maksimum dan minimum dari semua kombinasi seperti pada tabel 4.22.

**tabel 4. 22** Gaya dalam pada *Box Girder*

	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment- Y (kN.m)	Moment- Z (kN.m)
Max	+140399.0	1531.9	6532.5	5726.2	127083.2	55291.2
	-56604.45					

### 4.5.3 Kontrol Kemampuan Penampang *Box Girder*

#### 4.5.3.1 Analisa Kuat aksial

- Analisa batang Tarik (SNI 1729-2015 D2-1)

$$\begin{aligned}
 P_n &= A_g \cdot f_y \\
 &= 1060000 \text{ mm}^2 \cdot 410 \text{ MPa} \\
 &= 434600 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0.9 \cdot 434600 \text{ kN} \\
 &= 391140 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi P_n = 391140 \text{ kN} > P_u = 140399.0 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

- Analisa Batang Tekan

- Analisa Kelangsingan

- Sumbu Z

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 5.7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 5.7 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{410 \text{ MPa}}} \\ &= 161.2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h/t_w &= 3000/100 \\ &= 30\end{aligned}$$

$$\lambda_r > h/t_w \quad (\text{Penampang Kompak})$$

$$r_z = 1076 \text{ mm}$$

$$L_z = 20000 \text{ mm (Jarak antar kabel)}$$

$$K_z = 1$$

$$\begin{aligned}\lambda_z &= \frac{L_z \cdot K_z}{r_z} \\ &= \frac{20000 \cdot 1}{1076} \\ &= 18.68\end{aligned}$$

- Sumbu Y

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1.4 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1.4 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{410 \text{ MPa}}} \\ &= 39.6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b/t_f &= 1750/100 \\ &= 17.5\end{aligned}$$

$$\lambda_r > b/t_f \quad (\text{Penampang Kompak})$$

$$r_y = 1076 \text{ mm}$$

$$L_y = 5000 \text{ mm (Jarak antar gelagar melintang)}$$

$$K_y = 1$$

$$\begin{aligned}\lambda_y &= \frac{Ly.Ky}{r_y} \\ &= \frac{5000.1}{1076} \\ &= 4.7\end{aligned}$$

$\lambda_z > \lambda_y$ , maka  $\lambda_{pakai} = 18.68$

tegangan kritis, Fcr ditentukan sebagai berikut :

$$\frac{K.L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (\text{SNI 1729-2015 E3-2})$$

$$18.68 < 104.02$$

Maka Fcr,

$$\begin{aligned}f_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 200000}{(18.68)^2} \\ &= 5651.13 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{cr} &= (0.658^{\frac{fy}{f_e}}) f_y \\ &= 397.73\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi F_{cr} A_g \\ &= 0,9 \times 397.7 \times 1060000 \\ &= 379405 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 379405 \text{ kN} > P_u = 56604.45 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

#### 4.5.3.2 Analisa Kuat Geser

##### Sumbu Y (pada sayap)

$$V_{uy} = 1531.9 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}A_w &= 2.t_f.B_f \\ &= 350000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b/t_f &= 1550/100 \\ &= 15.5\end{aligned}$$

$$a=S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$\begin{aligned}
K_v &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6}) \\
&= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{1550}\right)^2} \\
&= 53.05
\end{aligned}$$

$$1.1 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} = 226.6$$

$$1.1 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} > \frac{h}{t_w} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka,  $C_v = 1$

$$\begin{aligned}
V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1}) \\
&= 0.6 \times 410 \times 350000 \times 1 \\
&= 86100000 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi V_n &= 0.9 \times 86100000 \text{ N} \\
&= 77490000 \text{ N} \\
&= 77490 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 77490 \text{ kN} > V_{uy} = 1531.9 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Sumbu Z (pada badan)

$$V_{uz} = 6532.5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
A_w &= 2 \cdot t_w \cdot H \\
&= 2 \cdot 100 \cdot 2800 \\
&= 560000 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h/t_w &= 3000/100 \\
&= 30
\end{aligned}$$

$$a=S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$\begin{aligned}
K_v &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6}) \\
&= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2800}\right)^2}
\end{aligned}$$

$$= 161.8$$

$$1.1 \sqrt{\frac{Kv E}{fy}} = 359.7$$

$$1.1 \sqrt{\frac{Kv E}{fy}} > \frac{h}{tw} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka,  $C_v = 1$

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1})$$

$$= 0.6 \times 410 \times 560000 \times 1$$

$$= 137760000 \text{ N}$$

$$\emptyset V_n = 0.9 \times 137760000 \text{ N}$$

$$= 123984000 \text{ N}$$

$$= 123984 \text{ kN}$$

Kontrol :

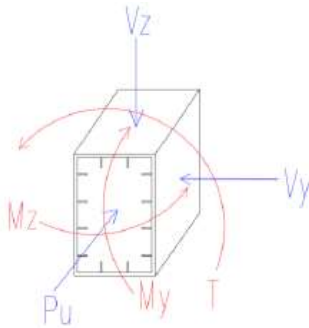
$$\emptyset V_n = 123984 \text{ kN} > V_{uy} = 6532.54 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.3.3 Analisa Kuat Lentur

Dengan menggunakan program bantu SAP2000 didapatkan nilai modulus plastis penampang. Seperti pada gambar 4.62 dapat dilihat bahwa asumsi *local axis* harus disamakan, dimana arah X pada SAP2000 adalah arah Y pada MidasCivil, dan arah Y pada SAP2000 adalah arah Z pada MidasCivil, maka didapat nilai sebagai berikut :

$$Z_x = Z_y = 1.013 \text{ m}^3$$

$$Z_y = Z_z = 0.6926 \text{ m}^3$$



**Gambar 4. 62** Koordinat Box Girder  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

Kontrol tekuk lokal :

Sayap

Badan

$$\lambda = \frac{b}{2t_f}$$

$$= \frac{1.75}{2(0.1)} = 8.75$$

$$\lambda = \frac{h}{2t_w}$$

$$= \frac{3}{2(0.1)} = 15$$

$$\lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.12 \sqrt{\frac{200000}{410}} = 31.67$$

$$\lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 2.42 \sqrt{\frac{200000}{410}} = 68.44$$

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

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

Maka gelagar box termasuk penampang kompak.

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

Momen Arah Z (Pada Sayap)

$$M_{uz} = 55291.24 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{uz} &= Z_z \cdot F_y \\
 &= 692600000 \cdot 410 \\
 &= 2.83 \cdot 10^{11} \text{ Nmm} \\
 &= 283966 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_{uz} &= 0.9 \times 283966 \text{ kNm} \\
 &= 255569.4 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\emptyset M_{uz} = 255569.4 \text{ kNm} > M_{uz} = 55291.24 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Momen Arah Y (Pada badan)

$$M_{uy} = 127083.24 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{uy} &= Z_y \cdot F_y \\
 &= 1060000000 \cdot 410 \\
 &= 4.34 \cdot 10^{11} \text{ Nmm} \\
 &= 434600 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_{uy} &= 0.9 \times 434600 \text{ kNm} \\
 &= 391140 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\emptyset M_{uy} = 391140 \text{ kNm} > M_{uy} = 127083 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.3.4 Kombinasi Lentur + aksial

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{140398 \text{ kN}}{234124 \text{ kN}} = 0.59 > 0.2 \quad (\text{SNI 1729-2015 H1})$$

Maka digunakan rumus,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1 \quad (\text{SNI 1729-2015, H1-1a})$$

Dimana,

$$P_r = P_u = 140398.97 \text{ kN}$$

$$P_c = \emptyset P_n = 391140 \text{ kN}$$



$$\begin{aligned}
M_{rx} &= M_{ry} = 127083 \text{ kNm} \\
M_{cx} &= M_{cy} = 391140 \text{ kNm} \\
M_{ry} &= M_{rz} = 55291 \text{ kNm} \\
M_{cy} &= M_{cz} = 255569.4 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) &= \frac{140398}{391140} + \left( \frac{127083}{391140} + \frac{55291}{255569} \right) \\
&= 0.9002
\end{aligned}$$

Kontrol :

$$0.9002 < 1 \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.3.5 Analisa Kuat Torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga.

$$\begin{aligned}
T_u &= 5726.2 \text{ kNm} \\
h/t &= 3000/100 \\
&= 30
\end{aligned}$$

$$2.45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 69.3$$

$$h/t < 2.45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{SNI 1729-2015,H3-3})$$

maka,

$$\begin{aligned}
F_{cr} &= 0.6 \cdot F_y \\
&= 0.6 \cdot 410 = 246 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
C &= 2 \cdot (B-t) \cdot (H-t) \cdot t \cdot 4.5 \cdot (4-\phi) \cdot t^3 \\
&= 2 \times (1.75-0.1) \times (3-0.1) \times 0.1 \cdot 4.5(4-3.14) \cdot 0.1^3 \\
&= 0.4 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi T_c &= 0.9 \times F_{cr} \times C \\
 &= 0.9 \times 246 \text{ N/mm}^2 \times 399735408 \text{ mm}^3 \\
 &= 88501.4 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

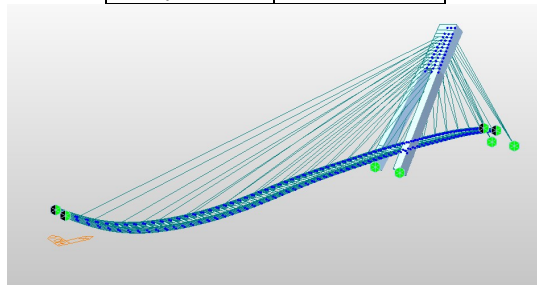
$$\phi T_c = 88501.4 \text{ kNm} > T = 5726.2 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.4 Kontrol lendutan *Box Girder*

Berdasarkan Peraturan PUPR/08/SE/M/2015 pasal 51 mengenai lendutan pada dek jembatan harus lebih kecil dari  $L/400$  untuk penampang baja. Syarat lendutan yaitu :  $\delta'_{max} \leq \delta_{izin}$ . Lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor) dapat dilihat pada tabel 4.23. untuk ilustrasi lendutan yang terjadi pada jembatan ditunjukkan pada gambar 4.63.

**tabel 4. 23** Lendutan yang Terjadi Akibat Kombinasi Beban Layan

Kombinasi	Dz (m)
Layan I	-0.249
Layan II	-0.26
Layan III	-0.227
Layan IV	-0.262



**Gambar 4. 63** Ilustrasi Lendutan akibat Beban Hidup pada MidasCivil

*Sumber : (Dokumen pribadi MidasCivil)*

Adapun untuk lendutan izin yaitu sebesar

$$\delta_{izin} = \frac{L}{800} = \frac{350}{800} = 0.4375 \text{ m}$$

Kontrol :

$$\delta'_{max} = 0.262 \leq \delta_{izin} = 0.4375 \text{ m} \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.5 Sambungan *Box Girder*

Sambungan gelagar utama berupa sambungan baut dengan pelat baja. Sambungan pada semua elemen gelagar utama dianggap memikul beban yang sama, dengan gaya-gaya dalam yaitu :

$$P_u = 140398.9 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 1531.9 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 6532.5 \text{ kN}$$

$$M_{uy} = 127083.2 \text{ kNm}$$

$$M_{uz} = 55291.2 \text{ kNm}$$

$$T_u = 5726.2 \text{ kNm}$$

Berikut adalah data-data perencanaan mengenai baut dan pelat penyambung pada *box girder*.

##### - Baut

Desain Baut M36 dengan ASTM A490 produk dari *Rockside* :

$$D_{baut} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Proof load} = 678.1 \text{ kN}$$

$$A_{baut} = 1018.18 \text{ mm}^2$$

##### - Pelat Penyambung

$$T_p = 35 \text{ mm (2 bidang geser)}$$

$$BJ = 41$$

$$F_u = 410 \text{ MPa}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

Kuat nominal satu (1) baut

- Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip)

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-4})$$

Dimana,

$$\mu = 0.5 \text{ (koef. Slip untuk baut grup B A490)}$$

$$D_u = 1.13$$

$$h_f = 1 \text{ (faktor untuk pengisi)}$$

$$T_b = 638.1 \text{ kN (proof load baut dilihat pada brosur)}$$

$$n_s = 2 \text{ (jumlah bidang slip)}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \\ &= 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 638.1 \text{ kN} \times 2 \\ &= 721.053 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 721.053, \quad \phi = 1, \text{ lubang ukuran standart} \\ &= \mathbf{721.053 \text{ kN}} \end{aligned}$$

- Kuat Tumpu

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b \quad (\text{SNI 1729-2015 J3-3})$$

Dimana,

$$F'_{nt} = \text{tegangan tarik nominal}$$

$$A_b = \text{luas baut}$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\ &= 830 \text{ MPa} \times 1018.18 \text{ mm}^2 \\ &= 845089.4 \text{ N} = 845.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \cdot 845.1 \\ &= 845.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka digunakan Kuat Geser (Baut Kekuatan tinggi dalam sambungan kritis-slip) sebesar **721.053 kN**

- Pelat Badan

- Syarat jarak antar baut (SNI 1729-2015 J3.3)

Syarat minimum,

$$S \geq 2,667 D_b$$

$$S \geq 2,667.36$$

$$S \geq 96$$

Maka dipakai nilai **S = 100 mm**

- Syarat jarak baut ke tepi pelat (SNI 1729-2015 J3.4)  
Sesuai dengan tabel J3.4M SNI 1729-2015, dipakai jarak tepi minimum untuk baut  $D_b = 36$  mm sebesar :

$$S_1 \geq 46$$

Dipakai nilai **S<sub>1</sub> = 50 mm**

- Pelat Sayap

- Syarat jarak antar baut (SNI 1729-2015 J3.3)

Syarat minimum,

$$S \geq 2,667 D_b$$

$$S \geq 2,667.36$$

$$S \geq 96$$

Maka dipakai nilai **S = 100 mm**

- Syarat jarak baut ke tepi pelat (SNI 1729-2015 J3.4)  
Sesuai dengan tabel J3.4M SNI 1729-2015, dipakai jarak tepi minimum untuk baut  $D_b = 36$  mm sebesar :

$$S_1 \geq 46$$

Dipakai nilai **S<sub>1</sub> = 50 mm**

Kebutuhan baut box

Perhitungan jumlah baut dihitung dengan mempertimbangkan semua gaya-gaya dalam, baik itu gaya geser, aksial, momen, dan torsi.

#### 4.5.5.1 Sambungan Pada Pelat Badan

Untuk menghitung jumlah baut pada pelat badan penampang *box* . terlebih dahulu dicari gaya-gaya apa saja yang akan ditahan oleh pelat badan penampang *box*, seperti berikut ini :

$$\begin{aligned}V_{uz} &= 6532.54 \text{ kN} \\ \frac{M_{uz}}{B} &= \frac{55291.2 \text{ kNm}}{1.75 \text{ m}} = 31594.9 \text{ kN} \\ P_u &= P_u \left( \frac{H}{2(B+H)} \right) \\ &= 140398.9 \left( \frac{3}{2(1.75+3)} \right) \\ &= 44336.49 \text{ kN} \\ T &= \frac{T_u}{B} \left( \frac{H}{B+H} \right) \\ &= \frac{5726.2}{1.75} \left( \frac{3}{1.75+3} \right) \\ &= 2066.6 \text{ kN}\end{aligned}$$

Resultan gaya

$$\begin{aligned}R_s &= \sqrt{((V_{uz} + T)^2 + (P_u + \frac{M_{uz}}{B})^2)} \\ &= \sqrt{((6532.54 + 2066.6)^2 + (44336.5 + 31594.9)^2)} \\ &= 76416.8 \text{ kN} \\ n_b &= R_s / \phi V_n \\ &= 76416.8 \text{ kN} / 721.053 \text{ kN} \\ &= 105.979 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka dipasang **120** buah

#### 4.5.5.2 Sambungan Pelat Sayap

Untuk menghitung jumlah baut pada pelat sayap penampang *box* . terlebih dahulu dicari gaya-gaya apa saja yang akan ditahan oleh pelat badan penampang *box*, seperti berikut ini :

$$\begin{aligned}V_{uy} &= 1531.9 \text{ kN} \\ \frac{M_{uy}}{H} &= \frac{127083.2}{3} = 42361.1 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= P_u \left( \frac{B}{2(B+H)} \right) \\
 &= 140398.9 \left( \frac{1.75}{2(1.75+3)} \right) \\
 &= 25862.9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{T_u}{H} \left( \frac{B}{B+H} \right) \\
 &= \frac{5726.2}{3} \left( \frac{1.75}{1.75+3} \right) \\
 &= 703.2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

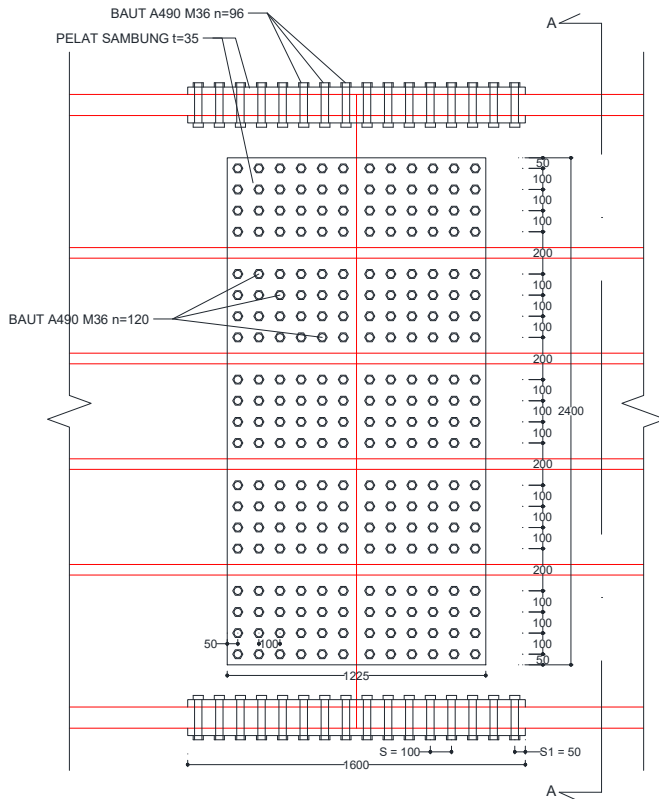
Resultan gaya

$$\begin{aligned}
 R_s &= \sqrt{\left( (V_{uy} + T) \right)^2 + \left( P_u + \frac{M_{uy}}{H} \right)^2} \\
 &= \sqrt{\left( (1531.9 + 703.2) \right)^2 + \left( 25862.9 + 42361.1 \right)^2} \\
 &= 68260.6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_b &= R_s / \phi V_n \\
 &= 68260.6 \text{ kN} / 721.053 \text{ kN} \\
 &= 94.66 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

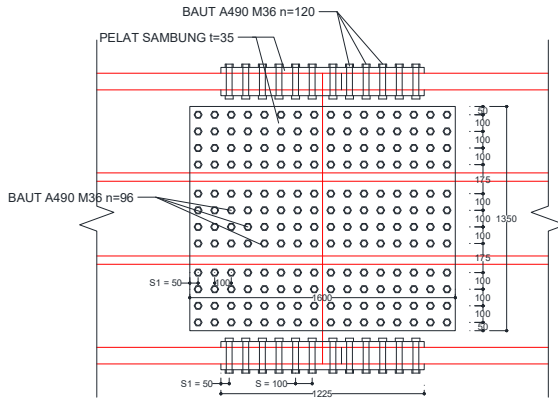
Maka dipasang **96** buah

Sebagai ilustrasi sambungan pada *box girder* dapat dilihat pada gambar 4.64 – 4.66.



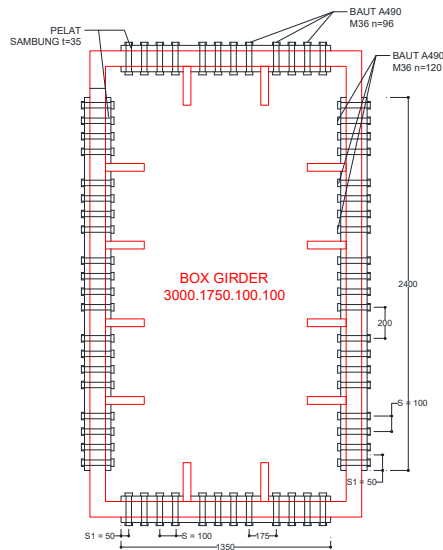
**Gambar 4. 64** Sambungan (*Box Girder*) pada Badan  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*





**Gambar 4. 65 Sambungan Gelagar Utama (Box Grider) pada Sayap**

*Sumber : (Dokumen pribadi)*



**Gambar 4. 66 Tampak Melintang Sambungan Box Grider**

*Sumber : (Dokumen pribadi)*

## 4.6 Struktur Kabel

Struktur kabel adalah salah satu komponen utama terpenting dalam perencanaan jembatan *cable stayed*. Hal ini dikarenakan struktur kabel akan memikul beban dari lantai kendaraan yang kemudian akan disalurkan ke *pylon* / menara.

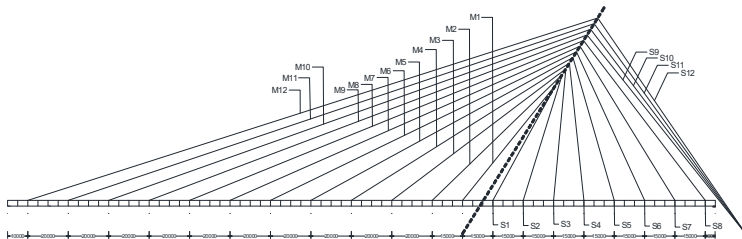
### 4.6.1 Data Perencanaan

Telah dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa terdapat beberapa jenis kabel *pararel seven wire strand* yang dapat digunakan pada jembatan kabel. Pada perencanaan jembatan ini menggunakan jenis kabel ASTM A416M: 2012 Grade 270 produk Maklada, dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 4.24. Spesifikasi kabel tersebut telah disesuaikan dengan persyaratan RSNI T-03-2005 pasal 12.6, yang menyatakan bahwa kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan gantung harus dibuat dengan material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 MPa. Adapun untuk jembatan *cable stayed*  $f_{ijin}$  sebesar  $0.45 f_u$ .

**tabel 4. 24** Spesifikasi Kabel yang Digunakan

Grade	Ø (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	w(kg/1000m)	$f_u$ (MPa)
270	17.78	189.7	1487	1860

Kabel bentang tepi diberi simbol “s” dan bentang utama diberi simbol “m”. adapun penomoran kabel dimulai dari kabel yang terdekat dengan pylon . untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.67, sedangkan untuk jumlah *strand* awal dapat dilihat pada tabel 4.25.



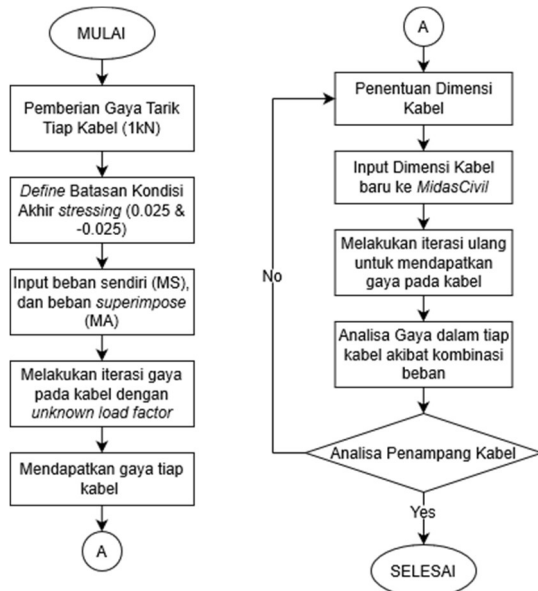
**Gambar 4. 67** Penomoran Kabel Jembatan  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

**tabel 4. 25** Preliminary perhitungan penampang dan jumlah strand kabel

No. Kabel	$\theta(^{\circ})$	a (m)	g+p (kg)	p/30d	$\lambda+\lambda_i$	Asc (m2)	Asc (mm2)	n (kabel)	r (m)	d (m)
m1	48	10	23194	402.4943	25	0.0048	4751	26	0.04	0.08
m2	41	25	23194	402.4943	35	0.0076	7555.9	40	0.05	0.10
m3	34	45	23194	402.4943	40	0.0102	10176	54	0.06	0.11
m4	29	65	23194	402.4943	40	0.0118	11800	63	0.06	0.12
m5	26	85	23194	402.4943	40	0.0131	13128	70	0.06	0.13
m6	23	105	23194	402.4943	40	0.0148	14837	79	0.07	0.14
m7	22	125	23194	402.4943	40	0.0156	15577	83	0.07	0.14
m8	20	145	23194	402.4943	40	0.0172	17214	91	0.07	0.15
m9	19	165	23194	402.4943	40	0.0182	18236	97	0.08	0.15
m10	18	185	23194	402.4943	40	0.0194	19391	103	0.08	0.16
m11	17	205	23194	402.4943	40	0.0207	20709	110	0.08	0.16
m12	16	225	23194	402.4943	40	0.0222	22226	118	0.08	0.17
s1	121	5	23194	402.4943	20	0.0033	3285.5	18	0.03	0.06
s2	109	20	23194	402.4943	30	0.0044	4445.4	24	0.04	0.08
s3	96	35	23194	402.4943	30	0.0041	4122	22	0.04	0.07
s4	83	50	23194	402.4943	30	0.0044	4432.4	24	0.04	0.08
s5	72	65	23194	402.4943	30	0.0045	4540.7	24	0.04	0.08
s6	63	80	23194	402.4943	30	0.0048	4835.8	26	0.04	0.08
s7	55	95	23194	402.4943	30	0.0053	5262.3	28	0.04	0.08
s8	50	110	23194	402.4943	30	0.0056	5638.5	30	0.04	0.08
s9	47	135	23194	402.4943	20	0.004	3955.2	21	0.04	0.07
s10	48	135	23194	402.4943	20	0.0039	3892.8	21	0.04	0.07
s11	49	135	23194	402.4943	20	0.0038	3833.5	21	0.03	0.07
s12	51	135	23194	402.4943	20	0.0037	3724.1	20	0.03	0.07

#### 4.6.2 Gaya Stressing Kabel

Dalam pelaksanaannya tiap kabel diberi gaya tarik (*stressing*) dengan nilai berbeda terlebih dahulu sebelum dibebani. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur posisi gelagar agar sesuai dengan posisi akhir sebelum menerima beban hidup. Apabila *stressing* awal tidak diberikan pada tiap kabel, gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum dibebani oleh beban hidup, dan kemungkinan nilai lendutan akan melebihi nilai yang diizinkan. Dengan bantuan program MIDASCIVIL dapat dilakukan iterasi untuk mendapatkan nilai gaya tiap kabel secara maksimum dengan fitur *unknown load factor calculation*. Adapun langkah-langkah dalam mendapatkan nilai gaya kabel akan dijelaskan pada *flowchart* berikut :



**Gambar 4. 68** *Flowchart* Perhitungan Gaya Tiap Kabel dengan *Unknown Load Factor*

Sumber : (Dokumen pribadi)

Iterasi awal gaya kabel dengan menggunakan program MidasCivil dapat dilihat pada Tabel 4.26.

**tabel 4. 26** Hasil Iterasi Awal Gaya Kabel

Simbol Kabel	Gaya Prelim (kN)	Simbol Kabel	Gaya Prelim (kN)
M12	5413.9	S1	5590.8
M11	15908.5	S2	5175.9
M10	18095.5	S3	5110.4
M9	14684.3	S4	5168.4
M8	12575.8	S5	5441.1
M7	12455.9	S6	6299.2
M6	13109.2	S7	6169.5
M5	12898.2	S8	2966.1
M4	12154.7	S9	1374.4
M3	11511.1	S10	1466.1
M2	9294.0	S11	1550.4
M1	7092.3	S12	1628.4

Dari gaya tarik awal tersebut dapat diperoleh kebutuhan *strand* dan luasan penampang kabel. Diambil contoh penentuan luasan kabel M11 adalah sebagai berikut :

$$F_u \text{ Kabel} = 1860 \text{ MPa}$$

$$F_u \text{ izin} = 0.45.F_u = 837 \text{ MPa}$$

$$A_s = 189.7 \text{ mm}^2$$

$$F_{M11} = 15908.5 \text{ kN}$$

$$\text{Maka, } A_{\text{perlu}} = \frac{F_{M11}}{F_{\text{izin}}} = \frac{15908.5 \text{ kN}}{837000 \text{ kN/m}^2} = 0.019 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka, } N_{\text{perlu}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_s} = \frac{0.019 \text{ m}^2}{189.7 \text{ mm}^2} = 100.19 = 101 \text{ kabel}$$

Untuk penentuan nilai  $A_{\text{perlu}}$  dan  $N_{\text{perlu}}$  pada kabel lainnya dapat dilihat pada tabel 4.27.

**tabel 4. 27** Kebutuhan Luas Penampang Kabel

Simbol Kabel	f ijin (kN/m <sup>2</sup> )	force (kN)	A perlu (m <sup>2</sup> )	N perlu (kabel)	r (mm)	d (mm)
M12	837000	5413.9	0.0065	35	45.4	90.7
M11	837000	15908.5	0.0190	101	77.8	155.5
M10	837000	18095.5	0.0216	114	82.9	165.9
M9	837000	14684.3	0.0175	93	74.7	149.4
M8	837000	12575.8	0.0150	80	69.1	138.3
M7	837000	12455.9	0.0149	79	68.8	137.6
M6	837000	13109.2	0.0157	83	70.6	141.2
M5	837000	12898.2	0.0154	82	70.0	140.0
M4	837000	12154.7	0.0145	77	68.0	135.9
M3	837000	11511.1	0.0138	73	66.2	132.3
M2	837000	9294.0	0.0111	59	59.4	118.9
M1	837000	7092.3	0.0085	45	51.9	103.8
S1	837000	5590.8	0.0067	36	46.1	92.2
S2	837000	5175.9	0.0062	33	44.4	88.7
S3	837000	5110.4	0.0061	33	44.1	88.2
S4	837000	5168.4	0.0062	33	44.3	88.7
S5	837000	5441.1	0.0065	35	45.5	91.0
S6	837000	6299.2	0.0075	40	48.9	97.9
S7	837000	6169.5	0.0074	39	48.4	96.9
S8	837000	2966.1	0.0035	19	33.6	67.2
S9	837000	1374.4	0.0016	9	22.9	45.7
S10	837000	1466.1	0.0018	10	23.6	47.2
S11	837000	1550.4	0.0019	10	24.3	48.6
S12	837000	1628.4	0.0019	11	24.9	49.8

Setelah nilai  $A_{\text{perlu}}$  tiap kabel ditemukan, kemudian input nilai  $A_{\text{perlu}}$  pada MidasCivil, dan dilakukan iterasi ulang untuk mendapatkan nilai gaya tiap kabel yang baru, nilai gaya tiap kabel hasil iterasi-2 dapat dilihat pada tabel 4.28.

**tabel 4. 28** Nilai Gaya Tiap Kabel Hasil Iterasi-2

Simbol Kabel	F (kN)	Simbol Kabel	F (kN)
M12	3693.5	S1	4448.9
M11	11452.0	S2	5095.9
M10	11939.5	S3	6096.7
M9	8494.2	S4	7765.8
M8	7641.4	S5	9300.7
M7	9324.2	S6	9595.0
M6	7613.9	S7	7890.0
M5	6338.8	S8	4028.3
M4	5497.1	S9	2556.1
M3	4805.6	S10	2666.0
M2	4351.7	S11	2771.1
M1	4209.9	S12	2871.7

Setelah itu dilakukan analisa penampang kabel dengan syarat  $F_u > F$ . diambil contoh perhitungan M11 sebagai berikut :

$$F_{M11} = 11452 \text{ kN}$$

$$F_u = A_{11} \cdot F_{Uizin} = 0.019 \text{ m}^2 \cdot 837000 \text{ kN/m}^2 = 15908.5$$

$$F_u = 15908.5 > F_{M11} = 11452 \quad (\text{OK})$$

Untuk cek kapasitas penampang kabel lainnya dapat dilihat pada tabel 4.29.

**tabel 4. 29** Kontrol Kapasitas Penampang Tiap Kabel

Simbol kabel	force	A perlu	f ijin	force max	Cek
	(kN)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN)	$F_{max} > F$
M12	3693.5	0.0065	837000	5413.9	OK
M11	11452.0	0.0190	837000	15908.5	OK
M10	11939.5	0.0216	837000	18095.5	OK
M9	8494.2	0.0175	837000	14684.3	OK

M8	7641.4	0.0150	837000	12575.8	OK
M7	9324.2	0.0149	837000	12455.9	OK
M6	7613.9	0.0157	837000	13109.2	OK
M5	6338.8	0.0154	837000	12898.2	OK
M4	5497.1	0.0145	837000	12154.7	OK
M3	4805.6	0.0138	837000	11511.1	OK
M2	4351.7	0.0111	837000	9294.0	OK
M1	4209.9	0.0085	837000	7092.3	OK
S1	4448.9	0.0067	837000	5590.8	OK
S2	5095.9	0.0062	837000	5175.9	OK
S3	6096.7	0.0061	837000	5110.4	NOT OK
S4	7765.8	0.0062	837000	5168.4	NOT OK
S5	9300.7	0.0065	837000	5441.1	NOT OK
S6	9595.0	0.0075	837000	6299.2	NOT OK
S7	7890.0	0.0074	837000	6169.5	NOT OK
S8	4028.3	0.0035	837000	2966.1	NOT OK
S9	2556.1	0.0016	837000	1374.4	NOT OK
S10	2666.0	0.0018	837000	1466.1	NOT OK
S11	2771.1	0.0019	837000	1550.4	NOT OK
S12	2871.7	0.0019	837000	1628.4	NOT OK

Dikarenakan masih terdapat yang tidak memenuhi syarat yaitu  $F_u < F_{izin}$ , maka dilakukan perubahan untuk dimensi luasan tiap kabel. Dan dilanjutkan dengan cek kapasitas penampang kabel ulang. Direncanakan ulang dengan nilai luasan kabel sebagai berikut :

$$A_{M1} - A_{M2} = 0.02 \text{ m}^2$$

$$A_{M3} - A_{M8} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$A_{M9} - A_{M12} = 0.035 \text{ m}^2$$

$$A_{S1} - A_{S6} = 0.02 \text{ m}^2$$

$$A_{S7} - A_{S12} = 0.025 \text{ m}^2$$

Setelah dilakukan penentuan luasan kabel, maka dilakukan iterasi ulang untuk mendapatkan nilai gaya tiap kabel maksimum dari tiap kombinasi yang ditampilkan pada tabel 4.30



**tabel 4. 30** Nilai Gaya Maksimum Tiap Kabel Hasil Iterasi-3

Simbol Kabel	F (Kn)	Simbol Kabel	F (Kn)
M12	2898.7	S1	9241.4
M11	18913.9	S2	8899.4
M10	18728.7	S3	8670.6
M9	13256.1	S4	7655.6
M8	19738.3	S5	5197.2
M7	11876.2	S6	3893.5
M6	12231.7	S7	5664.6
M5	13799.1	S8	11019.4
M4	14612.5	S9	11214.5
M3	14209.8	S10	11113.4
M2	11936.7	S11	10986.1
M1	10101.9	S12	10837.5

Dilakukan analisa kapasitas penampang kabel, apabila kabel dengan desain  $A_{pakai}$  tersebut mampu untuk menahan gaya kabel maksimum (f), maka penampang kabel memenuhi syarat.

diambil contoh perhitungan M11 sebagai berikut :

$$F_{M11} = 18913.9 \text{ kN}$$

$$F_u = A_{M11-pakai} \cdot F_{Uizin} = 0.035 \text{ m}^2 \cdot 837000 \text{ kN/m}^2 = 29295 \text{ kN}$$

$$F_u = 29295 \text{ kN} > F_{M11} = 18913.9 \quad \text{(OK)}$$

Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.31.

**tabel 4. 31** Kontrol Kapasitas Penampang Tiap Kabel

Simbol kabel	A Pakai	f ijin	Fmax	force (kN)		f (kN)	Cek
	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN)	MS MA	Layan I		Fmax > F
M12	0.035	837000	29295	725.0	2898.7	2898.7	OK
M11	0.035	837000	29295	10999.4	18913.9	18913.9	OK
M10	0.035	837000	29295	14664.0	18728.7	18728.7	OK
M9	0.035	837000	29295	13256.1	13243.9	13256.1	OK

M8	0.03	837000	25110	11778.8	19738.3	19738.3	OK
M7	0.03	837000	25110	9501.8	11876.2	11876.2	OK
M6	0.03	837000	25110	8310.9	12231.7	12231.7	OK
M5	0.03	837000	25110	8134.0	13799.1	13799.1	OK
M4	0.03	837000	25110	8200.2	14612.5	14612.5	OK
M3	0.03	837000	25110	7807.3	14209.8	14209.8	OK
M2	0.02	837000	16740	6956.8	11936.7	11936.7	OK
M1	0.02	837000	16740	6326.3	10101.9	10101.9	OK
S1	0.02	837000	16740	6066.0	9241.4	9241.4	OK
S2	0.02	837000	16740	5899.3	8899.4	8899.4	OK
S3	0.02	837000	16740	5788.2	8670.6	8670.6	OK
S4	0.02	837000	16740	5591.5	7655.6	7655.6	OK
S5	0.02	837000	16740	4927.8	5197.2	5197.2	OK
S6	0.02	837000	16740	3893.5	3823.2	3893.5	OK
S7	0.025	837000	20925	4340.3	5664.6	5664.6	OK
S8	0.025	837000	20925	6624.6	11019.4	11019.4	OK
S9	0.025	837000	20925	6530.1	11214.5	11214.5	OK
S10	0.025	837000	20925	6600.3	11113.4	11113.4	OK
S11	0.025	837000	20925	6644.2	10986.1	10986.1	OK
S12	0.025	837000	20925	6673.8	10837.5	10837.5	OK

Digunakan strand dengan ukuran luas ( $A_s$ ) = 189.7 mm<sup>2</sup>, maka untuk kebutuhan jumlah stand dapat dirumuskan:

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

diambil contoh perhitungan jumlah strand M11 sebagai berikut :

$$A_{M11-pakai} = 0.035 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{0.035 \text{ m}^2}{189.7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 184.5 = 187 \text{ strand}$$

untuk perhitungan jumlah strand pakai lainnya dapat dilihat pada tabel 4.32.

**tabel 4. 32** Perhitungan  $n(\text{strand})$  pakai

Kabel	Apakai (Kn)	n	n (pakai)
M12	0.035	184.502	187
M11	0.035	184.502	187
M10	0.035	184.502	187
M9	0.035	184.502	187
M8	0.03	158.144	169
M7	0.03	158.144	169
M6	0.03	158.144	169
M5	0.03	158.144	169
M4	0.03	158.144	169
M3	0.03	158.144	169
M2	0.02	105.43	109
M1	0.02	105.43	109
S1	0.02	105.43	109
S2	0.02	105.43	109
S3	0.02	105.43	109
S4	0.02	105.43	109
S5	0.02	105.43	109
S6	0.02	105.43	109
S7	0.025	131.787	139
S8	0.025	131.787	139
S9	0.025	131.787	139
S10	0.025	131.787	139
S11	0.025	131.787	139
S12	0.025	131.787	139

#### 4.6.3 Analisa Penampang Akibat Kabel Putus satu

Sebagai perumpamaan kabel putus yaitu kabel M10, kabel M10 dipilih karena nilai gaya kabel M10 lebih besar dari lainnya, setelah itu dilakukan iterasi ulang pada MidasCivil untuk

mendapatkan nilai gaya tiap kabel lainnya akibat kabel M10 putus. Untuk nilai gaya tiap kabel dapat dilihat pada tabel 4.33.

**tabel 4. 33** Nilai Gaya Maksimum Tiap Kabel Akibat M10 Putus

<b>Kabel</b>	<b>F (Kn)</b>	<b>Comb</b>
M12	3555.0	Layan I
M11	27331.6	Layan I
M10	1.0	Layan I
M9	25602.6	Layan I
M8	13348.8	Layan I
M7	12151.2	Layan I
M6	12094.3	Layan I
M5	12454.3	Layan I
M4	12966.2	Layan I
M3	12535.6	Layan I
M2	11242.1	Layan I
M1	10273.3	Layan I
S1	9926.0	Layan I
S2	9795.3	Layan I
S3	9671.4	Layan I
S4	8925.8	Layan I
S5	6970.8	Layan I
S6	5802.5	Layan I
S7	7326.4	Layan I
S8	12450.1	Layan I
S9	13066.5	Layan I
S10	13421.7	Layan I
S11	13716.2	Layan I
S12	13970.0	Layan I

Penampang kabel akan dicek, apabila kabel dengan desain  $A_{pakai}$  tersebut mampu menahan gaya kabel akibat satu kabel putus (M10), maka penampang tersebut telah memenuhi syarat. Berikut contoh perhitungannya yaitu kabel M8:

$$A_{M9} = 0.035 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} F_u &= F_{izin} \cdot A_{M8} \\ &= 837000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.035 \text{ m}^2 \\ &= 29295 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_{m9max} = 25602.6 \text{ kN (layan I)}$$

Kontrol :

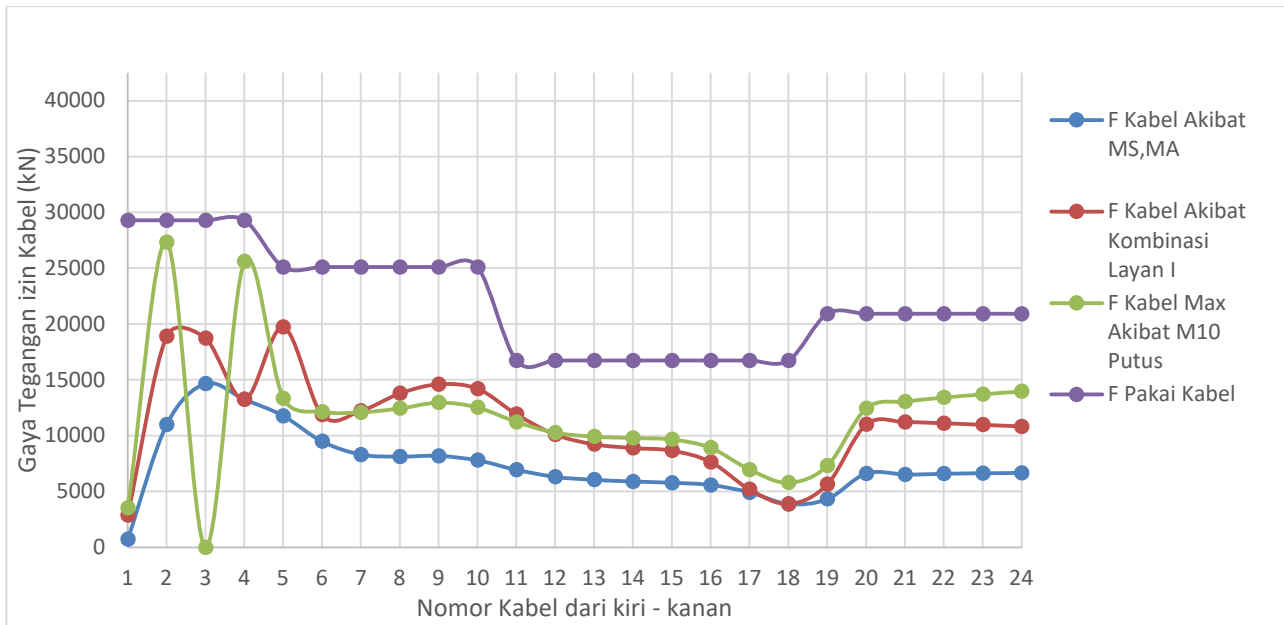
$$F_u = 29295 \text{ kN} > F_{m8max} = 25602.6 \text{ kN (OK)}$$

Perhitungan kontrol kapasitas penampang kabel lainnya dapat dilihat pada tabel 4.34.

**tabel 4. 34** Kontrol Kapasitas Penampang Kabel Akibat M10 Putus

Simbol kabel	A Pakai	f ijin	force max	force (kN) Akibat M10 Putus		f (kN)	Cek
	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN)	MS MA	layan I		Fmax > F
M12	0.035	837000	29295	1562.5	3555.0	3555.0	OK
M11	0.035	837000	29295	16525.1	27331.6	27331.6	OK
M10	0.035	837000	29295	1.0	1.0	1.0	OK
M9	0.035	837000	29295	20542.7	25602.6	25602.6	OK
M8	0.03	837000	25110	13183.9	13348.8	13348.8	OK
M7	0.03	837000	25110	7234.6	12151.2	12151.2	OK
M6	0.03	837000	25110	5480.2	12094.3	12094.3	OK
M5	0.03	837000	25110	7078.2	12454.3	12454.3	OK
M4	0.03	837000	25110	8649.3	12966.2	12966.2	OK
M3	0.03	837000	25110	8477.5	12535.6	12535.6	OK
M2	0.02	837000	16740	7069.7	11242.1	11242.1	OK
M1	0.02	837000	16740	5893.4	10273.3	10273.3	OK
S1	0.02	837000	16740	5248.9	9926.0	9926.0	OK

S2	0.02	837000	16740	5132.7	9795.3	9795.3	OK
S3	0.02	837000	16740	5581.3	9671.4	9671.4	OK
S4	0.02	837000	16740	6195.2	8925.8	8925.8	OK
S5	0.02	837000	16740	5997.7	6970.8	6970.8	OK
S6	0.02	837000	16740	4964.2	5802.5	5802.5	OK
S7	0.025	837000	20925	5395.8	7326.4	7326.4	OK
S8	0.025	837000	20925	7941.6	12450.1	12450.1	OK
S9	0.025	837000	20925	8211.5	13066.5	13066.5	OK
S10	0.025	837000	20925	8488.0	13421.7	13421.7	OK
S11	0.025	837000	20925	8721.2	13716.2	13716.2	OK
S12	0.025	837000	20925	8929.2	13970.0	13970.0	OK

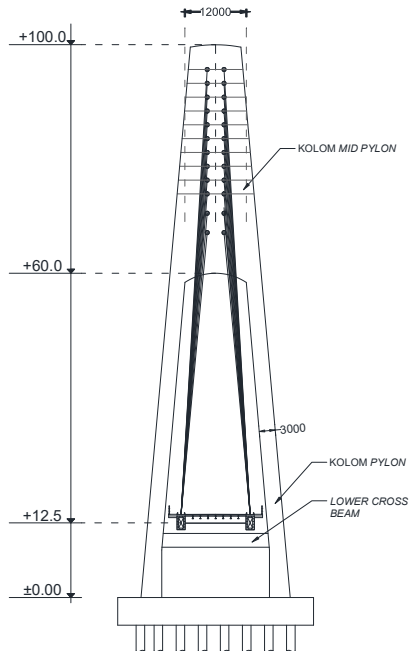


Gambar 4. 69 Grafik Perbandingan Kemampuan Izin Kabel dengan Gaya Tarik yang Diterima Kabel  
 Sumber : (Dokumen pribadi)

#### 4.7 Struktur Pylon

Struktur *pylon* berfungsi sebagai pemikul beban yang terjadi pada lantai kendaraan, baik berupa beban hidup maupun beban mati, beban dari lantai kendaraan disalurkan melalui kabel ke *pylon* untuk kemudian ditransfer ke pondasi.

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, berikut adalah bentuk penampang *pylon* yang digunakan. Dimana penampang *pylon* dibagi menjadi 3 bagian, yaitu kolom *pylon*, *lower cross beam* dan kolom *mid*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.70.



**Gambar 4. 70** Penampang Pylon tampak Melintang  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*



## 4.7.1 Kolom *Pylon*

### 4.7.1.1 Perencanaan Kolom *Pylon*

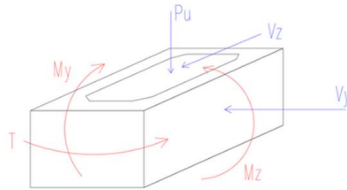
Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat **Gambar 4.71**, adapun gaya dalam maksimum yang bekerja pada kolom :

- $P_u$  = 191540 kN
- $V_{uy}$  = 10918 kN
- $V_{uz}$  = 18134 kN
- $M_{uy}$  = 107944 kN
- $M_{uz}$  = 113788 kN
- $M_t$  = 9434 kN
- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 50 MPa
- Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 400 MPa

The screenshot shows the 'Section Properties' dialog box in SAP2000. The 'Section ID' is 8, and the 'Section Name' is 'Pylon Column'. The section is defined as an 'R-Octagon' with a 'Built-Up Section' checked. The 'DB Name' is 'AISC10(US)'. The 'Number of Cell' is 1. The 'Offset' is 'Center-Center'. The 'Consider Shear Deformation' checkbox is checked, and 'Consider Warping Effect (7th DOF)' is unchecked.

	Value	Unit
Area	1.074000e+001	m <sup>2</sup>
Asy	5.050000e+000	m <sup>2</sup>
Asz	5.690000e+000	m <sup>2</sup>
Ixx	2.134440e+001	m <sup>4</sup>
Iyy	2.784703e+001	m <sup>4</sup>
Izz	1.062170e+001	m <sup>4</sup>
Cyp	1.500000e+000	m
Cym	1.500000e+000	m
Czn	2.500000e+000	m
Czm	2.500000e+000	m
Qyb	4.834583e+000	m <sup>3</sup>
Qzb	3.078333e+000	m <sup>3</sup>
Peri:O	1.600000e+001	m
Peri:I	8.428427e+000	m
Center y	1.500000e+000	m
Center z	2.500000e+000	m
y1	-1.500000e+000	m
z1	2.500000e+000	m
y2	1.500000e+000	m
z2	2.500000e+000	m
y3	1.500000e+000	m
z3	-2.500000e+000	m
y4	-1.500000e+000	m
z4	-2.500000e+000	m

**Gambar 4.71** Section Properties Penampang Kolom *Pylon*  
 Sumber : (Dokumen pribadi SAP2000 v.14)



**Gambar 4. 72** Koordinat Kolom Pylon  
*Sumber : (Dokumen pribadi SAP2000 v.14)*

#### 4.7.1.2 Penulangan Lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

$$191540 \text{ kN} < 0,1 * 50 \text{ N/mm}^2 * 1.07.10^7 \text{ mm}^2 = 535000 \text{ kN}$$

Karena nilai  $P_u > 0,1 \cdot f_c \cdot A_g$  maka tekan diperhitungkan

##### 1. Arah Y (*braced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\frac{k \cdot l}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

$k$  = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

$l_u$  = panjang bebas komponen tekan (100 m, tinggi pylon)

$r$  = jari-jari girasi penampang (1.61 m)  $\left( \sqrt{\frac{I_y}{A}} \right)$

$M_1$  = momen ujung terfaktor yang lebih kecil (75327.9 kNm)

$M_2$  = momen ujung terfaktor yang lebih besar (107944 kNm)

maka,

$$\frac{1 \cdot 100}{1.61} \leq 34 - 12 \left( \frac{75327.9}{107944} \right) \leq 40$$

$$62.1 \leq 20.04 \leq 40$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

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

Dimana:

$P_u$  = gaya tekan terfaktor (191540 kN)

$\Delta \alpha$  = simpangan relatif ( 0.01 m)

$V_{u_y}$  = gaya geser terfaktor (10918 kN)

$I_y$  = inersia (27.8 m<sup>4</sup>)

maka,

$$Q = \frac{191540 \times 0.01}{10918 \times 27.8} = 0.0063 < 0.05 \quad (\text{Kolom tidak dianggap bergoyang})$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = \frac{0,4EcI}{1 + \beta_{dns}} \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1})$$

Dimana,

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

$$EI = \frac{0,4 \times 33234,01 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2 \times 27.8 \text{ m}^4}{1 + 0,5} = 2.46 \times 10^{11} \text{ kNm}^2$$

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

$$= \frac{\pi^2 \times 2.46 \cdot 10^{11}}{(1.100)^2}$$

$$= 242987775.1 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

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

dimana,

$C_m = 1,0$  ( $C_m > 1$  untuk kolom dengan pengaku lateral)

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{191540}{0,75 \cdot 242987775.1}}$$

$$= 1.001 > 1,0 \quad (\text{OK})$$

- Momen desain

$$\begin{aligned}
 Mc &= \delta_{ns} \cdot M_u \\
 &= 1,001 \cdot 107944 \text{ kNm} \\
 &= \mathbf{108051.9 \text{ kNm}}
 \end{aligned}$$

## 2. Arah Z (*unbraced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\frac{k \cdot l}{r} \leq 22 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

$k$  = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

$l_u$  = panjang bebas komponen tekan (100 m)

$r$  = jari-jari girasi penampang (0.99 m)  $\left( \sqrt{\frac{I_z}{A}} \right)$

maka,

$$\frac{1 \cdot 100}{0.99} \leq 22$$

$$101 \leq 22$$

Penampang langsing (tidak kompak).

- Perbesaran momen

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

Dimana:

$P_u$  = gaya tekan terfaktor (191540 kN)

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

$V_{u_z}$  = gaya geser terfaktor (18134 kN)

$I_z$  = inersia (10.62 m<sup>4</sup>)

maka,

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{191540 \times 0,01}{18134 \times 10,62} \\
 &= 0,0099 < 0,05 \quad (\text{kolom dianggap tidak bergoyang})
 \end{aligned}$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

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

Dimana,

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

$$EI = \frac{0,4 \times 33234,01 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2 \times 10,62 \text{ m}^4}{1+0,5} = 9,4 \times 10^{10} \text{ kNm}^2$$

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k.l)^2} \quad (\text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13}) \\ &= \frac{\pi^2 \times 9,4 \cdot 10^{10}}{(1,100)^2} \\ &= 92680240 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor perbesaran momen

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

dimana,

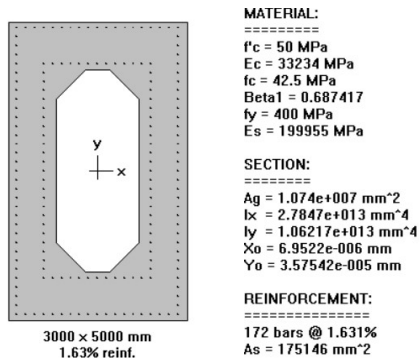
$$cm = 1,0 \quad (Cm > 1 \text{ untuk kolom dengan pengaku lateral})$$

$$\begin{aligned} \delta_{ns} &= \frac{1}{1 - \frac{191540}{0,75 \cdot 92680240}} \\ &= 1,0027 > 1,0 \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

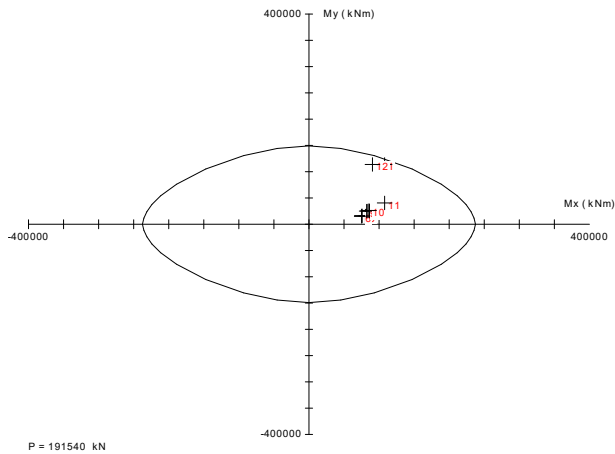
- Momen desain

$$\begin{aligned} M_c &= \delta_{ns} \cdot M_u \\ &= 1,0027 \cdot 113788 \text{ kNm} \\ &= \mathbf{114095,22 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D25. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.73**



**Gambar 4. 73** Desain Penampang Tulangan Longitudinal Pylon pada sPColumn  
 Sumber : (Dokumen pribadi sPColumn)



**Gambar 4. 74** Grafik Diagram Mx-My  
 Sumber : (Dokumen pribadi sPColumn)

Dari hasil analisa diatas didapatkan :

172 buah D36 (1.63%)

$$A_s = 175146 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \emptyset - n \cdot D}{n - 1} \\ &= \frac{3000 - 2 \cdot 150 - 2 \cdot (25) - 19 \cdot 36}{19 - 1} \\ &= 109.2 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan arah X dipakai 150mm

Kontrol jarak antar tulangan y

$$\begin{aligned} s &= \frac{h - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \emptyset - n \cdot D}{n - 1} \\ &= \frac{5000 - 2 \cdot 100 - 2 \cdot 25 - 33 \cdot 36}{33 - 1} \\ &= 109.75 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan arah Y dipakai 150mm

Maka, dipakai tulangan lentur **172D36-150**

#### 4.7.1.3 Penulangan Geser

Dari hasil analisa MidasCivil didapatkan gaya geser maksimum sebesar :

$$V_{uy} = 10918 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 18134 \text{ kN}$$

##### 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)

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,17 \left( 1 + \frac{191540000N}{14 \cdot 1.074 \times 10^7} \right) 1. \sqrt{50}. 2700. 5000$$

$$= 36977969.75 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85. 36977.9 \text{ kN}$$

$$= 31431.3 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 31431.3 \text{ kN} > V_{uy} = 10918 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan Tulangan Geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D tulangan longitudinal = 8.(36) mm = **288 mm**
- 24D sengkang = 24.(25) mm = 600 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 250 mm

$$A_{v_{min}} = 0,062. \sqrt{f_c'} \frac{b_w.s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3})$$

$$= 0,062. \sqrt{50}. \frac{3000.250}{400}$$

$$= 917,91 \text{ mm}^2$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35.b_w.s)/f_y = (0,35.3000.250) / 400 = 732,8 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{min}} = 917,91 \text{ mm}^2 > (0,35.b_w.s)/f_y = 732,82 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang sengkang 2kaki D25-250

## 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)



$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b d \\
 &= 0,17 \left( 1 + \frac{191540000N}{14 * 1,074x10^7} \right) 1. \sqrt{50}. 2700. 5000 \\
 &= 36977969.75 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,85. 36977.9 \text{ kN} \\
 &= 31431.3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 31431.3 \text{ kN} > V_{u_z} = 18134 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan Tulangan Geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D tulangan longitudinal = 8.(36) mm = **288 mm**
- 24D sengkang = 24.(25) mm = 600 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 250 mm

$$\begin{aligned}
 A_{V_{\min}} &= 0,062. \sqrt{f'c'} \frac{bw.s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\
 &= 0,062. \sqrt{50}. \frac{5000.250}{400} \\
 &= 1370 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35.bw.s)/f_y = (0,35.5000.250) / 400 = 1093.75 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{V_{\min}} = 1370 \text{ mm}^2 > (0,35.bw.s)/f_y = 1093.75 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Maka dipasang sengkang 2kaki D25-250.

#### 4.7.1.4 Penulangan Torsi

- Desain Tulangan Torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 10740000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(3000+5000) = 16000 \text{ mm}$$

Maka,

$$T_u = 0,85 \cdot 0,0831 \cdot \sqrt{50} \left( \frac{10740000^2}{16000} \right)$$

$$= 3596.4 \text{ kNm}$$

$$T_n = 0,85 \times 3596.4$$

$$= 3056.95 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$T = 9434 \text{ kNm} < T_n = 3056.95 \text{ kNm} \quad (\text{Not OK})$$

Maka diperlukan tulangan torsi

- Perhitungan tulangan torsi  
(SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$T_n = T_u / \phi$$

$$= 9434 / 0,85$$

$$= 11098.8 \text{ kNm}$$

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot (2700 \times 4800)$$

$$= 11016000 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$A_t / s = \frac{s T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$= \frac{11098.8 \cdot 10^6}{2 \cdot 11016000 \cdot 400 \cdot \cot 45}$$

$$= 1.25 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$A_{l1} = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7})$$

$$= 1.25 \cdot (2 \cdot (2700 + 4800)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45$$

$$= 18750 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < p_h / 8 = 1875 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D25

$$\begin{aligned} A_s &= 0.25\pi D^2 \\ &= 490.625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_1 / A_s \\ &= 18750/490.625 \\ &= 38.21 \\ &= 44 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal **44D25-300**

- Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot\theta \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{T_n \cdot s}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot\theta} \\ &= 375 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < p_h / 8 = 1875 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D19

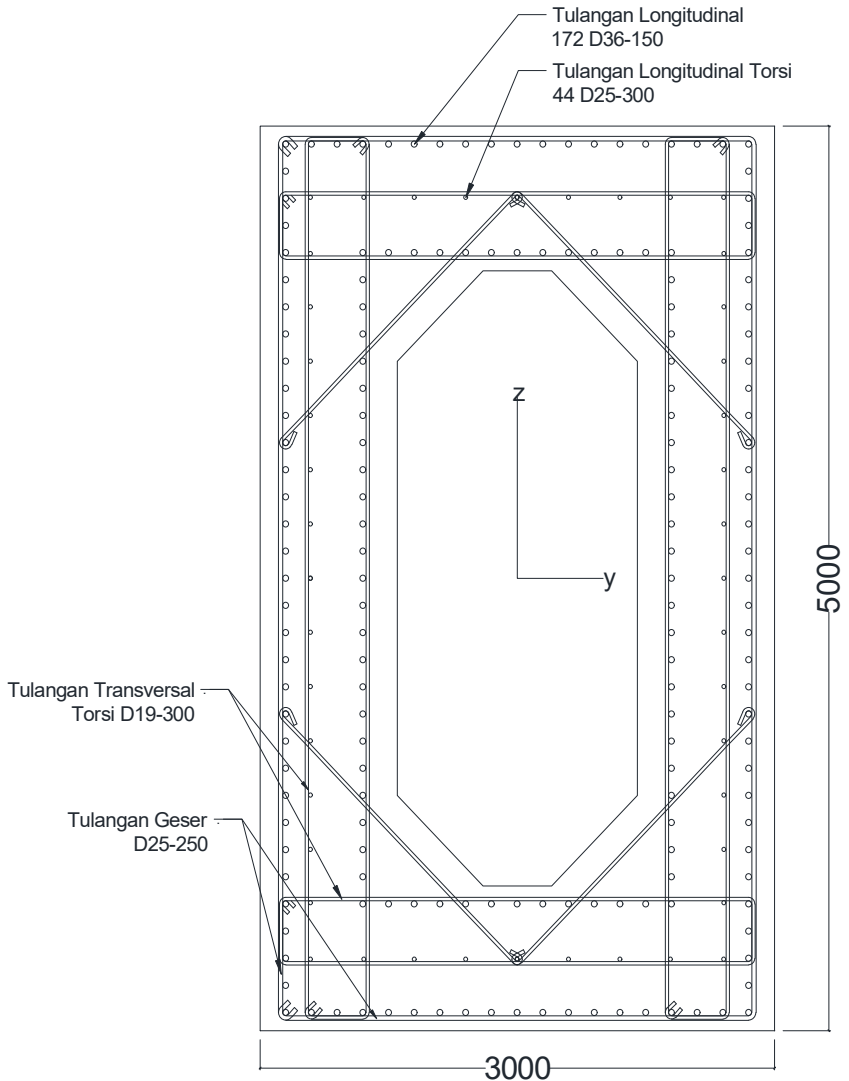
$$\begin{aligned} n &= 2 \\ A_s &= 2 \cdot 0.25\pi D^2 \\ &= 566.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s = 566.7 \text{ mm}^2 > A_t = 375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Dipakai tulangan torsi transversal **2D19-300** dengan  $A_s = 566.7 \text{ mm}^2$

Sketsa penulangan untuk kolom *pylon* dapat dilihat pada **Gambar 4.75**



**Gambar 4. 75** Sketsa Desain Penulangan Kolom Pylon  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

## 4.7.2 Kolom *Mid Pylon*

### 4.7.2.1 Perencanaan Kolom *Mid Pylon*

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat **Gambar 4.76**, adapun gaya dalam maksimum yang bekerja pada kolom :

- $P_u$  = 316694 kN
- $V_{uy}$  = 6057 kN
- $V_{uz}$  = 6225 kN
- $M_{uy}$  = 133845 kN
- $M_{uz}$  = 114730 kN
- $M_t$  = 11864 kN
- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 50 MPa
- Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 400 MPa

The screenshot shows the 'Section Properties' dialog box for a 'Mid Pylon Column' section. The section is defined as an 'R-Octagon' with a 'User' database and 'AISC10(US)' section name. The 'Built-Up Section' checkbox is checked. The 'Get Data from Single Angle' option is selected. The 'DB Name' is 'AISC10(US)'. The 'Sect. Name' is empty. The 'Number of Cell' is 1.

The dimensions table is as follows:

Parameter	Value	Unit
H	5	m
B	12	m
a	0.5	m
b	0.5	m
t1	2	m
t2	1.5	m
t3	0	m

The 'Section Properties' table is as follows:

Property	Value	Unit
Area	4.450000e+001	m <sup>2</sup>
Asv	3.625000e+001	m <sup>2</sup>
Asz	8.250000e+000	m <sup>2</sup>
Ixx	2.910891e+002	m <sup>4</sup>
Iyy	1.200208e+002	m <sup>4</sup>
Izz	6.420208e+002	m <sup>4</sup>
Cyp	6.000000e+000	m
Cym	6.000000e+000	m
Czn	2.500000e+000	m
Czm	2.500000e+000	m
Qvh	8.427083e+000	m <sup>2</sup>
Qzh	2.498611e+001	m <sup>2</sup>
Pari O	3.400000e+001	m
Pari I	1.882843e+001	m
Center v1	6.000000e+000	m
Center z1	2.500000e+000	m
v1	-6.000000e+000	m
z1	2.500000e+000	m
v2	6.000000e+000	m
z2	2.500000e+000	m
v3	6.000000e+000	m
z3	-2.500000e+000	m
v4	-6.000000e+000	m
z4	-2.500000e+000	m

**Gambar 4. 76** *Section Properties* Kolom *Mid Pylon*  
*Sumber : (Dokumen pribadi SAP2000 v.14)*

#### 4.7.2.2 Penulangan Lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$
$$316694 \text{ kN} < 0,1 * 50 \text{ N/mm}^2 * 4.45 \cdot 10^7 \text{ mm}^2 = 222500 \text{ kN}$$

Karena nilai  $P_u > 0,1 \cdot f_c \cdot A_g$  maka tekan diperhitungkan

##### 1. Arah Y (*braced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\frac{k \cdot l}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

$k$  = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

$l_u$  = panjang bebas komponen tekan (100 m, tinggi pylon)

$r$  = jari-jari girasi penampang (1.64 m)  $\left( \sqrt{\frac{I_y}{A}} \right)$

$M_1$  = momen ujung terfaktor yang lebih kecil (104300 kNm)

$M_2$  = momen ujung terfaktor yang lebih besar (133845 kNm)

maka,

$$\frac{1 \cdot 100}{1.64} \leq 34 - 12 \left( \frac{104300}{133845} \right) \leq 40$$

$$60.9 \leq 24.64 \leq 40$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

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

Dimana:

$P_u$  = gaya tekan terfaktor (316694 kN)

$\Delta \alpha$  = simpangan relatif ( 0.01 m)

$V_{u_y}$  = gaya geser terfaktor (6057 kN)

$I_y$  = inersia (120 m<sup>4</sup>)

maka,

$$Q = \frac{316694 \times 0.01}{6057 \times 120} = 0.0043 < 0.05 \text{ (Kolom tidak dianggap bergoyang)}$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

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

Dimana,

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

$$EI = \frac{0,4 \times 33234,01 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2 \times 120 \text{ m}^4}{1+0,5} = 1.06 \times 10^{12} \text{ kNm}^2$$

$$Pc = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k.l)^2} \quad (\text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13})$$
$$= \frac{\pi^2 \times 1.06 \cdot 10^{12}}{(1.100)^2}$$
$$= 1045117600 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

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

dimana,

$$cm = 1,0 \text{ (Cm} > 1 \text{ untuk kolom dengan pengaku lateral)}$$

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{316694}{0,75 \cdot 1045117600}}$$
$$= 1.0004 > 1,0 \quad \text{(OK)}$$

- Momen desain

$$Mc = \delta_{ns} \cdot M_u$$
$$= 1,0004 \cdot 133845 \text{ kNm}$$
$$= \mathbf{133899.1 \text{ kNm}}$$

2. Arah Z (*unbraced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\frac{k.l}{r} \leq 22 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

$l_u$  = panjang bebas komponen tekan (100 m)

r = jari-jari girasi penampang (3.7 m)  $\left( \sqrt{\frac{I_z}{A}} \right)$

maka,

$$\frac{1.100}{3.7} \leq 22$$

$$27.02 \leq 22$$

Penampang langsing (tidak kompak).

- Perbesaran momen

$$Q = \frac{\Sigma Pu_i \Delta \alpha}{Vu_i I} \leq 0,05 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2})$$

Dimana:

$Pu$  = gaya tekan terfaktor (316694 kN)

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

$Vu_z$  = gaya geser terfaktor (6225 kN)

$I_z$  = inersia (642 m<sup>4</sup>)

maka,

$$Q = \frac{316694 \times 0,01}{6225 \times 645} = 0,00078 < 0,05 \quad (\text{kolom dianggap tidak bergoyang})$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = \frac{0,4EcI}{1+\beta_{dns}} \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1})$$

Dimana,

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

$$EI = \frac{0,4 \times 33234,01 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2 \times 642 \text{ m}^4}{1+0,5} = 5,7 \times 10^{12} \text{ kNm}^2$$

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



$$= \frac{\pi^2 \times 5.7.10^{12}}{(1.100)^2}$$

$$= 5619972000 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0.75Pc}} \geq 1,0$$

dimana,

cm = 1,0 (Cm > 1 untuk kolom dengan pengaku lateral)

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{316694}{0.75.5619972000}}$$

$$= 1.0001 > 1,0 \quad \text{(OK)}$$

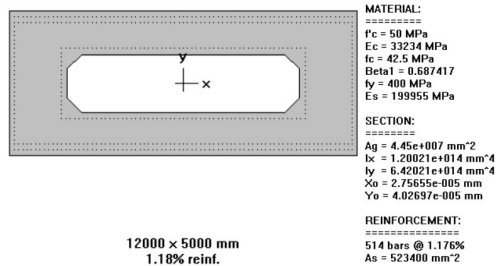
- Momen desain

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

$$= 1,0001 \cdot 114730 \text{ kNm}$$

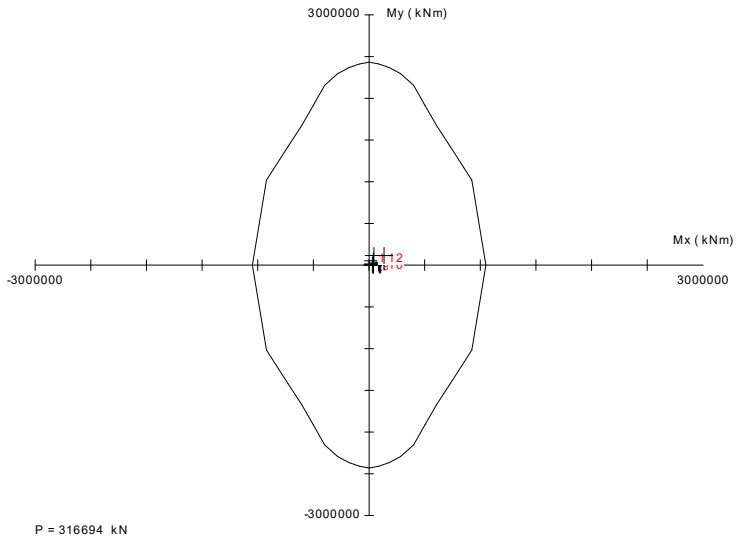
$$= \mathbf{114741.5 \text{ kNm}}$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D25. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.77**



**Gambar 4. 77** Desain Penampang Tulangan Longitudinal *Mid Pylon* pada *spColumn*

Sumber : (Dokumen pribadi *spColumn*)



**Gambar 4. 78** Gambar Diagram Grafik Mx-My

*Sumber : (Dokumen pribadi sPColumn)*

Dari hasil analisa diatas didapatkan :

514 buah D36 (1.18%)

$$A_s = 523400 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{12000 - 2 \cdot 150 - 2 \cdot (25) - 79 \cdot 36}{79 - 1}$$

$$= 112.9 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jarak antar tulangan arah X dipakai **150mm**

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{h - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{5000 - 2 \cdot 200 - 2 \cdot 25 - 31 \cdot 36}{31 - 1}$$

$$= 114.5 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jarak antar tulangan arah Y dipakai **150mm**

Maka, dipakai tulangan lentur **514D36-150**

#### 4.7.2.3 Penulangan Geser

Dari hasil analisa MidasCivil didapatkan gaya geser maksimum sebesar :

$$V_{uy} = 6057 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 6225 \text{ kN}$$

##### 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)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{316694000 \text{ N}}{14 * 4.45 * 10^7} \right) 1. \sqrt{50}. 11700. 5000 \\ &= 106068932.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85. 106068.9 \text{ kN} \\ &= 90158.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 90158.6 \text{ kN} > V_{uy} = 6057 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan Tulangan Geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D tulangan longitudinal = 8.(36) mm = **288 mm**
- 24D sengkang = 24.(25) mm = 600 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 5000/2 = 2500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 250 mm

$$\begin{aligned}
 A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\
 &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{12000 \cdot 250}{400} \\
 &= 3945,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 12000 \cdot 250) / 400 = 2625 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 3945,6 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = 2625 \text{ mm}^2 \quad (\mathbf{OK})$$

Maka dipasang sengkang 6kaki D25-250

## 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)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d \\
 &= 0,17 \left( 1 + \frac{316694000 \text{ N}}{14 \cdot 4,45 \times 10^7} \right) 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 11700 \cdot 5000 \\
 &= 106068932,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,85 \cdot 106068,9 \text{ kN} \\
 &= 90158,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 90158,6 \text{ kN} > V_{u_z} = 6225 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

Maka digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan Tulangan Geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D tulangan longitudinal = 8.(36) mm = **288 mm**
- 24D sengkang = 24.(25) mm = 600 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi **250 mm**

$$\begin{aligned}
 A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\
 &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{5000 \cdot 250}{400} \\
 &= 1370 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 5000 \cdot 250) / 400 = 1093,7 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 1370 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = 1093,7 \text{ mm}^2 \quad (\mathbf{OK})$$

Maka dipasang sengkang 8kaki D25-250

#### 4.7.2.4 Penulangan Torsi

- Desain Tulangan Torsi

$$T_u = \varphi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 44500000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(12000 + 5000) = 34000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 T_u &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \left( \frac{44500000^2}{34000} \right) \\
 &= 29055 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

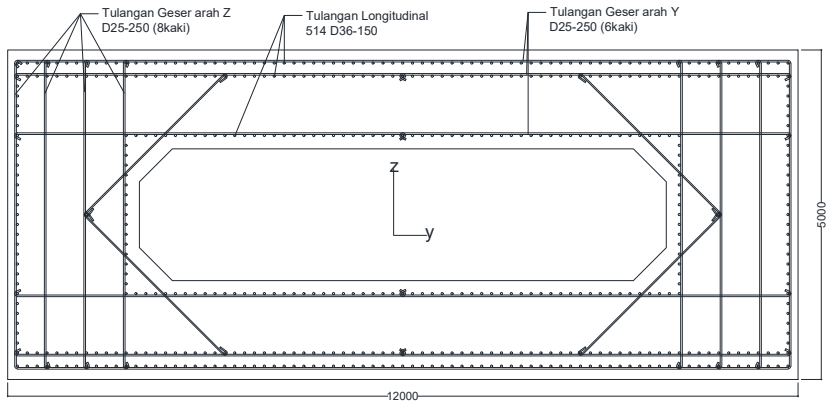
$$\begin{aligned}
 T_n &= 0,85 \times 3596,4 \\
 &= 24696,9 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 11864 \text{ kNm} < T_n = 24696,9 \text{ kNm} \quad (\mathbf{OK})$$

Maka untuk *Mid Pylon* tidak diperlukan tulangan torsi

Sketsa penulangan untuk kolom *pylon* dapat dilihat pada **Gambar 4.79**



**Gambar 4. 79** Sketsa Desain Penulangan Kolom *Mid Pylon*  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

### 4.7.3. Lower Cross Beam

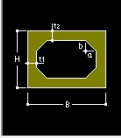
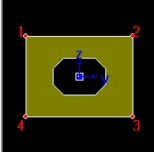
#### 4.7.3.1 Perencanaan *Lower Cross Beam*

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat **Gambar 4.80**, adapun gaya dalam maksimum yang bekerja pada kolom :

- $P_u$  = 2665 kN
- $V_{uy}$  = 5363 kN
- $V_{uz}$  = 9056 kN
- $M_{uy}$  = 59367 kN
- $M_{uz}$  = 62946 kN
- $M_t$  = 2205 kN
- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 50 MPa
- Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 400 MPa

Section ID: 9    R-Octagon

Name: Lower Cross Beam    User    DB: AISC10(US)

Number of Cell: 1

Sect. Name:

Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC10(US)

Sect. Name:

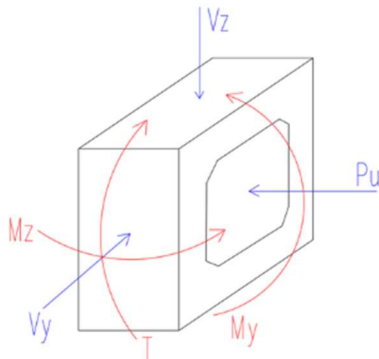
H	3	m
B	4	m
a	0.4	m
b	0.4	m
t1		m
t2	0.8	m
t3	0	m

Section Properties

	Value	Unit
Area	9.520000e+000	m <sup>2</sup>
Asy	6.560000e+000	m <sup>2</sup>
Asz	2.960000e+000	m <sup>2</sup>
Ixx	1.464202e+001	m <sup>4</sup>
Iyy	8.648267e+000	m <sup>4</sup>
Izz	1.530987e+001	m <sup>4</sup>
Cyy	2.000000e+000	m
Cyy	2.000000e+000	m
Czz	1.500000e+000	m
Czz	1.500000e+000	m
Oyh	2.050333e+000	m <sup>2</sup>
Ozh	3.399167e+000	m <sup>2</sup>
Peri 0	1.400000e+001	m
Peri 1	5.862742e+000	m
Centar y	2.000000e+000	m
Centar z	1.500000e+000	m
v1	-2.000000e+000	m
z1	1.500000e+000	m
v2	2.000000e+000	m
z2	1.500000e+000	m
v3	2.000000e+000	m
z3	-1.500000e+000	m
v4	-2.000000e+000	m
z4	-1.500000e+000	m

Close

**Gambar 4. 80** Section Properties Lower Cross Beam  
 Sumber : (Dokumen pribadi SAP2000 v.14)



**Gambar 4. 81** Koordinat Lower Cross Beam  
 Sumber : (Dokumen pribadi)

#### 4.7.3.2 Penulangan Lentur

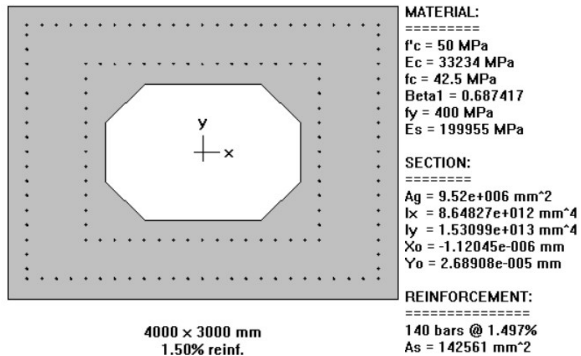
Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

$$2665 \text{ kN} < 0,150 \text{ N/mm}^2 \cdot 9,52 \cdot 10^6$$

$$2665 \text{ kN} < 47600 \text{ kN} \text{ (Maka tekan diabaikan)}$$

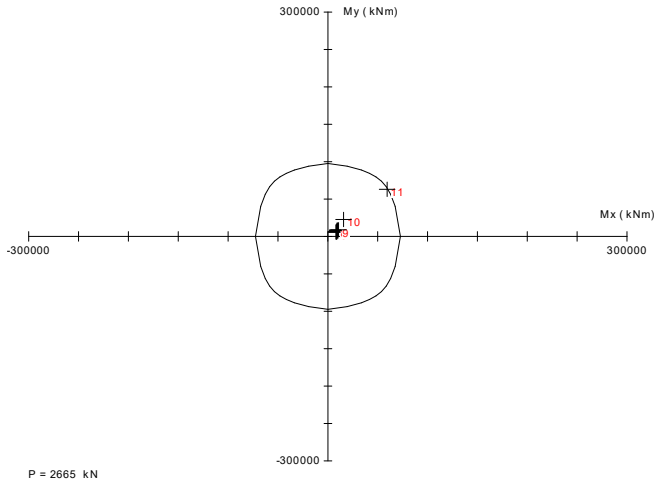
Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *sPColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.82**



**Gambar 4. 82** Desain Penampang Tulangan *Lower Cross Beam* pada *sPColumn*

*Sumber : (Dokumen pribadi sPColumn)*





**Gambar 4. 83** Gambar Diagram Grafik Mx-My

*Sumber : (Dokumen pribadi sPColumn)*

Dari hasil analisa diatas didapatkan :

140 buah D36 (1.5%)

$$A_s = 142561 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{4000 - 2 \cdot 200 - 2 \cdot (25) - 25 \cdot 36}{25 - 1}$$

$$= 110.42 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jarak antar tulangan arah X dipakai **150mm**

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{h - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{3000 - 2 \cdot 200 - 2 \cdot 25 - 19 \cdot 36}{19 - 1}$$

$$= 103.67 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jarak antar tulangan arah Y dipakai **150mm**

Maka, dipakai tulangan lentur **140D36-150**

#### 4.7.3.3 Penulangan Geser

Dari hasil analisa MidasCivil didapatkan gaya geser maksimum sebesar :

$$V_{uy} = 5363 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 9056 \text{ kN}$$

##### 1. Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

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

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{5363000 \text{ N}}{14 * 9,52 * 1^2} \right) 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 3600 \cdot 3000 \\ &= 13504877,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85 \cdot 13504,9 \text{ kN} \\ &= 11479,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 11479,1 \text{ kN} > V_{uy} = 5363 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan Tulangan Geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D tulangan longitudinal = 8.(36) mm = **288 mm**
- 24D sengkang = 24.(25) mm = 600 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 250 mm

$$A_{v_{\min}} = 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3})$$

$$= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{4000 \cdot 250}{400}$$

$$= 1096.01 \text{ mm}^2$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 4000 \cdot 250) / 400 = 875 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 1096.01 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = 875 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Maka dipasang sengkang 4kaki D25-250

## 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)

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,17 \left( 1 + \frac{5363000 \text{ N}}{14 \cdot 9,52 \text{ m}^2} \right) 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 3600 \cdot 3000$$

$$= 13504877.28 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 13504.9 \text{ kN}$$

$$= 11479.1 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 11479.1 \text{ kN} > V_{u_z} = 9056 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

Maka digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan Tulangan Geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D tulangan longitudinal = 8.(36) mm = **288 mm**
- 24D sengkang = 24.(25) mm = 600 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi **250 mm**

$$A_{v_{\min}} = 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3})$$

$$= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{3000 \cdot 250}{400}$$

$$= 822.01 \text{ mm}^2$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 3000 \cdot 250) / 400 = 656.25 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 822.01 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = 656.25 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

Maka dipasang sengkang 4kaki D25-250

#### 4.7.3.4 Penulangan Torsi

- Desain Tulangan Torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 9520000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4000+3000) = 14000 \text{ mm}$$

Maka,

$$T_u = 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \left( \frac{9520000^2}{14000} \right)$$

$$= 3229.4 \text{ kNm}$$

$$T_n = 0,85 \times 3229.4$$

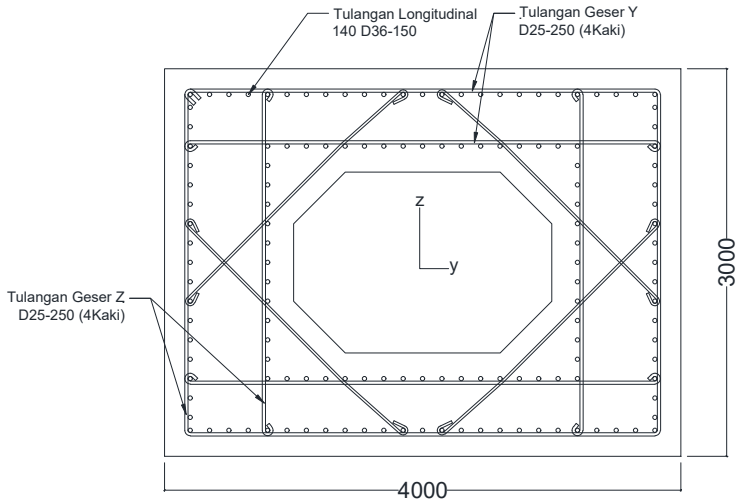
$$= 2754.03 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$T = 2205 \text{ kNm} < T_n = 2754.03 \text{ kNm} \quad \text{(OK)}$$

Maka untuk *Lower Cross Beam* tidak diperlukan tulangan torsi

Sketsa penulangan untuk *Lower Cross Beam* dapat dilihat pada **Gambar 4.83**



**Gambar 4. 84** Sketsa Desain Penuulangan *Lower Cross Beam*  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

## 4.8 Perilaku Aerodinamis

Dalam 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).

### 4.8.1 Frekuensi Alami

Frekuensi alami yang dihitung adalah frekuensi lentur ( $f_B$ ) dan frekuensi torsi ( $f_T$ ) yang didekati dengan persamaan berikut :

$$- f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left( \frac{g}{v_{maks}} \right)^{1/2}$$

Dimana :

$f_B$  = frekuensi alami lentur

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$v_{maks}$  = deformasi statis struktur (0.262 m dari MIDAS)

Maka,

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left( \frac{9,81}{0,262} \right)^{1/2}$$
$$= \mathbf{1.06 \text{ Hz}}$$

$$- f_T = \frac{b}{2r} f_B$$

Dimana,

$f_T$  = frekuensi alami torsi

$b$  = jarak kabel arah melintang (12.75 m)

$r$  = jari-jari grasi penampang lantai kendaraan

Mencari jari jari girasi penampang (r)

Diketahui :

Titik berat penampang

$X$  = 7,25 dari kiri

$Y$  = 2.426 dari bawah

Menghitung jari jari girasi

$$A_{\text{box}} = 1.06 \text{ m}^2$$

$$y_{\text{box}} = 0,926 \text{ m}$$

$$A_{\text{balok}} = 0.022 \text{ m}^2$$

$$y_{\text{balok}} = 0,274 \text{ m}$$

$$A_{\text{beton}} = 2.75 \text{ m}^2$$

$$y_{\text{beton}} = 0,699 \text{ m}$$

$$I_{x_{\text{box}}} = 1.2148 \text{ m}^4$$

$$x_{\text{box}} = 6,375 \text{ m}$$

$$I_{x_{\text{balok}}} = 0.0128 \text{ m}^4$$

$$x_{\text{balok1}} = 1.37 \text{ m}$$

$$I_{x_{\text{beton}}} = 0.0143 \text{ m}^4$$

$$x_{\text{balok2}} = 2,75 \text{ m}$$

$$I_{y_{\text{box}}} = 0.5168 \text{ m}^4$$

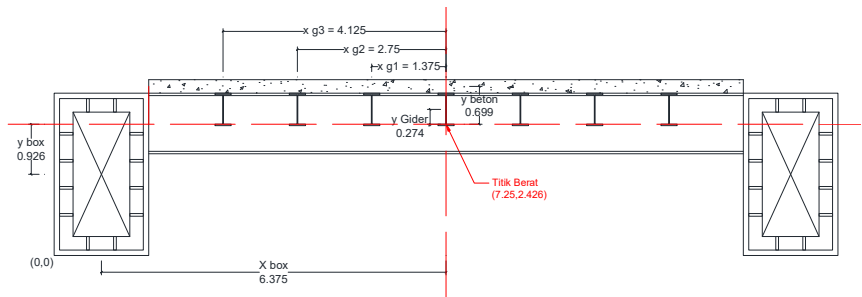
$$x_{\text{balok3}} = 4.125 \text{ m}$$

$$I_{y_{\text{balok}}} = 0.00049 \text{ m}^4$$

$$x_{\text{balok4}} = 0 \text{ m}$$

$$I_{y_{\text{beton}}} = 27.73 \text{ m}^4$$

$$x_{\text{beton}} = 0 \text{ m}$$



**Gambar 4. 85** Titik berat penampang *deck*  
*Sumber : (Dokumen pribadi)*

$$r_x = \sqrt{\frac{(2.Ix_{box} + 2.A.y_{box}^2) + (7.Ix_{balok} + A.y_{balok}^2) + (Ix_{beton} + A.y_{beton})}{(2.A_{box} + 7.A_{balok} + A_{beton})}}$$

$$= 1.13 \text{ m}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{(2.Iy_{box} + 2.A.x_{box}^2) + (2.Iy_{balok} + 2A.x_{balok1}^2) + (2.Iy_{balok} + 2A.x_{balok2}^2) + \dots}{(2.A_{box} + 7.A_{balok} + A_{beton})}}$$

$$= \sqrt{\frac{\dots + (2.Iy_{balok} + 2A.x_{balok}^2) + (Iy_{beton}) + Iy_{balok}}{(2.A_{box} + 7.A_{balok} + A_{beton})}}$$

$$= 2.91 \text{ m}$$

Digunakan  $r = 2.91 \text{ m}$

maka,


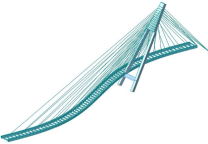
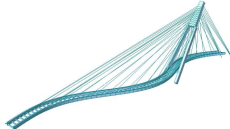


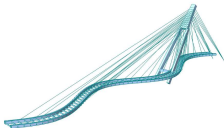
$$f_T = \frac{12,75}{2 \cdot 2.91} \cdot 1.06$$

$$= \mathbf{2.322 \text{ Hz}}$$



$$\frac{f_T}{f_B} = \frac{2.322 \text{ Hz}}{1.06 \text{ Hz}} = \mathbf{2.19} \cong 2,5 \text{ (Mathivat)}$$

Dengan program bantu MidasCivil nilai frekuensi alami lentur balok ( $f_B$ ) dan frekuensi alami torsi ( $f_T$ ) dapat dicari dengan menggunakan modal melalui tahapan mode pada menu result vibration mode shapes. Nilai frekuensi alami lentur balok ( $f_B$ ) dan frekuensi alami torsi ( $f_T$ ) hasil analisa MidasCivil dapat dilihat pada tabel 4.35.

**tabel 4. 35 Hasil Analisa Vibration Mode MidasCivil**

Mode	Tampak	Frekuensi (Hz)	Keterangan
1		0.062	Lentur Transversal (F <sub>B</sub> )
2		0.18	Torsi Sumbu Z (F <sub>T</sub> )
3		<b>0.394</b>	Lentur Transversal (F <sub>B</sub> )
4		0.438	Torsi Sumbu X (F <sub>T</sub> )
5		0.585	Torsi Sumbu Y (F <sub>T</sub> )
6		0.681	Torsi Sumbu Z (F <sub>T</sub> )



7		0.997	Lentur Longitudinal ( $f_B$ )
8		<b>1.031</b>	Torsi Sumbu X ( $f_T$ )

Berdasarkan hasil analisa MidasCivil diatas didapatkan nilai  $f_B$  pada mode ke-3 dan nilai  $f_T$  pada mode ke-8 sebesar :

$$f_B = 0,394$$

$$f_T = 1.031$$

$$\frac{f_T}{f_B} = \frac{1.031 \text{ Hz}}{0.394 \text{ Hz}} = \mathbf{2.61} \cong 2,5 \text{ (Mathivat)}$$

#### 4.8.2 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 :

$$V = \frac{f_B \cdot h}{S} \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11)}$$

Dimana :

$f_B$  = frekuensi alami lentur

$h$  = tinggi lantai kendaraan (3 m)

$S$  = 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 m

maka,

$$\begin{aligned} V &= \frac{f_B \cdot h}{S} \\ &= \frac{0.394 \cdot 3}{0,2} \\ &= 5.92 \text{ m/s} \end{aligned}$$

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

$$\text{Reynold. } R_e = \frac{V \cdot B}{\bar{v}}$$

Dimana :

Re = nilai Reynold

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

B = lebar lantai kendaraan

$\bar{v}$  = viskositas kinematik udara (0,15 cm<sup>2</sup>/detik)

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{V \cdot B}{v} \\ &= \frac{5.92 \cdot 17.5}{0,15 \times 10^{-4}} \\ &= 6.89 \times 10^6 \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

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

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

Dimana :

F<sub>o</sub> = Gaya angkat

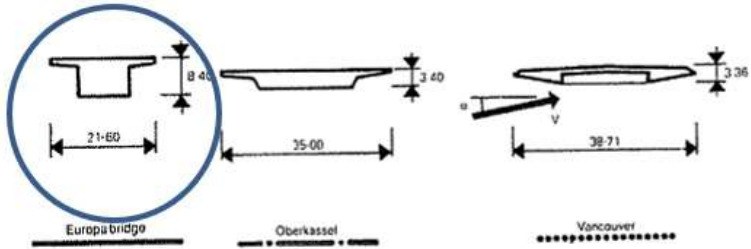
ρ = Density / kerapatan udara = 1,3 kg/m<sup>3</sup>

V = kecepatan angin berdasarkan angka strouhal

C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

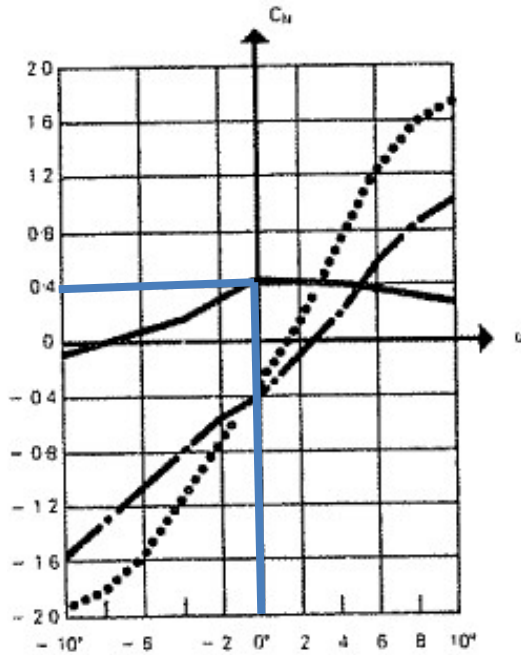
h = Tinggi lantai kendaraan (3 m)

besarnya nilai koefisien C dapat dicari dari grafik berikut ini, lihat **Gambar 4.86** dan **Gambar 4.87** :



**Gambar 4. 86** Maca-macam penampang deck

Sumber : (E-book 2<sup>nd</sup> edition cable stayed bridges, Walther R.)



**Gambar 4. 87** Nilai koefisien  $C_N$

Sumber : (E-book 2<sup>nd</sup> edition cable stayed bridges, Walther R.)

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  $\alpha$  diambil sebesar  $0^\circ$ , maka akan didapat nilai koefisien  $C_N$  sebesar 0,4. Maka nilai  $F_o$ .

$$F_o = 1,3 \cdot 10 \cdot \frac{5,92^2}{2} \cdot 0,4 \cdot (3) = 272,44 \text{ N}$$

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

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

Dimana :

- $\hat{v}$  = Amplitudo osilasi
- $\delta$  = penurunan logaritmik (koefisien peredaman 0.05)
- $F_o$  = Gaya angkat (272.4 N)
- $v_{\max}$  = deformasi statis maksimum struktur karena berat sendiri dalam arah yang ditinjau (0.029 m)
- $m$  = Berat sendiri lantai kendaraan per meter lari

Dari hasil analisa dengan program MIDAS didapat nilai  $v_{\max}$  yang terjadi akibat berat sendiri struktur sebesar 0,029 m. Penurunan logaritmik (koefisien peredam) ditentukan 0,05. Berat sendiri lantai kendaraan adalah 89,92 kN/m

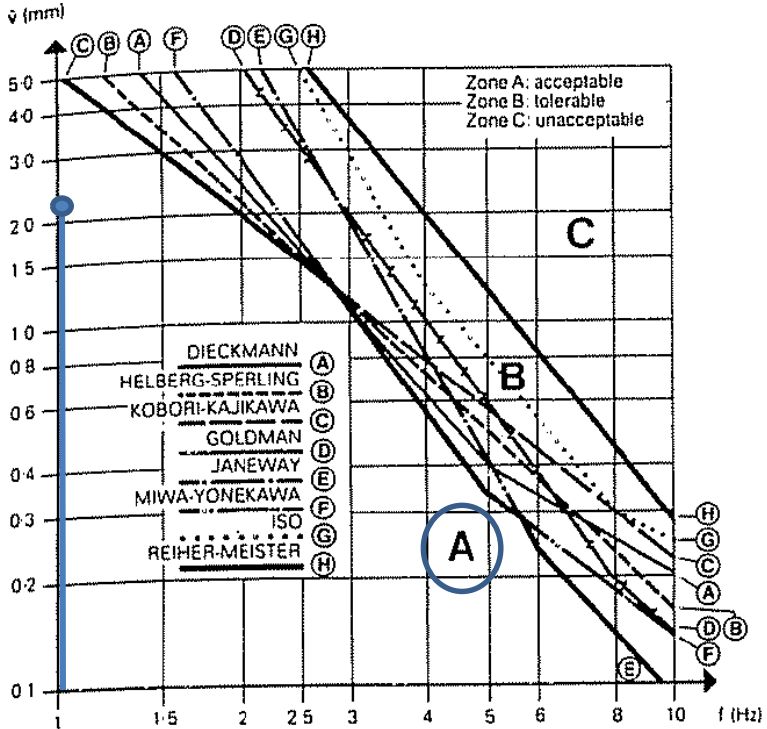
$$\begin{aligned} \hat{v} &= \frac{\pi F_o}{\delta m} v_{\max} \\ &= \frac{\pi}{0,05} \frac{272,44 \text{ N}}{235231,1 \text{ N}} \cdot 0,029 \text{ m} \\ &= \mathbf{2,11 \text{ mm}} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \hat{v} &= 4\pi^2 \times fb^2 \times \hat{v} \\ &= 4\pi^2 \times 0,394^2 \times 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

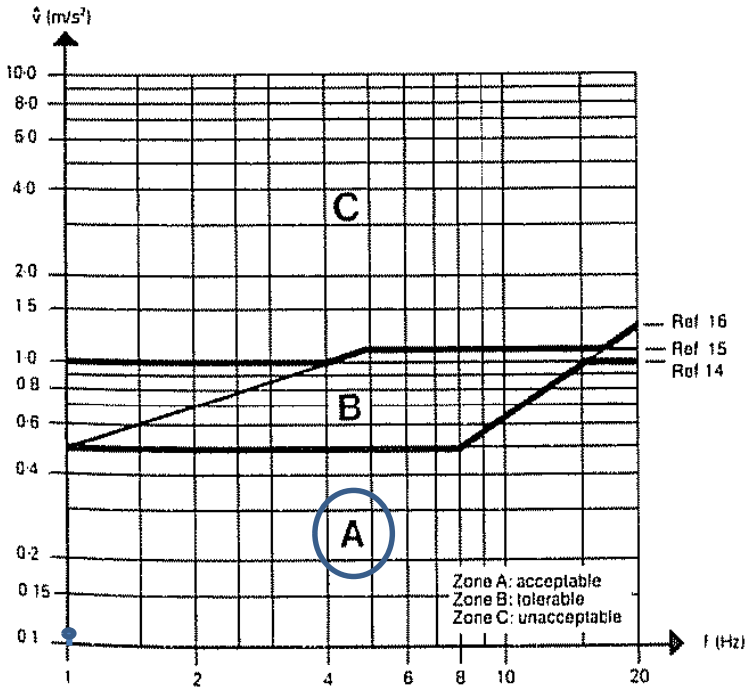
$$= 0.013 \text{ m/s}^2$$

Digunakan  $f_B$  maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo ( $v$ ) dengan melakukan plot nilai  $v$  dan  $f_B$  pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.88**



**Gambar 4. 88** Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan amplitudo  
*Sumber : (E-book 2<sup>nd</sup> edition cable stayed bridges, Walther R.)*

Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran ( $\hat{v}$ ) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai  $\hat{v}$  dan  $f_B$  pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.89**



**Gambar 4. 89** Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan percepatan

Sumber : (E-book 2<sup>nd</sup> edition cable stayed bridges, Walther R.)

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 frekwensi alami lentur balok ( $f_B$ ) maupun nilai percepatan getaran ( $\hat{v}$ ) vs frekwensi alami torsi ( $f_T$ ).

### 4.8.3 Efek Ayunan (*Flutter*)

Hasil akhir perhitungan *flutter* adalah didapatkannya nilai kecepatan kritis actual struktur ( $V_{kritis. aktual}$ ). Ababila nilai kritis

actual struktur lebih besar dari nilai kecepatan angin rencana, maka struktur dinyatakan aman .

Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ( $V_{\text{kritis.teoritis}}$ ), dapat digunakan metode Perhitungan *flutter* menggunakan metode *Kloppel* sebagai berikut :

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

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

Untuk mencari nilai  $V_{\text{kritis.teoritis}}$  dapat dicari secara grafis dari gambar 4.90 dan tergantung dari 3 persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} 1. \mu &= \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2} \\ &= \frac{23523}{\pi \times 1,3 \times 8,75^2} \\ &= \mathbf{75.3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \frac{r}{b} &= \frac{2,91}{8,75} \\ &= \mathbf{0.33} \end{aligned}$$

$$3. \frac{f_T}{f_B} = \frac{1.03 \text{ Hz}}{0.394 \text{ Hz}} = \mathbf{2.61}$$

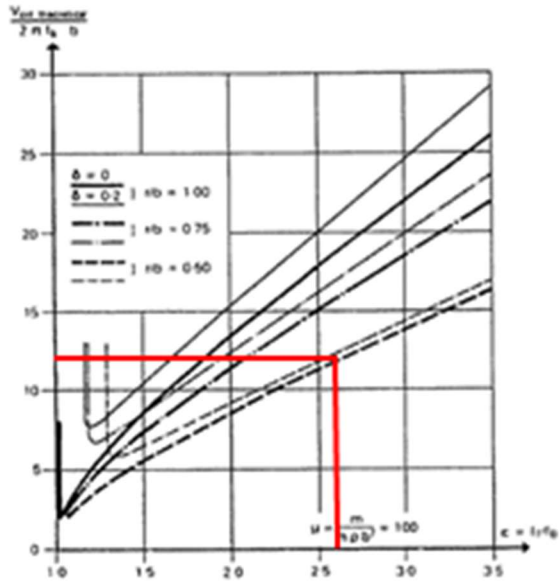
dimana :

$m$  = berat sendiri lantai per meter panjang (23523 kg/m)

$\rho$  = density/kerapatan udara (1,3 kg/m<sup>3</sup>)

$b$  =  $\frac{1}{2}$  lebar lantai kendaraan (8.75 m)

$r$  = radius girasi penampang (2.91m)



**Gambar 4. 90** Grafik  $V_{\text{kritis.teoritis}}$

Sumber : (E-book 2<sup>nd</sup> edition cable stayed bridges, Walther R.)

Dari grafik diatas didapatkan nilai :

$$\frac{V_{\text{kritis.teoritis}}}{2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b} = 12$$

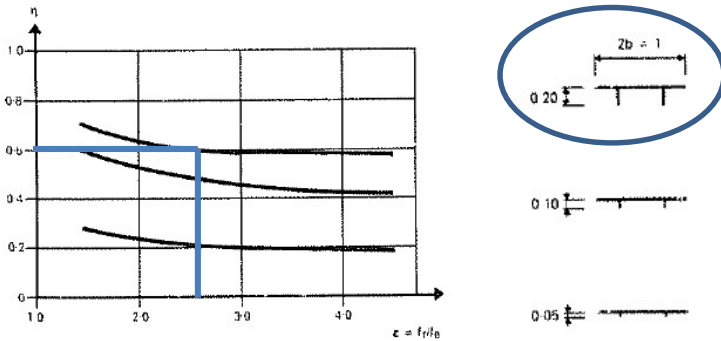
$$V_{\text{kritis.teoritis}} = 12 \times (2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b)$$

$$= 12 \times (2 \cdot 3,14 \cdot 0,394 \cdot 8,75)$$

$$= 259,8 \text{ m/s}$$

Besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis aktual menggunakan grafik (Walther, 1999).





**Gambar 4. 91** Grafik koefisien koreksi

Sumber : (E-book 2<sup>nd</sup> edition cable stayed bridges, Walther R.)

Dari grafik pada **Gambar 4.91** dengan menyesuaikan penampang lantai kendaraan yang dipakai mendekati, didapatkan nilai koreksi  $\eta = 0,6$

$$V_{\text{crit actual } \alpha = 0} = 0,6 \times 259.8 = 155.8 \text{ m/s}$$

Pada kenyataannya, angin tidak selalu menabrak jembatan dalam arah horisontal sempurna. Terkadang terdapat sudut  $\alpha$  yang berkisar antara  $3^\circ$  sampai  $9^\circ$  (rata-rata  $6^\circ$ ). Maka dari itu, diperlukan lagi koreksi. Untuk lantai kendaraan dengan penampang aerodinamis, koreksi ini sebesar  $\frac{1}{3}$  (0,33) untuk box section deck (Walther, 1999).

$$\begin{aligned} \eta (\alpha = \pm 6^\circ) &= 0,33 \times \eta (\alpha = \pm 6^\circ) \\ &= 0,33 \times 0,65 \\ &= 0,21 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{crit actual } \alpha = \pm 6^\circ} &= \eta (\alpha = \pm 6^\circ) \times V_{\text{crit theoretical}} \\ &= 0,21 \times 259.8 \text{ m/s} \\ &= 54.55 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk kecepatan angin rencana pada jembatan *cable stayed* ini sebesar 119.2 km/jam atau setara 33.1 m/s. Sehingga

analisa efek *flutter* ini memenuhi syarat yang telah disyaratkan yaitu  $V_{\text{kritis. aktual}} = 54.55 \text{ m/s} > V_{\text{rencana}} = 33.1 \text{ m/s}$ .

#### 4.9 Analisa Staging

Metode pelaksanaan (*Staging Analysis*) konstruksi jembatan *cable stayed* dimulai dengan pekerjaan *pylon* dari beton bertulang dengan, 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.

##### 4.9.1 Pembebanan Staging Analysis

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 (5m)  
$$\begin{aligned} q_u &= (\text{Box} + \text{Melintang} + \text{Kantilever}) \times \text{LF} \\ &= [(8321 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} \times 2) + (459.06 \text{ kg/m} \times 11 \text{ m} \times 2) \\ &\quad + (65.4 \text{ kg/m} \times 1.5 \text{ m} \times 4)] \times 1,2 \\ &= 93701.72 \text{ kg} \times 1.2 \\ &= 112442.064 \text{ kg} = \mathbf{1124.42 \text{ kN}} \end{aligned}$$
- Beban *form traveler* tipe *overhead triangle* berdasarkan produk Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.  
$$\begin{aligned} q_u &= 1000 \text{ kN} \times \text{LF} \\ &= 1000 \text{ kN} \times 1,25 \\ &= \mathbf{1250 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Total beban per segmen saat *staging* sebesar 1937.01 kN (tanpa faktor) 2374.42 (berfaktor)

Adapun spesifikasi *form traveler* yang akan digunakan dalam *staging analysis* mengikuti spesifikasi Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd sesuai dengan table 4.36 dan gambar 4.

**tabel 4. 36** Spesifikasi *Form Traveller*

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
		Transverse
		7%
		5%



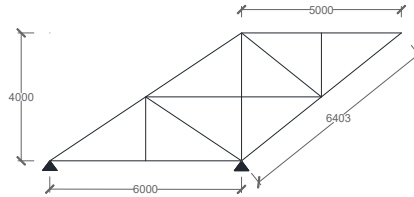
**Gambar 4. 92** Ilustrasi Form Traveller yang Digunakan

*Sumber* : <https://hznante.en.made-in-china.com/product/pqmxzE1jbZVw/China-Form-Traveler-for-Construction-Usage.html>

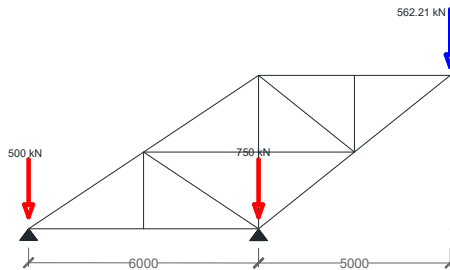
Kontrol kapasitas beban *form traveller*

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban}_{\max} & > & \text{Beban} \\ 480 \text{ ton} & > & 112.42 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Sebelum beban *staging analysis* diinputkan pada program MIDAS/CIVIL V2011, terlebih dahulu dilakukan analisa distribusi beban dari *form traveler* ke gelagar dengan menggunakan program bantu SAP 2000

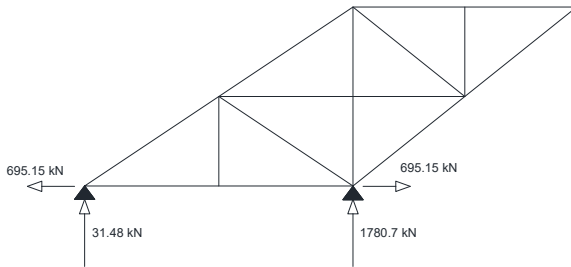


**Gambar 4. 93** Ilustrasi dimensi form traveller arah memanjang  
*Sumber : (Dokumen Pribadi)*



**Gambar 4. 94** Permodelan dan input beban pada form traveller  
*Sumber : (Dokumen Pribadi)*

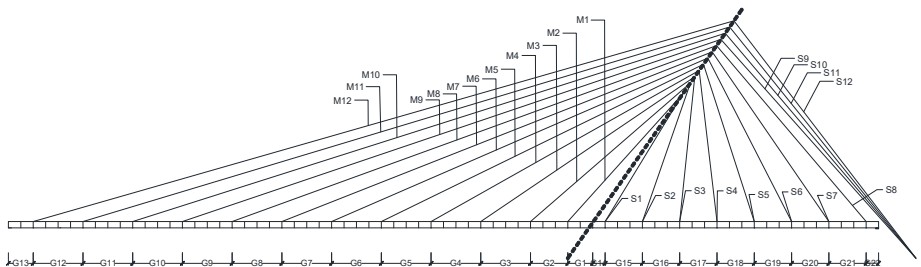
Dari analisa menggunakan SAP 2000 didapatkan hasil analisa untuk reaksi dari *form traveler* akibat beban rencana sesuai gambar 4.95 yang akan diinputkan ke program MIDAS/CIVIL sebagai beban pelaksanaan.



**Gambar 4. 95** Hasil analisa reaksi pada *form traveller*  
*Sumber : (Dokumen Pribadi)*

#### 4.9.2 Tahapan Staging Analysis

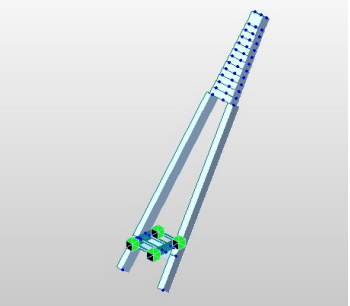
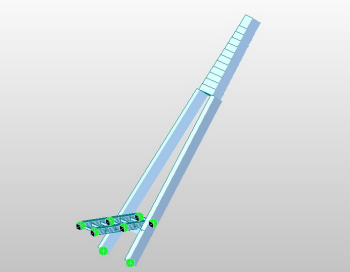
Urutan pelaksanaan *staging analysis* dengan program bantu MidasCivil. Dimana urutan pelaksanaan di lapangan sama dengan urutan analisisnya, namun pelaksanaan di lapangan menggunakan *forward method*, sedangkan analisisnya menggunakan *backward solution*. Untuk penomoran kabel dan gelagar dapat dilihat pada gambar 4.96.

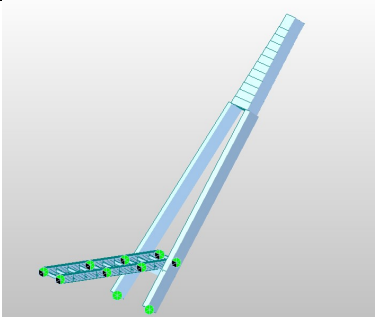
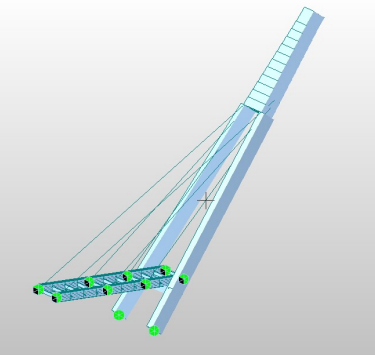


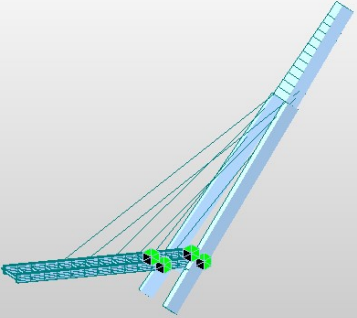
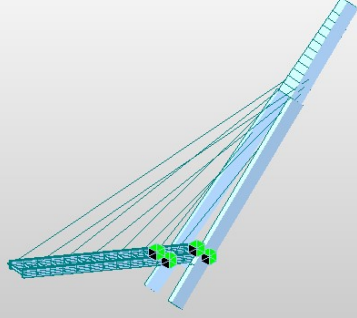
**Gambar 4. 96** Penomoran Kabel dan Gelagar  
*Sumber : (Dokumen Pribadi)*

Untuk lebih jelasnya mengenai urutan pelaksanaan *staging analysis* dapat dilihat pada tabel 4.37

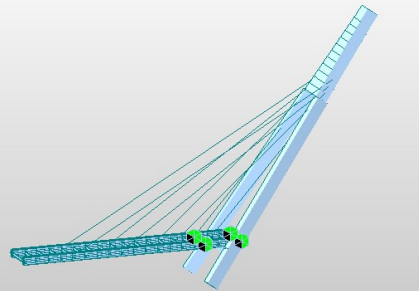
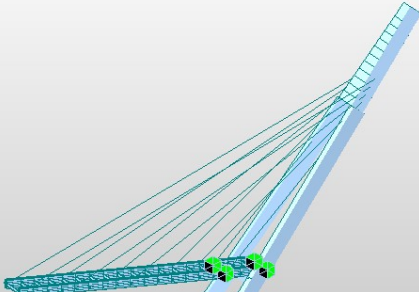
**tabel 4. 37** Urutan Pleaksanaan Staging

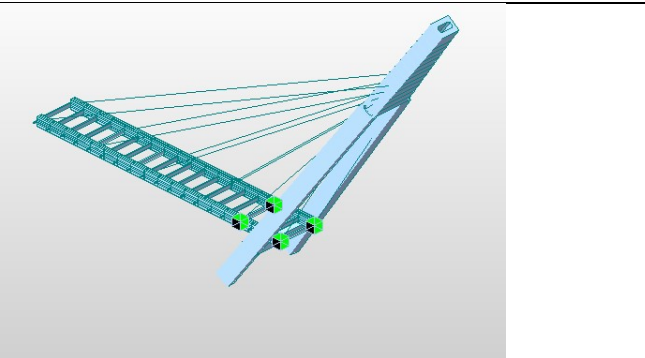
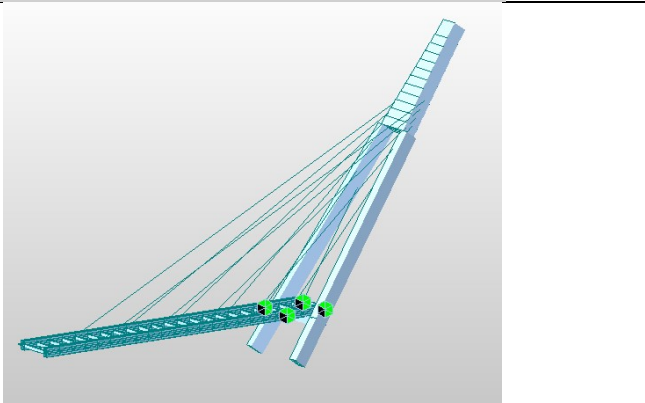
CS No.	Keterangan	Ilustrasi Gambar	
CS39	<p>Pembangunan jembatan dimulai dari struktur pylon, disertai pemasangan gelagar G1 &amp; G14 dengan perancah sementara.</p>		 <p>A 3D perspective rendering of a bridge pylon. The pylon is a tall, tapered structure with a grid-like top section. It is supported by two temporary green and blue supports at its base. The background is a light gray gradient.</p>
CS38	<p>Pemasangan Gelagar G2 dengan <i>form traveller</i> dilanjutkan dengan pemasangan perancah sementara.</p>		 <p>A 3D perspective rendering of a bridge girder. The girder is a long, tapered structure with a grid-like top section. It is supported by two temporary green and blue supports at its base. The background is a light gray gradient.</p>

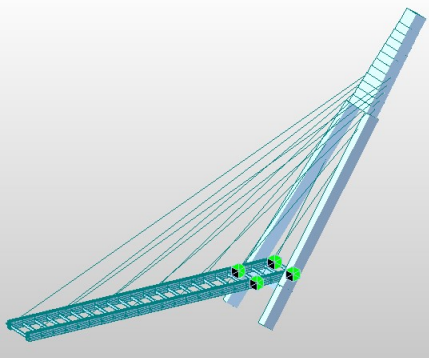
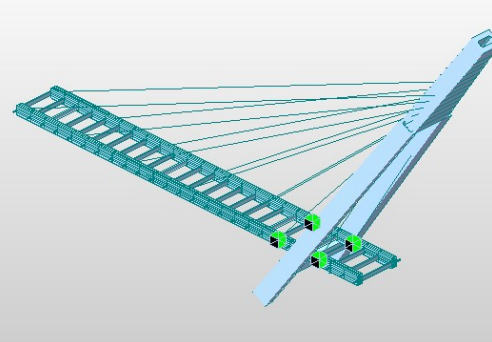
CS37	Pemasangan Gelagar G3 dengan <i>form traveller</i> dilanjutkan dengan pemasangan perancah sementara.	
CS36	Pemasangan kabel M1, M2, M3 secara bersamaan.	

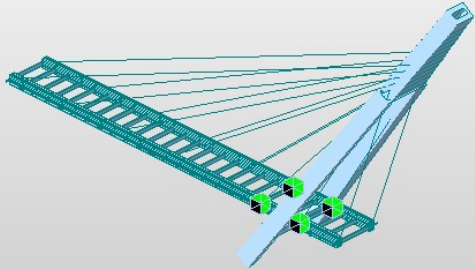
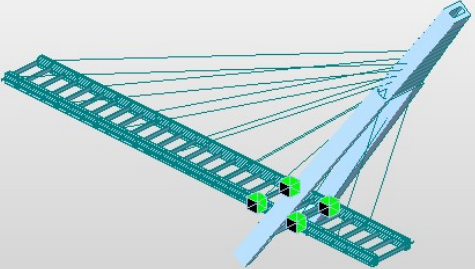
CS35	Pemasangan gelagar G4 menggunakan <i>form traveller</i>		 A 3D perspective rendering of a bridge girder (G4) being installed. The girder is a long, blue, rectangular structure with a textured surface. It is supported by several cables that are anchored to a central point on a vertical structure. The cables are thin and light blue. The background is a light gray gradient.	
CS34	Pemasangan kabel M4		 A 3D perspective rendering of a cable (M4) being installed. The cable is a long, blue, rectangular structure with a textured surface. It is supported by several cables that are anchored to a central point on a vertical structure. The cables are thin and light blue. The background is a light gray gradient.	

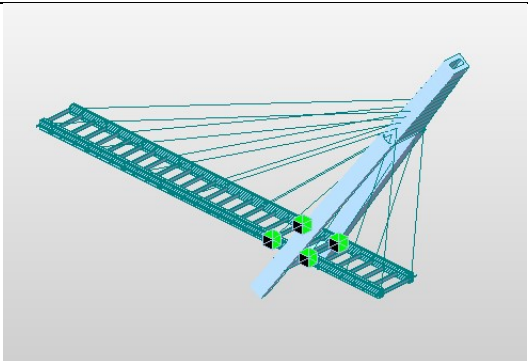
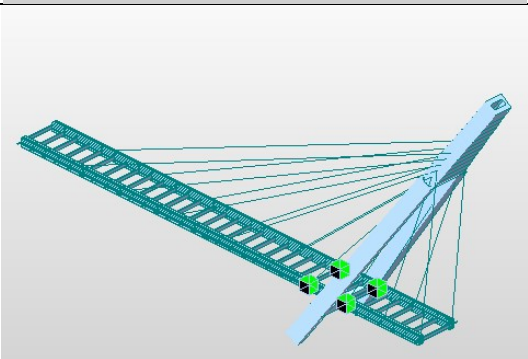


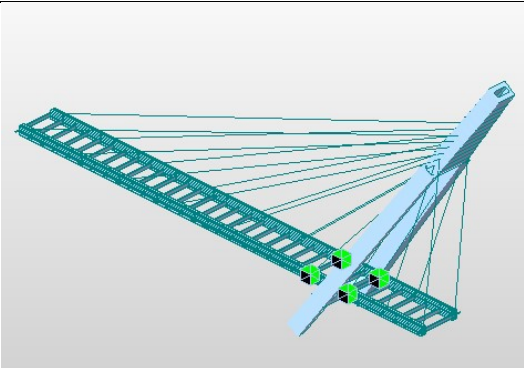
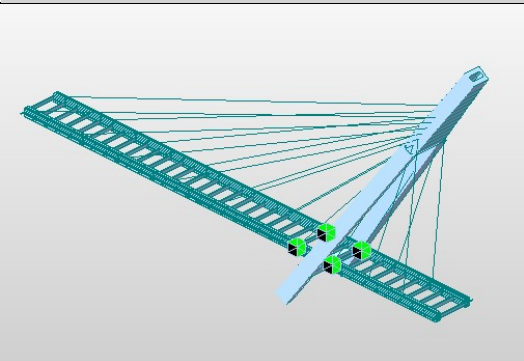
CS33	Pemasangan gelagar G5 menggunakan <i>form traveller</i>		 A 3D perspective diagram of a cable-stayed bridge deck. The deck is shown in a light blue color. A horizontal section of the deck is highlighted in a darker blue, representing the G5 girder. Several cables are shown extending from the top of the deck down to the girder. Two green and black mechanical components, likely form travellers, are positioned on the girder, connected to the cables. The background is a light gray gradient.	
CS32	Pemasangan kabel M5		 A 3D perspective diagram of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. The deck is shown in a light blue color. A horizontal section of the deck is highlighted in a darker blue, representing the M5 cables. Several cables are shown extending from the top of the deck down to the girder. Two green and black mechanical components, likely form travellers, are positioned on the girder, connected to the cables. The background is a light gray gradient.	

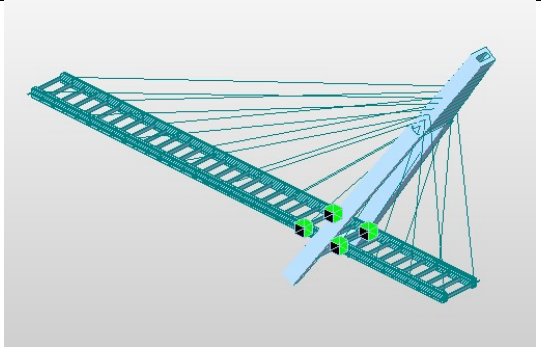
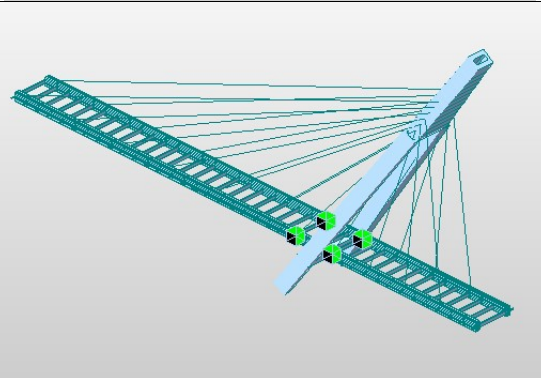
CS31	Pemasangan kabel S1			
CS30	Pemasangan gelagar G6 menggunakan <i>form traveller</i>			

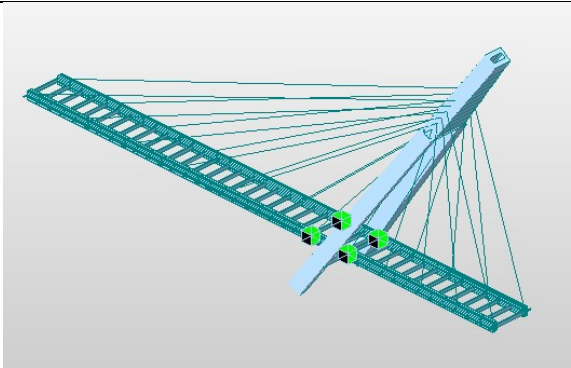
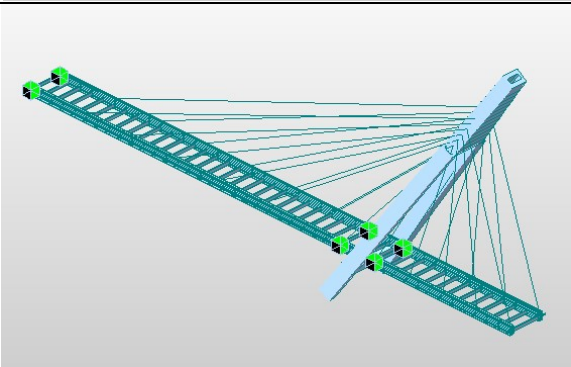
CS29	Pemasangan kabel M6	 A 3D perspective rendering of a bridge structure. A blue, trapezoidal cable is being installed on a horizontal steel beam. The cable is supported by several green and black rollers. The cable extends from the beam towards a vertical pylon on the right side of the frame.
CS28	Pemasangan gelagar G15 (sisi <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective rendering of a bridge structure. A long, blue, trapezoidal girder is being installed on a horizontal steel beam. The girder is supported by several green and black rollers. The girder extends from the beam towards a vertical pylon on the right side of the frame.

CS27	Pemasangan kabel S2			
CS26	Pemasangan gelagar G16 (sisi <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i>			

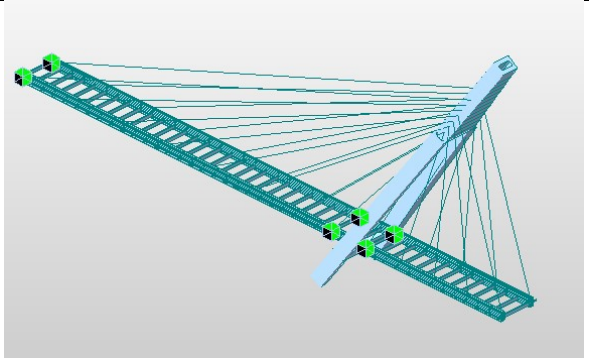
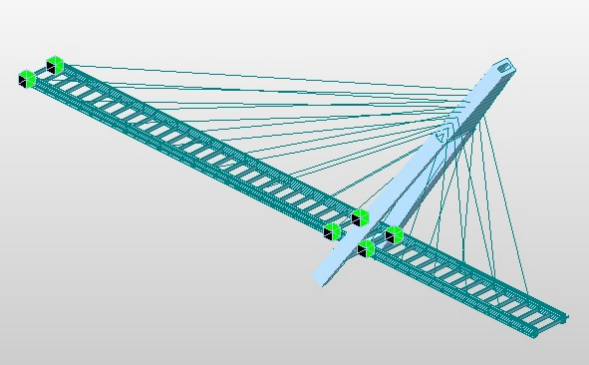
CS25	Pemasangan kabel S3			
CS24	Pemasangan gelagar G7 menggunakan <i>form traveller</i>			

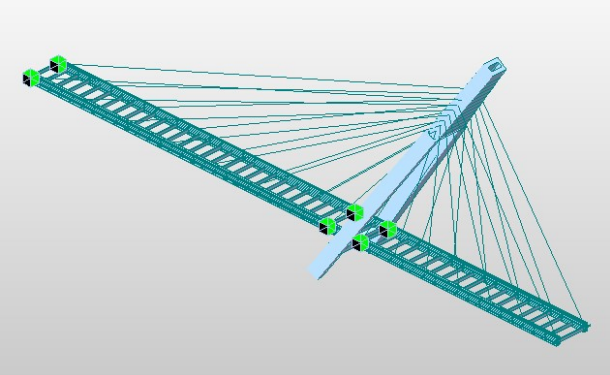
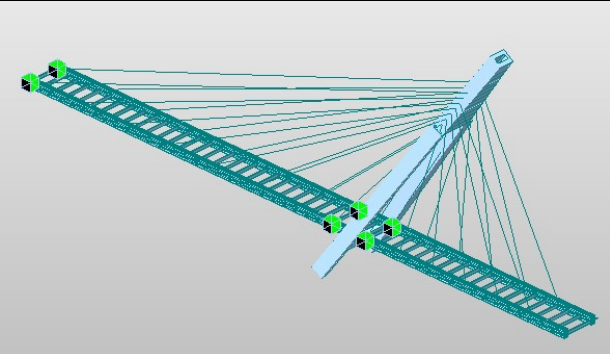
CS23	Pemasangan kabel M7	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck. The deck is shown in a light blue color with a grid pattern. Several cables are attached to the deck, extending upwards and outwards. The cables are shown in a light blue color. The bridge structure is shown in a light blue color. The background is a light gray gradient.
CS22	Pemasangan gelagar G17 (sisi <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. The deck is shown in a light blue color with a grid pattern. Several cables are attached to the deck, extending upwards and outwards. The cables are shown in a light blue color. The bridge structure is shown in a light blue color. The background is a light gray gradient.

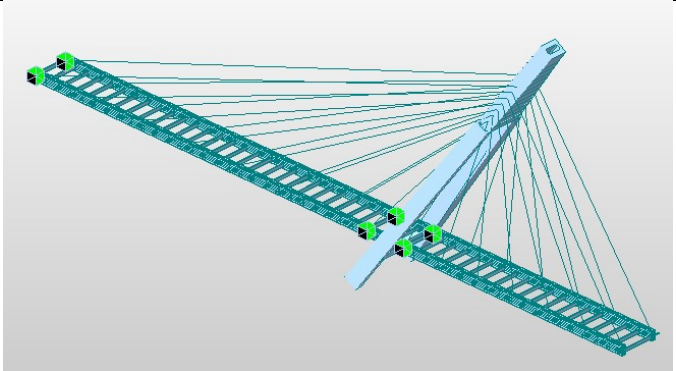
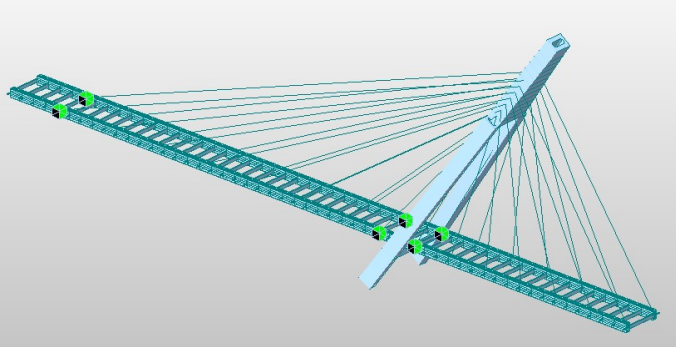
CS21	Pemasangan kabel S4	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck. The deck is a long, narrow structure with a grid-like pattern of blue and green. It is supported by a central pylon and several stay cables. The cables are shown as thin lines extending from the pylon to the deck. The deck is shown in a slightly elevated position, suggesting it is being installed or moved into place. The background is a plain, light gray.
CS20	Pemasangan gelagar G18 (sisi <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck, similar to the one in the first image. However, a large, rectangular, blue and green structure, identified as a 'form traveller', is positioned on top of the deck. This structure is used for the installation of the G18 girders on the side span. The deck is shown in a slightly elevated position, and the background is a plain, light gray.

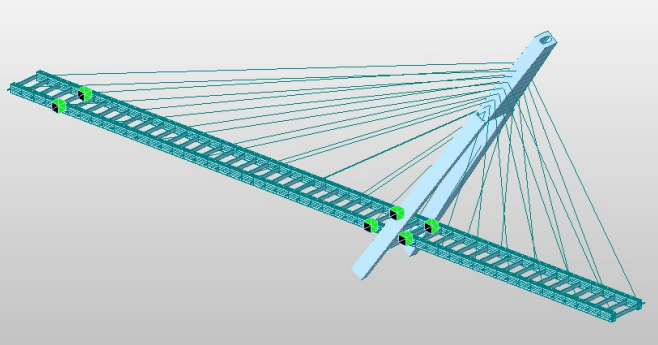
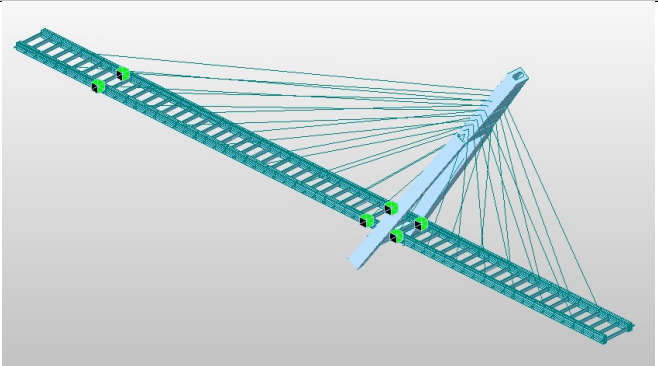
CS19	Pemasangan kabel S5			
CS18	Pemasangan gelagar G8 menggunakan <i>form traveller</i> , diikuti dengan perancah sementara			

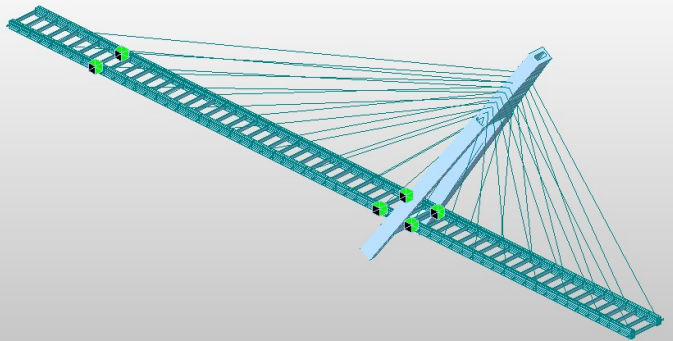
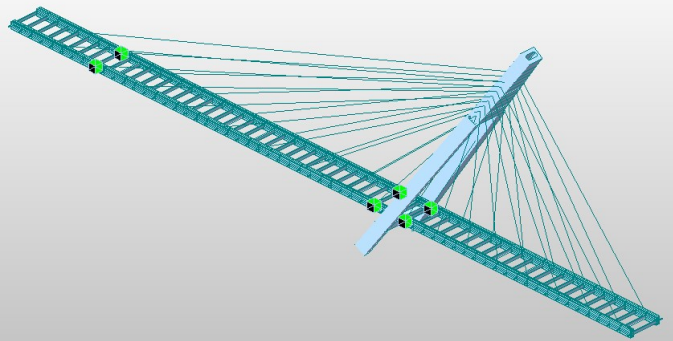


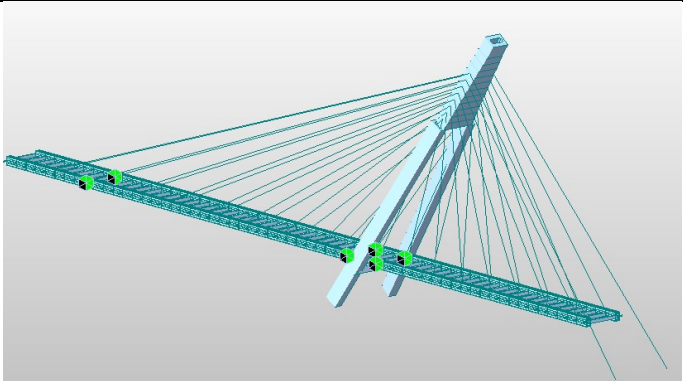
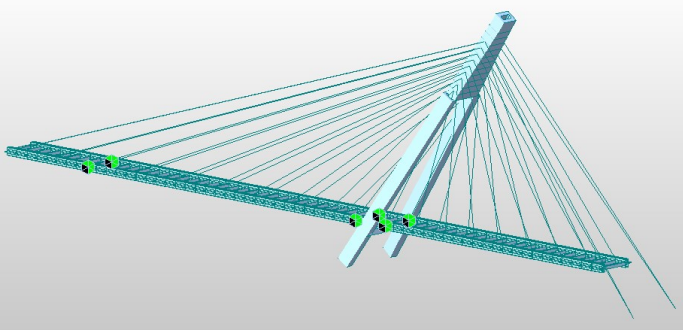
CS17	Pemasangan kabel M8	 A 3D perspective rendering of a bridge deck section. The deck is a teal-colored lattice structure. A central vertical support is shown in light blue. Multiple teal cables are attached to the top of the deck and extend upwards and outwards towards the central support. Small green and black rectangular markers are placed at the attachment points of the cables to the deck, indicating the locations for M8 cables.
CS16	Pemasangan gelagar G19 (sisi <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective rendering of a bridge deck section, similar to the one above. The deck is a teal-colored lattice structure. A central vertical support is shown in light blue. Multiple teal cables are attached to the top of the deck and extend upwards and outwards towards the central support. Small green and black rectangular markers are placed at the attachment points of the cables to the deck, indicating the locations for G19 girders.

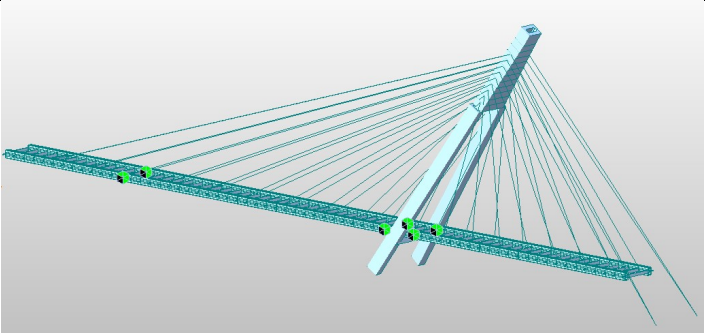
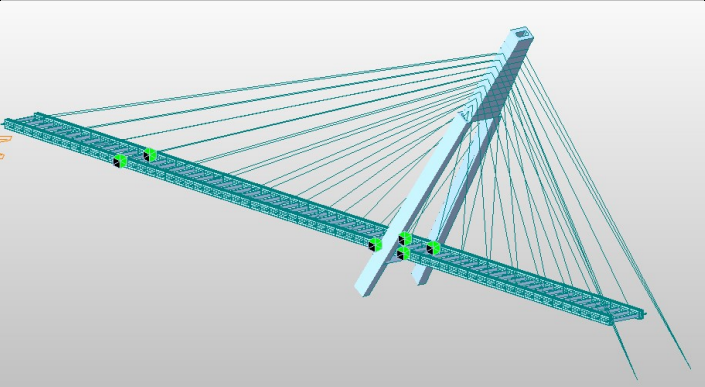
CS15	Pemasangan kabel S6	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck. The deck is a long, narrow structure with a grid-like pattern of blue and white. It is supported by a central pylon. Numerous cables are shown extending from the pylon to the deck. Some cables are already attached to the deck, while others are being positioned. Green and black markers are visible at the attachment points of the cables on the deck.
CS14	Pemasangan gelagar G20 (sisi <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. The deck is supported by a central pylon. A form traveller, a small structure used for casting concrete, is positioned on the deck. The traveller is shown in a position that allows it to move along the length of the deck as it is being cast. Green and black markers are visible at the attachment points of the cables on the deck.

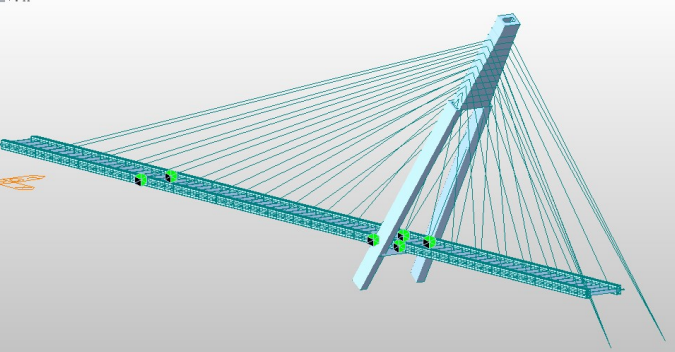
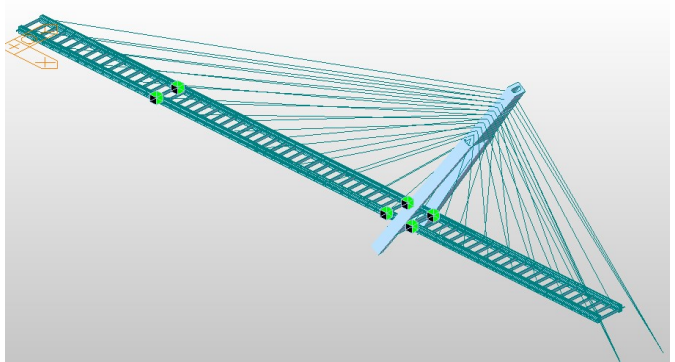
CS13	Pemasangan kabel S7	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck. The deck is a long, narrow structure with a grid-like pattern of blue and white. It is supported by a central pylon and several stay cables. The cables are shown as thin, light blue lines. The deck is shown in a slightly elevated position, with several green and black markers indicating the installation points for cables S7.
CS12	Pemasangan gelagar G9 menggunakan <i>form traveller</i> .	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. The deck is shown in a slightly elevated position, with several green and black markers indicating the installation points for G9 girders using a form traveller.

CS11	Pemasangan kabel M9	
CS10	Pemasangan gelagar G10 menggunakan <i>form traveller</i> , diikuti dengan pemasangan G21 ( <i>side span</i> )	

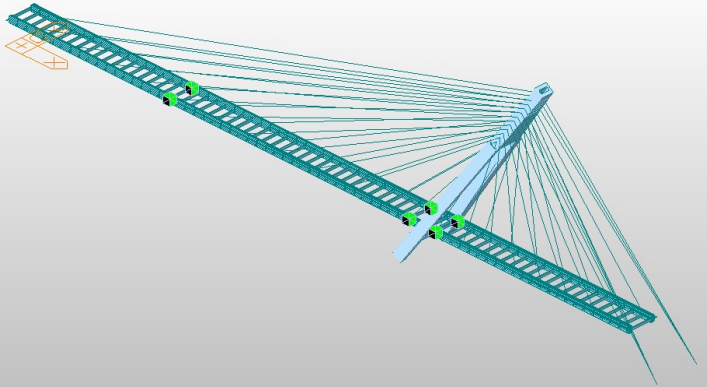
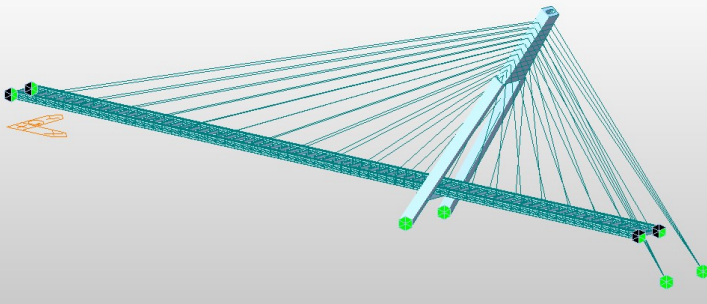
CS9	Pemasangan kabel S8	 A 3D perspective view of a bridge deck structure. The deck is a teal-colored lattice. A central pylon is shown in light blue. Multiple cables, labeled S8, are attached to the pylon and extend downwards to the deck. Small green and black markers are placed at the attachment points on the deck to indicate the installation locations.
CS8	Pemasangan gelagar G21 ( <i>side span</i> ) menggunakan <i>form traveller</i> .	 A 3D perspective view of the same bridge deck structure as in the first image. In addition to the cables, teal-colored side span girders, labeled G21, are now visible. These girders are positioned along the length of the deck. Small green and black markers are placed at the attachment points of the girders to indicate the installation locations.

CS7	Pemasangan kabel S9	 A 3D perspective view of a cable-stayed bridge deck. The deck is a long, narrow, light blue structure with a truss-like internal structure. A central pylon is visible, with several stay cables extending from it to the deck. One cable, labeled S9, is highlighted in green. The deck is supported by two piers. The background is a plain, light gray.
CS6	Pemasangan kabel S10, diikuti dengan pemasangan kabel M10	 A 3D perspective view of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. In this view, two cables are highlighted in green: S10 and M10. The deck is supported by two piers, and a central pylon is visible with stay cables extending to the deck. The background is a plain, light gray.

CS5	Pemasangan gelagar G11 menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck. The deck is shown in a light blue color. A central pylon is visible, with multiple stay cables extending to the deck. A green and black form traveller is positioned on the deck, used for the installation of the G11 girder. The background is a plain white surface.
CS4	Pemasangan kabel S11, diikuti dengan pemasangan kabel M11	 A 3D perspective rendering of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. The deck is shown in a light blue color. A central pylon is visible, with multiple stay cables extending to the deck. The cables are labeled S11 and M11. The background is a plain white surface.

CS3	Pemasangan gelagar G12 menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective view of a cable-stayed bridge deck. The deck is a long, narrow structure with a grid-like pattern. It is supported by a central pylon and several stay cables. A form traveller, a long, narrow, rectangular structure, is positioned along the top of the deck, supported by several green rollers. The form traveller is used for the installation of the G12 girders.
CS2	Pemasangan kabel M112	 A 3D perspective view of a cable-stayed bridge deck, similar to the one above. The deck is shown from a slightly different angle, highlighting the stay cables. The cables are being installed, and the form traveller is still present. The cables are shown as thin, light blue lines extending from the pylon to the deck.



CS1	Pemasangan gelagar G13 menggunakan <i>form traveller</i>	 A 3D perspective view of a bridge deck under construction. The deck is a long, narrow structure with a grid of reinforcement. A large, light blue, trapezoidal form traveller is positioned on top of the deck, supported by several vertical cables. The cables are attached to a central pylon structure. The background is a plain, light gray gradient.
CS0	Pemasangan kabel S12, diikuti dengan dilepasnya perancah sementara.	 A 3D perspective view of the same bridge deck under construction. The deck is now covered with a dense grid of reinforcement. Several vertical cables are attached to the deck, supporting it. The cables are attached to a central pylon structure. The background is a plain, light gray gradient.

### 4.9.3 Tuning Kabel Awal

belum dilakukan analisa staging terlebih dahulu di input gaya tarik (*pre-tension*) tiap kabel yang besarnya mengacu pada sub bab sebelumnya (4.6.2) mengenai gaya *stressing* kabel, untuk lebih jelasnya dapat dilihat kembali pada tabel 4.38

**tabel 4. 38** Nilai Gaya *Stressing* Tiap Kabel

Simbol Kabel	F (Kn)	Simbol Kabel	F (Kn)
M12	725.0	S1	6066.0
M11	10999.4	S2	5899.3
M10	14664.0	S3	5788.2
M9	13256.1	S4	5591.5
M8	11778.8	S5	4927.8
M7	9501.8	S6	3893.5
M6	8310.9	S7	4340.3
M5	8134.0	S8	6624.6
M4	8200.2	S9	6530.1
M3	7807.3	S10	6600.3
M2	6956.8	S11	6644.2
M1	6326.3	S12	6673.8

### 4.9.4 Hasil Staging Analysis

Dalam setiap tahapan *staging* gaya pada *box girder*, *pylon*, *mid pylon*, *lower cross beam* akan mengalami perubahan sampai tahap akhir pelaksanaan *staging*. Hasil rekapitulasi gaya di setiap tahapan *staging* dapat dilihat pada tabel 3.39 s.d. tabel 3.42

Berikut adalah hasil gaya dalam *box girder* di tengah bentang (*main span*) akibat *staging*.

**tabel 4. 39** Hasil Analisa Staging pada *Box Girder* (tengah bentang)

Stage	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
CS0	33924	17	907	0	37	65
CS1	33252	17	987	0	1286	66
CS2	13673	14	289	0	-17798	62
CS3	13575	14	262	0	-23152	62
CS4	15530	17	1668	0	15414	72
CS5	13943	15	335	0	-21536	64
CS6	16181	17	2278	0	34238	74
CS7	14275	15	335	0	-29124	66
CS8	12983	14	604	0	-26727	59
CS9	10660	11	1547	0	-20780	46
CS10	10615	11	1567	0	-20762	46
CS11	11160	11	275	1	31575	47
CS12	12857	13	314	1	-9349	58
CS13	13303	14	741	1	15490	59
CS14	13266	14	729	1	15674	59
CS15	12069	12	339	1	21544	53
CS16	12057	12	335	1	21611	52
CS17	11071	11	394	1	27341	47
CS18	13837	14	917	1	12851	62
CS19	0	0	0	0	0	0
CS20	0	0	0	0	0	0
CS21	0	0	0	0	0	0
CS22	0	0	0	0	0	0
CS23	0	0	0	0	0	0
CS24	0	0	0	0	0	0
CS25	0	0	0	0	0	0
CS26	0	0	0	0	0	0
CS27	0	0	0	0	0	0
CS28	0	0	0	0	0	0
CS29	0	0	0	0	0	0
CS30	0	0	0	0	0	0
CS31	0	0	0	0	0	0

CS32	0	0	0	0	0	0
CS33	0	0	0	0	0	0
CS34	0	0	0	0	0	0
CS35	0	0	0	0	0	0
CS36	0	0	0	0	0	0
CS37	0	0	0	0	0	0
CS38	0	0	0	0	0	0
CS39	0	0	0	0	0	0
MAX	33924	17	2278	1	34238	74

Dari tabel diatas diketahui bahwa keseluruhan gaya dalam pada *box girder* tidak lebih besar dari nilai maksimum gaya tiap kombinasi pada sub bab sebelumnya tepatnya tabel 4.22, sehingga dapat disimpulkan bahwa penampang dapat digunakan.

**tabel 4. 40** Hasil Analisa Staging pada *Pylon*

Stage	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
CS0	127370	85	6203	312	73006	3922
CS1	125941	99	6554	513	88739	4762
CS2	137405	108	6798	715	102602	5407
CS3	135735	102	6648	655	97001	5099
CS4	130390	80	6075	385	75633	3851
CS5	123626	95	6457	573	89501	4731
CS6	121824	79	6045	391	75716	3848
CS7	111373	87	6225	437	78776	4215
CS8	105987	101	6566	750	99254	5243
CS9	96085	109	6749	1172	10687	6250
CS10	95877	113	6850	1212	105097	6461
CS11	91237	106	6656	1366	103689	6464
CS12	92536	90	6261	787	94845	4921
CS13	92597	89	6237	839	96707	4975
CS14	92646	93	6322	873	99847	5151
CS15	87282	89	6228	1055	106114	5345
CS16	87607	92	6298	1079	106924	5484
CS17	82390	85	6108	1193	107003	5428
CS18	83655	72	5789	620	84827	4001

CS19	83924	72	5778	381	74134	3580
CS20	84494	75	5844	408	75479	3716
CS21	79160	67	5652	652	85907	3877
CS22	79596	69	5689	689	87649	3991
CS23	75309	62	5513	823	93194	3984
CS24	76063	52	5265	730	88439	3473
CS25	76297	56	5362	62	53252	2268
CS26	75194	54	5309	1	55817	2299
CS27	73516	52	5245	30	57061	2268
CS28	68573	45	5053	128	60899	2179
CS29	68574	45	5054	127	60880	2178
CS30	69631	40	4965	54	52478	1688
CS31	71192	49	5164	560	30428	2159
CS32	65847	46	5078	527	31627	2007
CS33	67879	50	5192	992	11085	2934
CS34	68313	54	5300	1150	4300	3335
CS35	71817	91	6235	2521	-53943	6823
CS36	71817	91	6235	2521	-53943	6823
CS37	26616	583	17950	7819	-98922	41744
CS38	26616	583	17950	7819	-98922	41744
CS39	26616	583	17950	7819	-98922	41744
MAX	137405	583	17950	7819	107003	41744

Dari tabel diatas diketahui bahwa keseluruhan gaya dalam pada *pylon* tidak lebih besar dari nilai maksimum gaya tiap kombinasi pada sub bab 4.7.1.1, sehingga dapat disimpulkan bahwa penampang dapat digunakan.

tabel 4. 41 Hasil Analisa Staging pada *Lower Cross Beam*

Stage	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
CS0	867	0	2735	0	8729	4281
CS1	875	0	2735	0	8779	4526
CS2	867	0	2735	0	8865	4635
CS3	866	0	2735	0	8834	4541
CS4	860	0	2735	0	8721	4178
CS5	876	0	2735	0	8754	4471

CS6	870	0	2735	0	8681	4200
CS7	886	0	2735	0	8666	4375
CS8	899	0	2735	0	8698	4633
CS9	914	0	2735	0	8686	4807
CS10	917	0	2735	0	8701	4877
CS11	918	0	2735	0	8651	4768
CS12	909	0	2735	0	8594	4493
CS13	908	0	2735	0	8590	4476
CS14	910	0	2735	0	8604	4534
CS15	914	0	2735	0	8566	4497
CS16	915	0	2735	0	8579	4543
CS17	917	0	2735	0	8527	4440
CS18	909	0	2735	0	8482	4216
CS19	909	0	2735	0	8481	4207
CS20	909	0	2735	0	8494	4249
CS21	912	0	2735	0	8441	4145
CS22	912	0	2735	0	8449	4168
CS23	913	0	2735	0	8403	4070
CS24	907	0	2735	0	8367	3898
CS25	909	0	2735	0	8384	3962
CS26	909	0	2735	0	8371	3932
CS27	910	0	2735	0	8354	3896
CS28	912	0	2735	0	8303	3791
CS29	912	0	2735	0	8303	3791
CS30	908	0	2735	0	8287	3700
CS31	911	0	2735	0	8331	3853
CS32	916	0	2735	0	8295	3821
CS33	916	0	2735	0	8322	3889
CS34	917	0	2735	0	8341	3960
CS35	932	0	2735	0	8503	4579
CS36	932	0	2735	0	8503	4579
CS37	1240	0	2735	0	10288	13268
CS38	1240	0	2735	0	10288	13268
CS39	1240	0	2735	0	10288	13268
CS40	1240	0	2735	0	10288	13268
CS41	867	0	2735	0	8729	4281
MAX	875	0	2735	0	8779	4526

Dari tabel diatas diketahui bahwa keseluruhan gaya pada *lower cross beam* tidak lebih besar dari nilai maksimum gaya tiap kombinasi pada sub bab 4.7.3.1, dapat disimpulkan bahwa penampang sudah memenuhi.

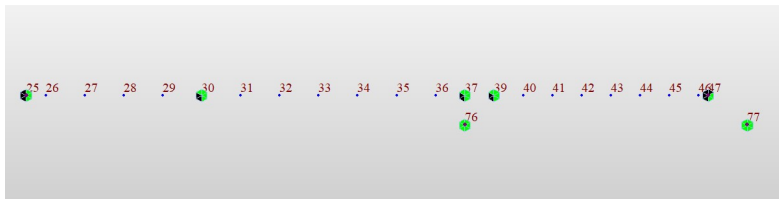
tabel 4. 42 Hasil Analisa Staging pada *Mid Pylon*

Stage	Axial (kN)	Shear-Y (kN)	Shear-Z (kN)	Torsion (kN.m)	Moment-Y (kN.m)	Moment-Z (kN.m)
CS0	213905	37	8962	5	63084	138
CS1	211038	36	8255	13	106341	146
CS2	228546	39	7517	21	133001	152
CS3	225123	38	7814	18	125992	146
CS4	214086	37	8933	7	60356	125
CS5	200231	34	8160	15	104577	128
CS6	196515	34	8975	7	58512	115
CS7	174964	30	8570	10	75365	108
CS8	164231	28	7945	19	127754	115
CS9	144578	25	7701	28	129831	119
CS10	144142	25	7497	30	130291	121
CS11	135091	24	7975	29	131201	116
CS12	136924	24	8589	15	108668	97
CS13	137177	24	8665	16	111566	99
CS14	137271	24	8494	17	120696	101
CS15	126699	22	8763	18	130042	97
CS16	127356	22	8622	19	130212	99
CS17	117032	21	9072	18	130462	92
CS18	118740	21	9522	6	59382	76
CS19	118814	21	9443	2	37266	71
CS20	119982	21	9311	3	44438	74
CS21	109687	20	9823	4	52264	70
CS22	110626	20	9759	5	58277	71
CS23	102244	19	10191	4	57408	66
CS24	103820	19	10695	0	31142	61
CS25	102593	19	10136	10	-32558	45
CS26	100496	18	10275	10	-31003	44
CS27	97166	18	10424	11	-32860	41

CS28	87374	16	10871	12	-38147	35
CS29	87375	16	10871	12	-38173	35
CS30	89287	17	11071	16	-63506	30
CS31	91250	17	10334	20	-91480	28
CS32	90195	17	9902	20	-94905	28
CS33	92725	17	9489	25	-128183	36
CS34	92975	17	9199	26	-123098	38
CS35	94583	17	6674	34	-125673	49
CS36	94583	17	6674	34	-129821	49
CS37	25153	0	10598	41	-130021	59
CS38	25153	0	10598	41	-130021	59
CS39	25153	0	10598	41	-130021	59
CS40	228546	39	11071	41	133001	152
CS41	213905	37	8962	5	63084	138
MAX	211038	36	8255	13	106341	146

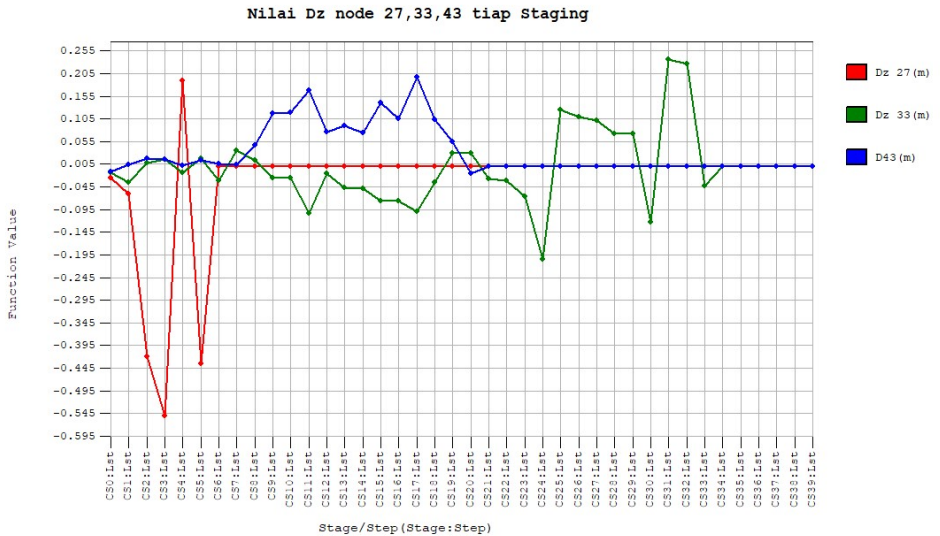
Dari tabel diatas diketahui bahwa keseluruhan gaya pada *lower cross beam* tidak lebih besar dari nilai maksimum gaya tiap kombinasi pada sub bab 4.7.2.1, dapat disimpulkan bahwa penampang sudah memenuhi.

Nilai Dz (*Displacement*) arah Z tiap *staging* dapat dilihat pada gambar 4.97, dan 4.98 dalam bentuk grafik hasil analisa *Construction Staging* pada program bantu MidasCivil



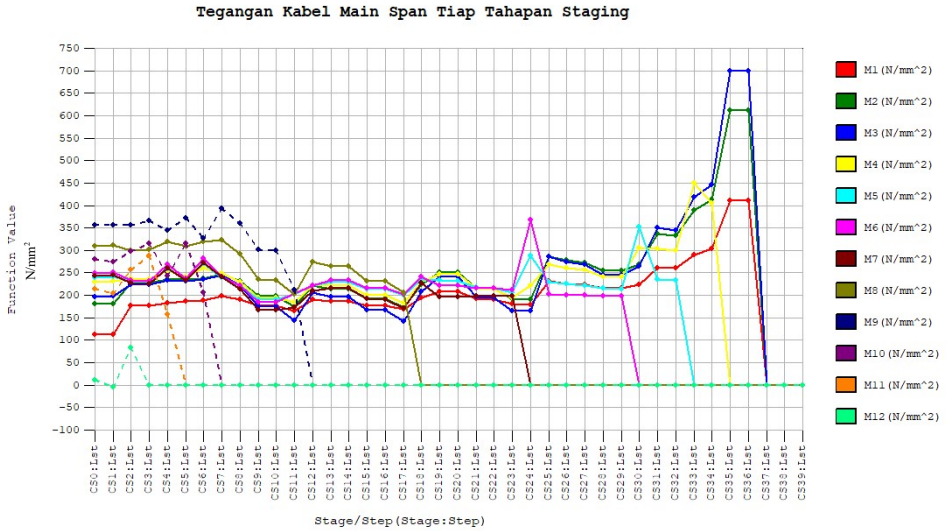
**Gambar 4. 97** Penomoran Node Model Jembatan  
*Sumber : (Dokumen Pribadi MidasCivil)*





**Gambar 4. 98** Grafik nilai  $Dz_{27,33,43}$  tiap tahapan *staging*  
*Sumber : (Dokumen Pribadi MidasCivil)*

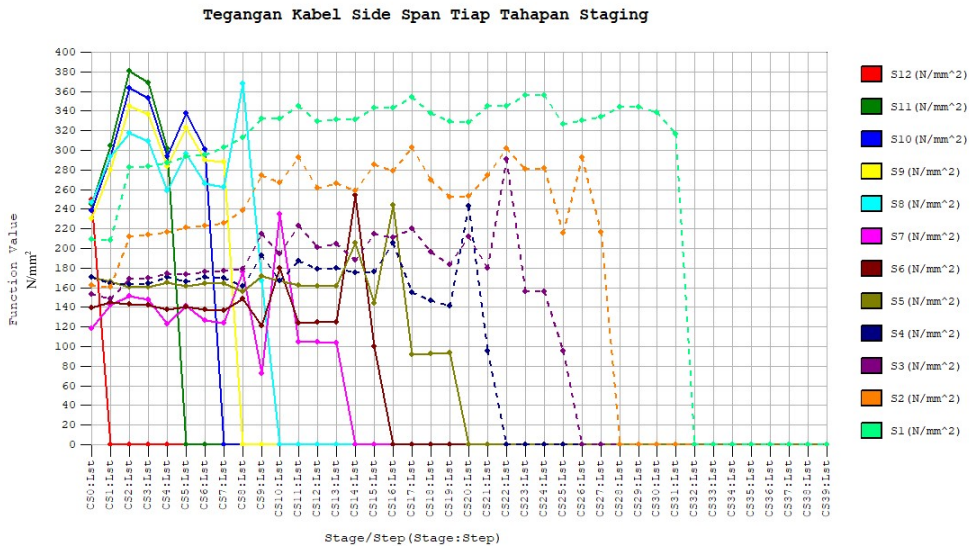
Dilakukan pengecekan terhadap tegangan izin kabel pada tiap tahapan *staging*. Dimana  $F_{izin}$  kabel pada jembatan *cable stayed* sebesar  $0.45F_u$  yaitu  $873000 \text{ kN/m}^2$ . Dan berikut adalah grafik tegangan kabel tiap *staging*, dimana didapatkan dari output *StageHistoryGraph* program MIDASCivil, untuk kabel pada sisi *main span* dapat dilihat pada gambar 4.99, dan untuk kabel pada sisi *side span* dapat dilihat pada gambar 4.100.



**Gambar 4. 99** Grafik tegangan kabel pada sisi main span tiap tahapan staging.

Sumber : (Dokumen Pribadi MidasCivil)

Dari grafik diatas didapatkan bahwa nilai tegangan kabel M1-M12 masih kurang dari tegangan izin kabel pakai sebesar  $0.45 f_u = 837 \text{ MPa}$ , sehingga dapat disimpulkan kabel pakai memenuhi saat *staging*.



**Gambar 4. 100** Grafik tegangan kabel pada sisi side span tiap tahapan staging.

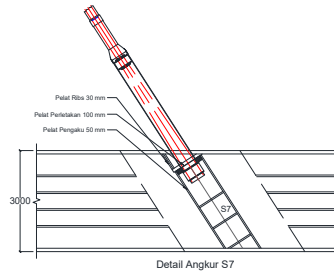
Sumber : (Dokumen Pribadi MidasCivil)

Dari grafik diatas didapatkan bahwa nilai tegangan kabel S1-S12 masih kurang dari tegangan izin kabel pakai sebesar  $0.45 f_u = 837 \text{ MPa}$ , sehingga dapat disimpulkan kabel pakai memenuhi saat *staging*.

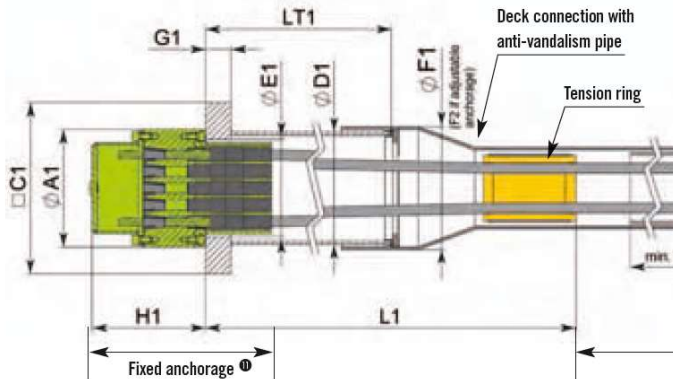
## 4.10 Perhitungan Angkur

### 4.10.1 Desain Angkur Pada Gelagar (*Box Girder*)

Angkur kabel pada gelagar dipasang sesuai dengan jumlah strand kabel yang telah dihitung, sesuai dengan tabel 4.33. Selanjutnya akan dilakukan kontrol tegangan pelat baja pada saat stressing (pemberian gaya tarik).



**Gambar 4. 101** Angkur pada gelagar (*Box Girder*)  
Sumber : (Dokumen Pribadi)



**Gambar 4. 102** Detail angkur VSL SSI 2000  
Sumber : (VSL SSI 2000 Stay Cables System.pdf)

**tabel 4. 43** Spesifikasi teknis angkur VSL SSI 2000

CABLE UNIT	NUMBER OF STRANDS	BREAKING LOAD AT 100% RUTS kN	FIXED ANCHORAGE						
			ØA1	C1	ØD1/hk	ØE1	ØF1	G1	H1 mini
			mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	mm
6-12	12	3,348	185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
6-19	19	5,301	230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
6-22	22	6,138	250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
6-31	31	8,649	280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
6-37	37	10,323	300	455	273/6,3	255	286	70	270
6-43	43	11,997	340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
6-55	55	15,345	380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
6-61	61	17,019	380	585	355.6/8	330	370	85	310
6-73	73	20,367	430	650	406.4/8.8	370	420	95	330
6-85	85	23,715	430	685	406.4/8.8	370	420	110	360
6-91	91	25,389	480	730	457/10	420	470	110	370
6-109	109	30,411	495	775	457/10	420	470	120	380
6-127	127	35,433	550	845	508/11	475	525	130	430
6-139	139	38,781	570	900	520/12	480	540	135	440
6-151	151	42,129	590	920	559/12.5	490	550	140	460
6-169	169	47,151	630	970	585/14	510	580	150	480
6-187*	187	52,173	660	1,000	600/15	550	620	160	490

Terdapat empat macam jumlah strand sesuai dengan tabel 4.33. maka data yang dipakai dapat dilihat pada tabel 4.44.

**tabel 4. 44** Nilai  $\text{Ø}_{A1}$  dan  $C_1$  sesuai  $n_{\text{pasang}}$

Angkur	n (strand)			
	187	169	139	109
$\text{Ø}_{A1}$ (mm)	660	630	570	495
$C_1$ (mm)	1000	970	900	775

Pelat BJ55

$f_y = 550$  Mpa

$f_u = 410$  Mpa

$t_{f_{\text{box}}} = 100$  mm

Contoh perhitungan anker digunakan (kabel M10) 6-187 karena mempunyai gaya paling besar.

Data perencanaan :

$P = 18729$  kN

$\text{Ø}_A = 660$  mm

$C = 1000$  mm

$$\begin{aligned}
 A_p' &= C \times C \\
 &= 1000000 \text{ mm}^2 \\
 A_p &= A_p' - (0,25 \cdot \pi \cdot \varnothing_A^2) \\
 &= 1000000 - (0,25 \cdot \pi \cdot 660^2) \\
 &= 657742,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik :

Pelat baja BJ55

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

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

$$\begin{aligned}
 f_{yp} &= 0,8f_y \sqrt{\frac{A_p'}{A_p} - 0,2} \\
 &= 0,8 \times 410 \times \sqrt{\frac{1000000}{657742,8} - 0,2} \\
 &= 376,9 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{yt} &= P / A_p \\
 &= 18729 \text{ kN} / 657742,8 \text{ mm}^2 \\
 &= 22,29 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$f_{yp} = 376,9 \text{ Mpa} > f_{yt} = 22,29 \text{ MPa} \text{ (OK)}$$

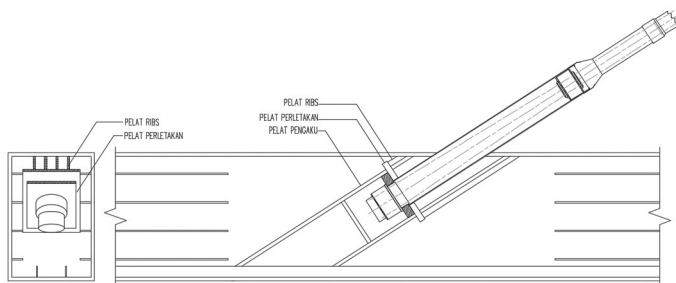
Untuk perhitungan kontrol tegangan anker lain akan disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada **Tabel 4.45**.

**tabel 4. 45** Kontrol tegangan izin pelat dengan gaya tarik

Kabel	n	Ø <sub>A1</sub> (mm)	C <sub>1</sub> (mm)	P (kN)	A <sub>p'</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )	Teg. Izin pelat saat stressing (MPa)		
							f <sub>yp</sub>	f <sub>yt</sub>	Ket
M12	187	660	1000	2899	1000000	657743	376.9	1.10	OK
M11	187	660	1000	18914	1000000	657743	376.9	16.72	OK
M10	187	660	1000	18729	1000000	657743	376.9	22.29	OK
M9	187	660	1000	13244	1000000	657743	376.9	20.15	OK
M8	169	630	970	19738	940900	629050	373.4	18.72	OK

M7	169	630	970	11876	940900	629050	373.4	15.11	OK
M6	169	630	970	12232	940900	629050	373.4	13.21	OK
M5	169	630	970	13799	940900	629050	373.4	12.93	OK
M4	169	630	970	14612	940900	629050	373.4	13.04	OK
M3	169	630	970	14210	940900	629050	373.4	12.41	OK
M2	109	495	775	11937	600625	408105	369.9	17.05	OK
M1	109	495	775	10102	600625	408105	369.9	15.50	OK
S1	109	495	775	9241	600625	408105	369.9	14.86	OK
S2	109	495	775	8899	600625	408105	369.9	14.46	OK
S3	109	495	775	8671	600625	408105	369.9	14.18	OK
S4	109	495	775	7656	600625	408105	369.9	13.70	OK
S5	109	495	775	5197	600625	408105	369.9	12.07	OK
S6	109	495	775	3823	600625	408105	369.9	9.54	OK
S7	139	570	900	5665	810000	554721	368.2	7.82	OK
S8	139	570	900	11019	810000	554721	368.2	11.94	OK

Kontrol kemampuan anker dalam menerima gaya tarik (stressing) berikut ilustrasi plat anker pada seluruh titik pengangkatan dapat dilihat pada Gambar 4.103.



**Gambar 4. 103** Pelat Angkur Tendon

*Sumber : (Dokumen Pribadi)*

Kontrol penampang pelat pada anker, digunakan kabel M10 karena mempunyai gaya terbesar

1. Kuat lentur pelat sayap  
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.2

$$\begin{aligned}\phi R_b &= \phi \cdot 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_y \\ &= 0,85 \cdot 6,25 \cdot 100^2 \cdot 410 \text{ MPa} \\ &= \mathbf{23062,5 \text{ kN}}\end{aligned}$$

2. Kuat leleh pelat badan  
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3

$$\phi R_b = \phi \cdot (5k + N) \cdot t_w \cdot f_y$$

dimana :

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

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

$$\begin{aligned}\phi R_b &= 0,85 \cdot (5 \cdot 100 + 775) \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} \cdot 410 \text{ N/mm}^2 \\ &= 44433750 \text{ N} \\ &= 44433,75 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Kuat tekuk dukung pelat badan  
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)

$$\begin{aligned}\phi R_b &= 0,39 \cdot t_w^2 \cdot \left[ 1 + \left\{ 4 \left( \frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}} \\ &= 64746003,7 \text{ N} \\ &= 64746 \text{ kN}\end{aligned}$$

4. Kuat tekuk lentur pelat badan  
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.6

$$\begin{aligned}\phi R_b &= \frac{12,08 t_w^3}{h} \sqrt{E \cdot f_y} \\ &= 36463017,5 \text{ N} \\ &= 36463,02 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dari semua perhitungan diatas dipakai nilai  $\phi R_b$  yang terkecil sebesar 23062,5 kN

Kontrol :

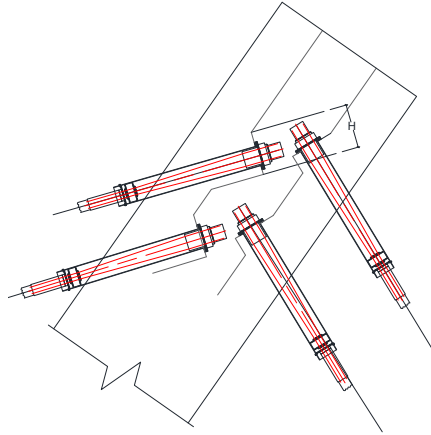
$$\phi R_b = 23062,5 \text{ kN} > P = 18729 \text{ kN} \quad \mathbf{(OK)}$$

#### 4.10.2 Desain Angkur pada *Pylon*

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya stressing nya yang telah dihitung. Pada daerah pengankuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (bursting) dan

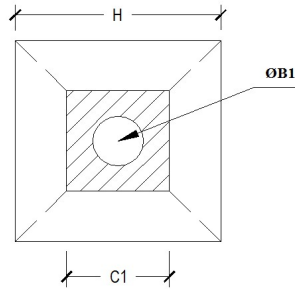


pengelupasan (spalling) agar lokasi pengankuran tidak hancur atau anker tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan stressing.



**Gambar 4. 104** Dearah anker pada *pylon*

*Sumber : (Dokumen Pribadi)*



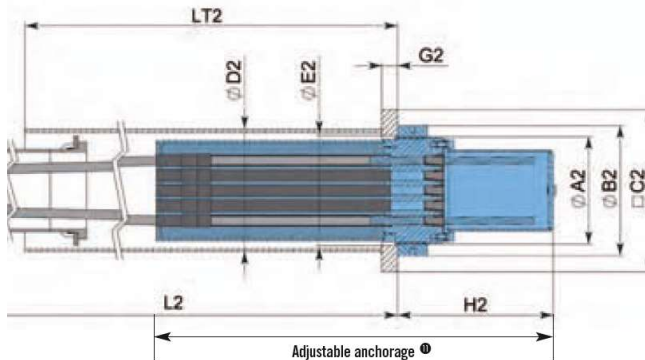
**Gambar 4. 105** Dimensi Anker

*Sumber : (Dokumen Pribadi)*

Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angkur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.46 dan Tabel 4.47 serta Gambar 4.106

**tabel 4. 46** Gaya tarik kabel pada pylon

Simbol Kabel	F (Kn)	Simbol Kabel	F (Kn)
M12	2899	S1	9241
M11	18914	S2	8899
M10	18729	S3	8671
M9	13244	S4	7656
M8	19738	S5	5197
M7	11876	S6	3823
M6	12232	S7	5665
M5	13799	S8	11019
M4	14612	S9	11215
M3	14210	S10	11113
M2	11937	S11	10986
M1	10102	S12	10837



**Gambar 4. 106** Detail Angkur VSL SSI 2000  
*Sumber : (VSL SSI 2000 Stay Cables System.pdf)*

**tabel 4. 47** Spesifikasi Angkur VSL SSI 2000

CABLE UNIT	NUMBER OF STRANDS	BREAKING LOAD AT 100% ELONGATION	ADJUSTABLE ANCHORAGE						
			$\phi A_2$	B2	C2	$\phi D_2/h_k$	E2	G2	H2 mini
			mm	mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm
6-12	12	3,348	190	230	290	219.1/6.3	196	30	320
6-19	19	5,301	235	285	355	267/6.3	241	35	345
6-22	22	6,138	255	310	385	298.5/7.1	261	40	355
6-31	31	8,649	285	350	440	323.9/7.1	291	45	405
6-37	37	10,323	310	380	485	355.6/8	316	50	435
6-43	43	11,997	350	425	540	406.4/8.8	356	55	450
6-55	55	15,345	385	470	585	419/10	391	60	490
6-61	61	17,019	385	470	600	419/10	391	65	525
6-73	73	20,367	440	530	680	508/11	446	75	525
6-85	85	23,715	440	540	710	508/11	446	80	585
6-91	91	25,389	490	590	760	559/12.5	496	80	580
6-109	109	30,411	505	610	795	559/12.5	511	90	615
6-127	127	35,433	560	670	865	610/12.5	566	95	665
6-139	139	38,781	580	700	910	630/15	590	100	685
6-151	151	42,129	590	720	940	640/15	600	100	695
6-169	169	47,151	630	760	1,000	685/15	640	110	730
6-187*	187	52,173	660	800	1,050	720/15	670	120	770

Terdapat empat macam jumlah strand sesuai dengan tabel 4.33. maka data yang dipakai dapat dilihat pada tabel 4.48.

**tabel 4. 48** Nilai  $\phi_{A_2}$  dan  $C_2$

Angkur	n (strand)			
	187	169	139	109
$\phi_{b_2}$ (mm)	800	760	700	610
C2 (mm)	1050	1000	910	795
h (mm)	1150	1100	1000	900

- Kontrol Tegangan Beton *saat* Stressing

Perhitungan anker kabel dicontohkan dengan kabel M10 (6-187)

$$T = 18729 \text{ kN}$$

$$C_2 = 1050 \text{ mm}$$

$$h = 1150 \text{ mm}$$

$$f_c = 50 \text{ Mpa}$$

$$A_2 = h \times h$$

$$\begin{aligned}
 &= 1322500 \text{ mm}^2 \\
 \varnothing_{b2} &= 800 \text{ mm} \\
 A_1 &= (C_2 \times C_2) - 0.25 \times 3.14 \times \varnothing_{b2}^2 \\
 &= 599643 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan 85%fc'

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 85\% \times 50 \text{ Mpa} \\
 &= 42,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{cp} &= 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1} - 0,2} \\
 &= 0,8 \cdot 42,5 \cdot \sqrt{\frac{1322500}{599643} - 0,2} \\
 &= 48.1 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa}$$

Kontrol :

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa} > f_{cp} = 48.1 \text{ Mpa} \quad \text{(OK)}$$

Tegangan di bawah plat angker

$$\begin{aligned}
 f_t &= T / A_1 \\
 &= 18728000 \text{ N} / 599643 \text{ mm}^2 \\
 &= 31.2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$f_t = 31.2 \text{ Mpa} < f_{cp} = 52.35 \text{ Mpa} \quad \text{(OK)}$$

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada Tabel 4.49

**Tabel 4. 49** Kontrol tegangan beton saat stressing pada kabel di pylon

Kabel	1.25 fci (MPa)	fcp (MPa)	ft (MPa)	Cek
M12	53.125	48.1	4.8	OK
M11	53.125	48.1	31.5	OK
M10	53.125	48.1	31.2	OK
M9	53.125	48.1	22.1	OK
M8	53.125	48.3	36.1	OK

M7	53.125	48.3	21.7	OK
M6	53.125	48.3	22.4	OK
M5	53.125	48.3	25.3	OK
M4	53.125	48.3	26.8	OK
M3	53.125	48.3	26.0	OK
M2	53.125	50.3	35.1	OK
M1	53.125	50.3	29.7	OK
S1	53.125	50.3	27.2	OK
S2	53.125	50.3	26.2	OK
S3	53.125	50.3	25.5	OK
S4	53.125	50.3	22.5	OK
S5	53.125	50.3	15.3	OK
S6	53.125	50.3	11.3	OK
S7	53.125	48.8	12.8	OK
S8	53.125	48.8	24.9	OK

- Perhitungan tulangan pada daerah pengakoran

1. Akibat pancaran (*bursting*)

$$T_{\text{pencar}} = 0,25T \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.3})$$

$$\begin{aligned} T_{\text{pencar}} &= 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{c_2}{h}\right) \\ &= 0,25 \cdot 18278 \cdot \left(1 - \frac{1050}{1150}\right) \\ &= 407.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{pencar}} &= 0,5(h-2e) \\ &= 0,5 \cdot (1150 - 0) \\ &= 575 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang penutup D19 dengan  $A_s = 283.64 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= T_{\text{pencar}} / f_y \\ &= 4071000 \text{ N} / 410 \\ &= 993.04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_{\text{Sperlu}} / A_{\text{Spakai}} \\ &= 993.04 / 283.6 \\ &= 3.5 \\ &= 4 \text{ sengkang dekat ujung angkur} \end{aligned}$$

Spasi antar sengkang

$$s = d_{\text{pencar}} / n$$

$$= 575 / 3.5$$

$$= 164.28 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang 4D19-150

## 2. Akibat pengelupasan (*spalling*)

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%T

$$2\%T = 2\% \cdot 18278 \text{ kN}$$

$$= 374.6 \text{ kN}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 2\%T / f_y$$

$$= 3746000 / 410$$

$$= 913.6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan UD19 dengan  $A_s = 283.6 \text{ mm}^2$

$$n = A_{S_{\text{perlu}}} / A_{S_{\text{pakai}}}$$

$$= 913.6 / 283.6$$

$$= 3.22$$

$$= 4 \text{ buah tulangan U}$$

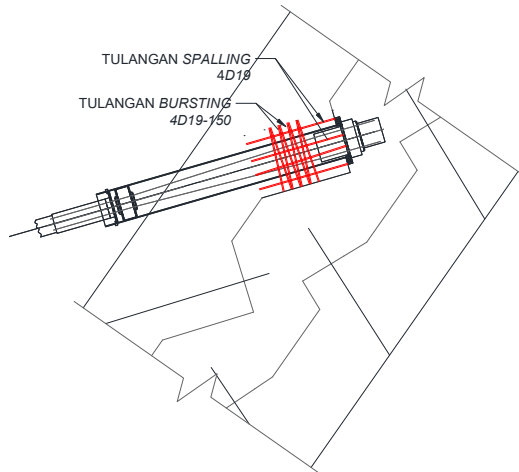
Untuk kebutuhan Tulangan pada daerah kabel yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.50**

**Tabel 4. 50** Kebutuhan Tulangan Daerah Pengankuran

Kabel	Angkur (n)	C <sub>2</sub> (m)	P (kN)	Bursting			Spalling		
				T Pencar	A perlu	n	T Spalling	A perlu	n
M12	187	1050	725.0	15.8	38.44	2	14.5	35.4	2
M11	187	1050	10999.4	239.1	583.21	4	220.0	536.6	4
M10	187	1050	14664.0	318.8	777.52	4	293.3	715.3	4
M9	187	1050	13256.1	288.2	702.87	3	265.1	646.6	3
M8	169	1000	11778.8	267.7	652.92	4	235.6	574.6	4
M7	169	1000	9501.8	216.0	526.71	3	190.0	463.5	3
M6	169	1000	8310.9	188.9	460.69	3	166.2	405.4	3
M5	169	1000	8134.0	184.9	450.89	3	162.7	396.8	3
M4	169	1000	8200.2	186.4	454.56	3	164.0	400.0	3

M3	169	1000	7807.3	177.4	432.77	3	156.1	380.8	3
M2	109	795	6956.8	202.9	494.89	3	139.1	339.4	3
M1	109	795	6326.3	184.5	450.04	3	126.5	308.6	2
S1	109	795	6066.0	176.9	431.52	3	121.3	295.9	2
S2	109	795	5899.3	172.1	419.67	3	118.0	287.8	2
S3	109	795	5788.2	168.8	411.76	3	115.8	282.4	2
S4	109	795	5591.5	163.1	397.77	2	111.8	272.8	2
S5	109	795	4927.8	143.7	350.56	2	98.6	240.4	2
S6	109	795	3893.5	113.6	276.97	2	77.9	189.9	2
S7	139	910	4340.3	97.7	238.19	2	86.8	211.7	2
S8	139	910	6624.6	149.1	363.54	3	132.5	323.2	2
S9	139	910	6530.1	146.9	358.36	3	130.6	318.5	2
S10	139	910	6600.3	148.5	362.21	3	132.0	322.0	2
S11	139	910	6644.2	149.5	364.62	3	132.9	324.1	2
S12	139	910	6673.8	150.2	366.24	3	133.5	325.6	2

Untuk gambar desain penulangan *bursting* dan *spalling* M10 pada *pylon* dapat dilihat pada gambar 4.107.



Gambar 4. 107 Desain Tulangan *Bursting* dan *Spalling* M10 pada *pylon*

Sumber : (Dokumen Pribadi )

### 4.10.3 Desain Angkur pada Eksternal (Blok Angkur)

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya stressing nya yang telah dihitung. Pada daerah pengankuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (bursting) dan pengelupasan (spalling) agar lokasi pengankuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan stressing.

Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angkur yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.51 Dan tabel 4.52 Serta gambar 4.108 dan 4.109.

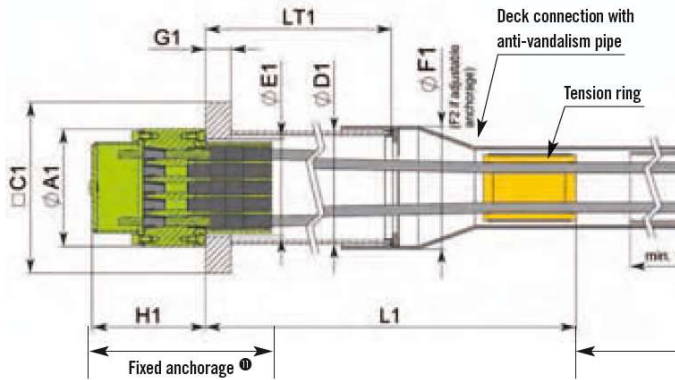
**tabel 4. 51** Gaya tarik kabel  $A_{pakai}$

Kabel	Gaya Tarik (kN)
S9	11215
S10	11113
S11	10986
S12	10837

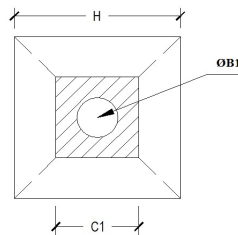
**tabel 4. 52** Spesifikasi teknis angkur VSL SSI 2000

CABLE UNIT	NUMBER OF STRANDS	BREAKING LOAD AT 100% GLTS KN	FIXED ANCHORAGE						
			$\beta A1$	C1	$\phi D1/rhk$	$\beta E1$	$\beta F1$	G1	H1 mini
			mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	mm
6-12	12	3,348	185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
6-19	19	5,301	230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
6-22	22	6,138	250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
6-31	31	8,649	280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
6-37	37	10,323	300	455	273/6.3	255	286	70	270
6-43	43	11,997	340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
6-55	55	15,345	380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
6-61	61	17,019	380	585	355.6/8	330	370	85	310
6-73	73	20,367	430	650	406.4/8.8	370	420	95	330
6-85	85	23,715	430	685	406.4/8.8	370	420	110	360
6-91	91	25,389	480	730	457/10	420	470	110	370
6-109	109	30,411	495	775	457/10	420	470	120	380
6-127	127	35,433	550	845	508/11	475	525	130	430
6-139	139	38,781	570	900	520/12	480	540	135	440
6-151	151	42,129	590	920	559/12.5	490	550	140	460
6-169	169	47,151	630	970	585/14	510	580	150	480
6-187 <sup>a</sup>	187	52,173	660	1,000	600/15	550	620	160	490





**Gambar 4. 108** Detail angkur VSL SSI 2000  
*Sumber : (VSL SSI 2000 Stay Cables System.pdf)*



**Gambar 4. 109** Notasi Dimensi Angkur  
*Sumber : (Dokumen Probadi)*

Terdapat satu macam jumlah strand 6-139 sesuai dengan tabel 4.34. maka,

$$\text{Ø}_{b2} = 700 \text{ mm}$$

$$C_2 = 910 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

- Kontrol Tegangan Beton *saat* Stressing

Perhitungan anker kabel dicontohkan dengan kabel S9 (6-139)

$$T = 11215 \text{ kN}$$

$$C_2 = 910 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$f_c = 50 \text{ Mpa}$$

$$A_2 = h \times h \\ = 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing_{b2} = 700 \text{ mm}$$

$$A_1 = (C_2 \times C_2) - 0.25 \times 3.14 \times \varnothing_{b2}^2 \\ = 443100 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan  $85\%f_c'$

$$f_{ci} = 85\% \times 50 \text{ Mpa} \\ = 42,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1} - 0,2} \\ = 0,8 \cdot 42,5 \cdot \sqrt{\frac{1000000}{443100} - 0,2} \\ = 48.8 \text{ MPa}$$

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa}$$

Kontrol :

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa} > f_{cp} = 48.8 \text{ Mpa} \quad \text{(OK)}$$

Tegangan di bawah plat angker

$$f_t = T / A_1 \\ = 11215000 \text{ N} / 443100 \text{ mm}^2 \\ = 25.3 \text{ MPa}$$

Kontrol :

$$f_t = 25.3 \text{ Mpa} < f_{cp} = 48.8 \text{ Mpa} \quad \text{(OK)}$$

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada Tabel 4.53

**tabel 4. 53** Kontrol tegangan beton saat stressing pada kabel di blok angkur

Kabel	1.25 fci (MPa)	fcp (MPa)	ft (MPa)	Cek
S9	53.125	48.8	25.3	OK

S10	53.125	48.8	25.1	OK
S11	53.125	48.8	24.8	OK
S12	53.125	48.8	24.5	OK

- Perhitungan tulangan pada daerah pengakeran

1. Akibat pancaran (*bursting*)

$$T_{\text{pencar}} = 0,25T \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.3})$$

$$\begin{aligned} T_{\text{pencar}} &= 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{c_2}{h}\right) \\ &= 0,25 \cdot 11215 \cdot \left(1 - \frac{910}{1000}\right) \\ &= 253.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{pencar}} &= 0,5(h-2e) \\ &= 0,5 \cdot (1000 - 0) \\ &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang penutup D19 dengan  $A_s = 283.64 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= T_{\text{pencar}} / f_y \\ &= 253300 \text{ N} / 410 \\ &= 615.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_{S\text{perlu}} / A_{S\text{pakai}} \\ &= 615.4 / 283.6 \\ &= 2.17 \\ &= 3 \text{ sengkang dekat ujung angkur} \end{aligned}$$

Spasi antar sengkang

$$\begin{aligned} s &= d_{\text{pencar}} / n \\ &= 500 / 2.17 \\ &= 230.414 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang sengkang 3D19-200

2. Akibat pengelupasan (*spalling*)

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%T

$$\begin{aligned} 2\%T &= 2\% \cdot 11215 \text{ kN} \\ &= 224.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= 2\%T / f_y \\ &= 224300 / 410 \\ &= 547 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan UD19 dengan  $A_s = 283.6 \text{ mm}^2$

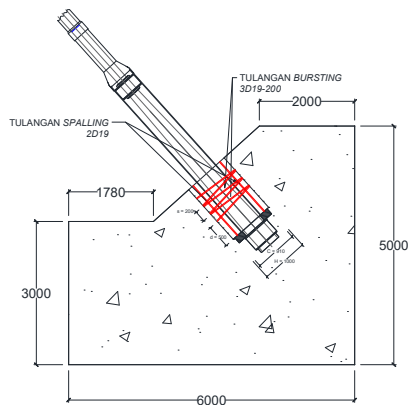
$$\begin{aligned}
 n &= A_{s\text{perlu}} / A_{s\text{pakai}} \\
 &= 547 / 283.6 \\
 &= 1.93 \\
 &= 2 \text{ buah tulangan U}
 \end{aligned}$$

Untuk kebutuhan Tulangan pada daerah kabel yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.54**

**Tabel 4. 54** Kebutuhan Tulangan Daerah Pengangkuran

Kabel	Angkur (n)	C <sub>2</sub> (m)	P (kN)	Bursting			Spalling		
				T Pencar	A perlu	n	T Spalling	A perlu	n
S9	139	910	11214.5	252.3	615.43	3	224.3	547.0	2
S10	139	910	11113.4	250.1	609.88	3	222.3	542.1	2
S11	139	910	10986.1	247.2	602.90	3	219.7	535.9	2
S12	139	910	10837.5	243.8	594.74	3	216.7	528.7	2

Gambar ilustrasi desain penulangan blok angkur dapat dilihat pada gambar 4.110

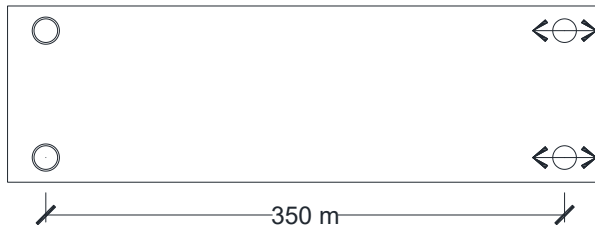


**Gambar 4. 110** Ilustrasi desain penulangan pada blok angkur

Sumber : (Dokumen Pribadi)

#### 4.11 Desain Perletakan



Dengan adanya perletakan akan maka gaya dalam yang terjadi pada struktur atas akan disalurkan ke struktur bawah dan perletakan sendiri sebagai penompang jembatan. *Layout* dari penempatan perletakan yang digunakan pada perencanaan jembatan *cable stayed* dapat dilihat pada gambar 4.111



**Gambar 4. 111** Layout penempatan perletakan jembatan

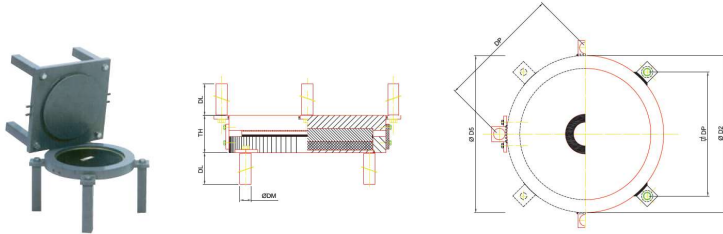
*Sumber : (Dokumen Pribadi)*

Keterangan :

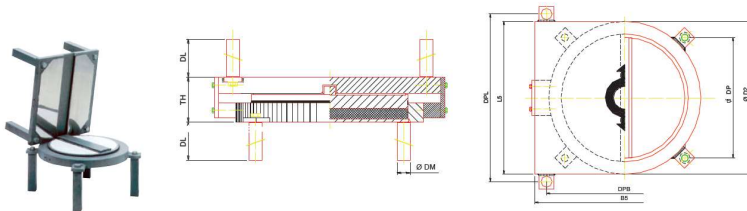
	<i>pot bearing type PF VSL (Sendi)</i>
	<i>pot bearing type PU VSL (Rol)</i>

##### 4.11.1 Desain *Pot Bearing*

Dalam perencanaan jembatan *cable stayed* ini terdapat dua macam *pot bearing*, yaitu *type PF* (Sendi), dan *PU* (rol). Adapun produk yang digunakan mengacu pada *VSL Pot Bearing*. *Pot bearing* tipe *PU* merupakan jenis perletakan dimana hanya memungkinkan satu gerakan arah lateral, adapun *pot bearing* tipe *PF* merupakan jenis perletakan dimana tidak ada gerakan arah horizontal, baik lateral maupun transversal. Berikut adalah gambar dari *pot bearing* tipe *PF* dan *pot bearing* tipe *PU* sesuai dengan brosur dari *VSL*.



**Gambar 4. 112** Pot Bearing tipe PF  
*Sumber : (VSL CTT Pot Bearings .pdf)*



**Gambar 4. 113** Pot bearing tipe PU  
*Sumber : (VSL CTT Pot Bearings .pdf)*

Reaksi maksimum dari tiap kombinasi yang diterima oleh *pot bearing* adalah sebagai berikut :

- *Sendi (PF)*
  - V = 8862 kN
  - H = 4604 kN
- *Rol (PU)*
  - V = 2559 kN
  - H = 4573 kN

Kapasitas dari *pot bearing* tipe PF dan PU dapat dilihat pada tabel 4.55 dan tabel 4.56

**tabel 4. 55 Kapasitas pot bearing VSL tipe PF**

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)
PF 100/70/H2 EN	977	210	700	140	350	29
PF 200/140/H2 EN	1.953	420	1.400	280	700	44
PF 300/220/H2 EN	3.069	660	2.200	440	1.100	70
PF 390/280/H2 EN	3.906	840	2.800	560	1.400	102
PF 490/350/H2 EN	4.883	1.050	3.500	700	1.750	124
PF 630/450/H2 EN	6.278	1.350	4.500	900	2.250	173
PF 700/500/H2 EN	6.975	1.500	5.000	1.000	2.500	231
PF 840/600/H2 EN	8.370	1.800	6.000	1.200	3.000	284
PF 900/650/H2 EN	9.068	1.950	6.500	1.300	3.250	319
PF 1000/700/H2 EN	9.765	2.100	7.000	1.400	3.500	340
PF 1120/800/H2 EN	11.160	2.400	8.000	1.600	4.000	389
PF 1200/850/H2 EN	11.858	2.550	8.500	1.700	4.250	423
PF 1320/950/H2 EN	13.253	2.850	9.500	1.900	4.750	484
PF 1400/1000/H2 EN	13.950	3.000	10.000	2.000	5.000	512
PF 1535/1100/H2 EN	15.345	3.300	11.000	2.200	5.500	637
PF 1700/1200/H2 EN	16.740	3.600	12.000	2.400	6.000	722
PF 1800/1300/H2 EN	18.135	3.900	13.000	2.600	6.500	832
PF 2000/1400/H2 EN	19.530	4.200	14.000	2.800	7.000	904
PF 2100/1500/H2 EN	20.925	4.500	15.000	3.000	7.500	971
PF 2250/1600/H2 EN	22.320	4.800	16.000	3.200	8.000	1.186
PF 2400/1700/H2 EN	23.715	5.100	17.000	3.400	8.500	1.248
PF 2500/1800/H2 EN	25.110	5.400	18.000	3.600	9.000	1.214
PF 2650/1900/H2 EN	26.505	5.700	19.000	3.800	9.500	1.538
PF 2800/2000/H2 EN	27.900	6.000	20.000	4.000	10.000	1.650
PF 3000/2200/H2 EN	30.690	6.600	22.000	4.400	11.000	1.783

Maka untuk tipe PF digunakan *pot bearing* dengan tipe **PF 2250/1600/H2 EN**

**tabel 4. 56** Kapasitas pot bearing VSL tipe PU

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/H2 EN	977	210	700	140	350	40
PU 200/140/H2 EN	1.953	420	1.400	280	700	57
PU 300/220/H2 EN	3.069	660	2.200	440	1.100	101
PU 390/280/H2 EN	3.906	840	2.800	560	1.400	135
PU 490/350/H2 EN	4.883	1.050	3.500	700	1.750	172
PU 630/450/H2 EN	6.278	1.350	4.500	900	2.250	249
PU 700/500/H2 EN	6.975	1.500	5.000	1.000	2.500	320
PU 840/600/H2 EN	8.370	1.800	6.000	1.200	3.000	377
PU 900/650/H2 EN	9.068	1.950	6.500	1.300	3.250	421
PU 1000/700/H2 EN	9.765	2.100	7.000	1.400	3.500	450
PU 1120/800/H2 EN	11.160	2.400	8.000	1.600	4.000	515
PU 1200/850/H2 EN	11.858	2.550	8.500	1.700	4.250	559
PU 1320/950/H2 EN	13.253	2.850	9.500	1.900	4.750	633
PU 1400/1000/H2 EN	13.950	3.000	10.000	2.000	5.000	670
PU 1535/1100/H2 EN	15.345	3.300	11.000	2.200	5.500	843
PU 1700/1200/H2 EN	16.740	3.600	12.000	2.400	6.000	926
PU 1800/1300/H2 EN	18.135	3.900	13.000	2.600	6.500	1.042
PU 2000/1400/H2 EN	19.530	4.200	14.000	2.800	7.000	1.150
PU 2100/1500/H2 EN	20.925	4.500	15.000	3.000	7.500	1.287
PU 2250/1600/H2 EN	22.320	4.800	16.000	3.200	8.000	1.428
PU 2400/1700/H2 EN	23.715	5.100	17.000	3.400	8.500	1.559
PU 2500/1800/H2 EN	25.110	5.400	18.000	3.600	9.000	1.677
PU 2650/1900/H2 EN	26.505	5.700	19.000	3.800	9.500	1.780
PU 2800/2000/H2 EN	27.900	6.000	20.000	4.000	10.000	1.913
PU 3000/2200/H2 EN	30.690	6.600	22.000	4.400	11.000	2.367

Maka untuk tipe PU digunakan *pot bearing* dengan tipe **PU 2250/1600/H2 EN**

#### 4.12 Perencanaan Expansion Joint

Perencanaan *expantion joint* direncanakan pada gelagar box girder untuk menahan gaya aksial vertikal, horizontal x dan y . Tipe *expantion joint* pada perencanaan ini adalah modular *expantion joint*, yang dimana modular ini adalah gabungan dari dua atau lebih *Strip Seal Joint* untuk mengakomodasi movement yang sangat besar. Modular Joint dibuat untuk mengakomodasi movement lebih dari 100 mm. Besarnya modular joint tergantung besarnya movement. Modular joint dirancang untuk jembatan dengan bentang yang panjang dengan kemampuan movement sampai 2 m. Biasanya modular joint digunakan untuk movement



antara 150 mm sampai 600 mm. Ada 3 bagian utama dari joint ini, yaitu: *sealer*, *separator beam*, dan *support bar* (Transportation Research Board, 2003). Berikut adalah data perencanaan menggunakan kombinasi beban maksimum.

- Deformasi X = 147 mm
- Deformasi Y = 499 mm

Berikut adalah data spesifikasi expansion joint, untuk lebih jelasnya dapat melihat tabel 4.57

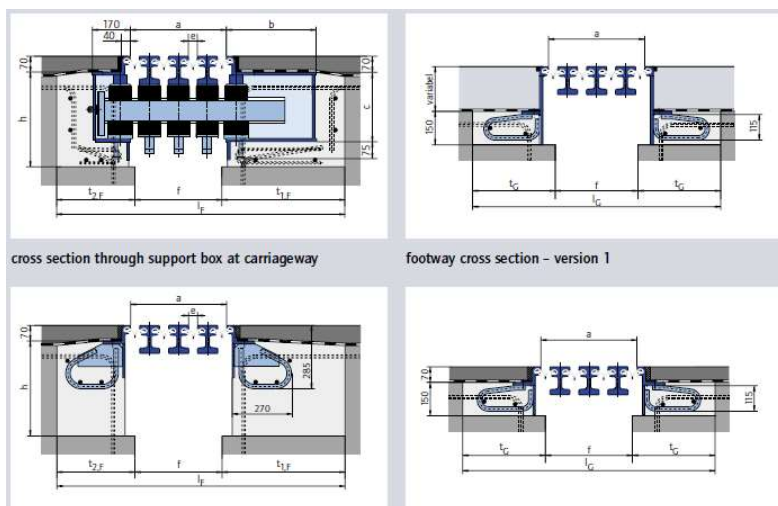
**tabel 4. 57** Tipe Expansion Joint

n	type	$u_x$ [mm]	$u_y^*$ [mm]	$u_z^*$ [mm] mid-position	$\alpha$ [°]	$\Delta\alpha$	$\beta$ [°]
2	DS160	130 (160)	± 80	± 10			
3	DS240	195 (240)	± 120	± 15			
4	DS320	260 (320)	± 160	± 20			
5	DS400	325 (400)	± 200	± 25			
6	DS480	390 (480)	± 240	± 30			
7	DS560	455 (560)	± 280	± 35			
8	DS640	520 (640)	± 320	± 40	90° ± 45°	any	any
9	DS720	585 (720)	± 360	± 40			
10	DS800	650 (800)	± 400	± 40			
11	DS880	715 (880)	± 440	± 40			
12	DS960	780 (960)	± 480	± 45			
13	DS1040	845 (1040)	± 520	± 45			
14	DS1120	910 (1120)	± 560	± 45			
15	DS1200	975 (1200)	± 600	± 45			

Dari data spesifikasi maka expansion joint yang digunakan adalah tipe DS1040. Berikut adalah dimensi dari expansion joint yang tertera pada tabel 4.58 dan gambar 4.114

**tabel 4. 58** Dimensi Expansion Joint

Presetting of gap dimension e = 30 mm											
MAURER exp. joint		structural dimensions			concrete recess dimensions			concrete gap dimensions			
n	type	a [mm]	b [mm]	c [mm]	h [mm]	t <sub>1,F</sub> [mm]	t <sub>2,F=t<sub>G</sub></sub> [mm]	f <sub>min</sub> [mm]	f <sub>max</sub> [mm]	l <sub>F</sub> [mm]	l <sub>G</sub> [mm]
2	DS160	150	260	290	420	400	350	115	130	865	815
3	DS240	270	310	300	430	450	380	225	250	1055	985
4	DS320	390	360	310	440	500	390	300	370	1190	1080
5	DS400	510	410	320	450	560	400	410	490	1370	1210
6	DS480	630	460	330	460	620	410	520	610	1550	1340
7	DS560	750	510	340	470	680	420	630	730	1730	1470
8	DS640	870	560	350	480	740	430	740	850	1910	1600
9	DS720	990	610	360	490	800	440	850	970	2090	1730
10	DS800	1110	660	370	500	860	450	960	1090	2270	1860
11	DS880	1230	710	380	510	920	460	1070	1210	2450	1990
12	DS960	1350	760	390	520	980	470	1180	1330	2630	2120
13	DS1040	1470	810	400	530	1040	480	1290	1450	2810	2250
14	DS1120	1590	860	410	540	1100	490	1400	1570	2990	2380
15	DS1200	1710	910	420	550	1160	500	1510	1690	3170	2510



**Gambar 4. 114** Dimensi Expansion Joint

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang kemudian dikontrol dari desain jembatan *cablc stayed* ini, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Bentang total jembatan sepanjang 350 m, terdiri dari 225 m untuk sisi *main span*, dan 125 m untuk sisi *side span*.
2. Lebar total jembatan sebesar 17.5 m dengan lebar jalan 11m untuk 3 lajur, dengan 2 trotoar dengan lebar @1.5 m.
3. Berdasarkan perhitungan struktur sekunder jembatan *cablc stayed*, didapatkan :
  - Tiang sandaran menggunakan beton bertulang dengan mutu  $f'c$  20 MPa, dimensi 0.25x0.2 m, dan tinggi 1.5 m
  - Pipa sandaran berupa profil baja dengan dimensi  $\varnothing$  60.5 mm dari produk (*Atlas Speciality Metals, Carbon Steel Grade B Pipe-ASTM A53M*).
  - Pelat lantai kendaraan menggunakan beton bertulang dengan mutu  $f'c$  40 MPa, dengan tinggi  $d_3 = 250$  mm, dengan tulangan rangkap lentur D13-200, dan tulangan rangkap susut  $\varnothing$ 8-165, serta tinggi aspal  $d_4 = 50$  mm.
  - Pelat lantai trotoar menggunakan beton bertulang dengan mutu  $f'c$  40 MPa, dengan tinggi  $d_3 = 250$  mm, dengan tulangan rangkap lentur D12-150, dan tulangan rangkap susut  $\varnothing$ 8-165.
  - Gelagar Memanjang BJ41 dengan Dimensi WF 600.300.14.23
  - Gelagar Melintang BJ41 dengan Dimensi WF 1120.405.26.45
  - Gelagar Kantilever BJ41 dengan Dimensi WF 300.200.9.14
4. Permodelan struktur jembatan *asymmetric cablc stayed* menggunakan Program bantu MidasCivil. Dengan metode pelaksanaan atau *staging analysis* menggunakan *backward solution*.

5. Gelagar Utama berupa *Rectangular Twin Box Girder* dengan BJ51, dimensi 3000.1750.100.100, dengan pengaku 250.50 mm. Sambungan antar *box girder* menggunakan baut ASTM A-490 dengan M36 mm produk *rockside*.
6. Digunakan kabel *seven wire strand*, dengan jenis kabel ASTM A416M: 2012 Grade 270 produk Maklada diameter strand 17.78 mm. Dengan  $A_{\text{cable}} = 0.035, 0.03, 0.025, 0.02 \text{ m}^2$ .
7. Struktur kolom *pylon* menggunakan beton bertulang dengan  $f'c$  50 MPa, dimensi 3x5 m, dengan penulangan sebagai berikut : Tulangan Lentur 172D36-150 (1.63%), Tulangan geser arah Y 2kakiD25-250, Tulangan geser arah Z 2kakiD25-250, Tulangan Torsi Longitudinal 44D25-300, Tulangan Torsi Transversal D19-300.
8. Struktur kolom *mid pylon* menggunakan beton bertulang dengan  $f'c$  50 MPa, dimensi 12x5 m, dengan penulangan sebagai berikut : Tulangan Lentur 514D36-150 (1.18%), Tulangan geser arah Y 6kakiD25-250, Tulangan geser arah Z 8kakiD25-250,
9. Struktur *Lower Cross Beam* menggunakan beton bertulang dengan  $f'c$  50 MPa, dimensi 3x4 m, dengan penulangan sebagai berikut : Tulangan Lentur 140D36-150 (1.49%), Tulangan geser arah Y 4kakiD25-250, Tulangan geser arah Z 4kakiD25-250,
10. Stabilitas aerodinamis struktur jembatan setelah dihitung menggunakan rumus empiris untuk evek *vortex-shedding* pada cek psikologis masih dominan berada pada daerah *A acceptable* dan *tolerance*. Sedangkan untuk efek ayunan (*flutter*) aman, dengan  $V_{\text{kritis.aktual}} = 55.45 \text{ m/s} > V_{\text{rencana}} = 33.1 \text{ m/s}$ .
11. Digunakan angkur pada *deck, pylon*, dan blok angkur *tipe stay cable system* VSL SSI 2000 dengan *number of strand* 187,169,139, dan 109.
12. Digunakan Perletakan VSL CTT *Pot Bearing* tipe PU 2250/1600/H2 EN dan PF 2250/1600/H2 EN.

13. Berdasarkan analisa kabel putus satu, jembatan dengan spesifikasi diatas masih dalam kondisi aman terhadap kontrol penampang.

## 5.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini masih ditemukan beberapa kekurangan, oleh karena itu diperlukan adanya hal-hal yang harus diperhatikan agar desain sejenis dapat lebih baik lagi, hal-hal tersebut antara lain :

1. Diperlukan penambahan konfigurasi pembebanan pada jembatan (baik statik maupun dinamis) untukantisipasi keadaan yang paling kritis, sehingga desain lebih teliti dan aman.
2. Pembebanan pada waktu pelaksanaan *staging analysis*, tepatnya penempatan *form traveller* harus dikontrol lebih teliti supaya lebih proporsional (mendekati kondisi sebenarnya)
3. Dalam analisa dinamis akibat beban angin selain dikontrol menggunakan rumus empiris, perlu juga diumodelkan penuh menggunakan *wind tunnel*. Hal ini dikarenakan agar ketelitian dalam desain jembatan *cable stayed* lebih akurat.
4. Perhitungan dimensi WF gelagar memanjang, kantilever, dan melintang perlu dilakukan secara teliti untuk mendapatkan dimensi ukuran yang optimum, dan rasio kapasitas yang mendekati satu, dengan kata lain dimensi yang tidak terlalu boros/besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alrasyidi, Mohammad Akbar. 2017. **Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan Assymmetric Cable Stayed dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder.**
- Chen, Wai-Fah and Duan Lian. 2014. **Bridge Engineering Handbook Superstructure Design, Second Edition**
- Gimsing, Neils J and Georgakis, Christos T. 2012. **Cable Suported Bridge Concept and Design. Third Edition.** Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- Jain Mukesh Rshabh, Murudi M.M.. 2017. **Effects of Inclined Pylon on Cable Stayed Bridge.**
- Jorquera, Juan J. 2016. **Structural Behavior of non-Symmetrical Steel Cable-Stayed Bridge.**
- Prihantono, Anshar Adi. 2018. **Desain Modifikasi Struktur Jembatan Ngujang II Menggunakan Cable Stayed Asymmetric dan Box Girder Pratekan.**
- Yudhanto, Ashando Hario. 2017. **Modifikasi Perencanaan Jembatan Mahakam Menggunakan Sistem Cable Stayed dengan Two Vertical Planes Semi Harp.**
- Parke, Gerard, dan Nigel Huson. 2008. **ICE Mannual of Bridge Engineering Second Edition.** London, Thomas Telford Ltd.

- Peraturan PU. **Perencanaan Jembatan Beruji Kabel**. Nomor 08/SE/M/2015. Kementerian Pekerjaan Umum
- Podolny Jr Walter, Scalzi John B. 1986. **Construction and Design of Cable Stayed bridge**. New York, John Willey and Sons.
- Soegiharjo, H, Irawan D, Harwijono. 2007. **Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang**. Jurusan Teknik Sipil ITS
- Standar Nasional Indonesia. **Standar Pembebanan untuk Jembatan**. SNI 1725-2016. Departemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. **Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa**. SNI 2833 -2016. Departemen PU Dirjen Bina Marga
- Standar Nasional Indonesia. **Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktura**; SNI 1729-2015. Departemen PU Dirjen Bina Marga
- Troitsky M.S. 1988. **Cable Stayed Bridge Theory and Design Second Edition**. BSP Professional Books.
- Walter, R. , Houriet, Isler, Moia, Klein. 1999. **Cable Stayed Bridge Second Edition**. London, Thomas Telford Publising.

## **LAMPIRAN**





Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Pisceca, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 03111640000002

Nama Gambar

Skala

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar

DAFTAR GAMBAR		
NO.	NAMA GAMBAR	SKALA
1	Peta Lokasi Jembatan Sembayat I	N/A
2	Tampak ( <i>Eksisting</i> , & Modifikasi)	1:2000
3	Tampak Memanjang dan Atas Jembatan	1:2000
4	Tampak Melintang Jembatan	1:1000
5	Segmen Lantai Kendaraan	1:100
6	Penulangan Pelat Lantai Kendaraan	1:50
7	Sambungan Gelagar Melintang dengan <i>Box Girder</i>	1:30
8	Sambungan Gelagar Memanjang dengan Gelagar Melintang	1:30
9	Sambungan Gelagar Kantilever dengan <i>Box Girder</i>	1:20
10	Sambungan antar <i>Box Girder</i>	1:40
11	Penulangan pada <i>Pylon</i>	1: 75
12	Angkur pada <i>Pylon</i>	1:500
13	Detail Angkur pada <i>Pylon</i>	1:250
14	Angkur pada <i>Box Girder</i>	1:100
15	Angkur pada <i>Box Girder</i> (2)	1:100
16	Angkur pada Blok Angkur Eksternal	1:150

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
 dan Kebumihan  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
 JEMBATAN SEMBAYAT I  
 MENGGUNAKAN  
 ASYMMETRIC CABLE STAYED  
 BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
 NIP. 195503251980031004  
 Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
 NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
 NRP. 0311164000002

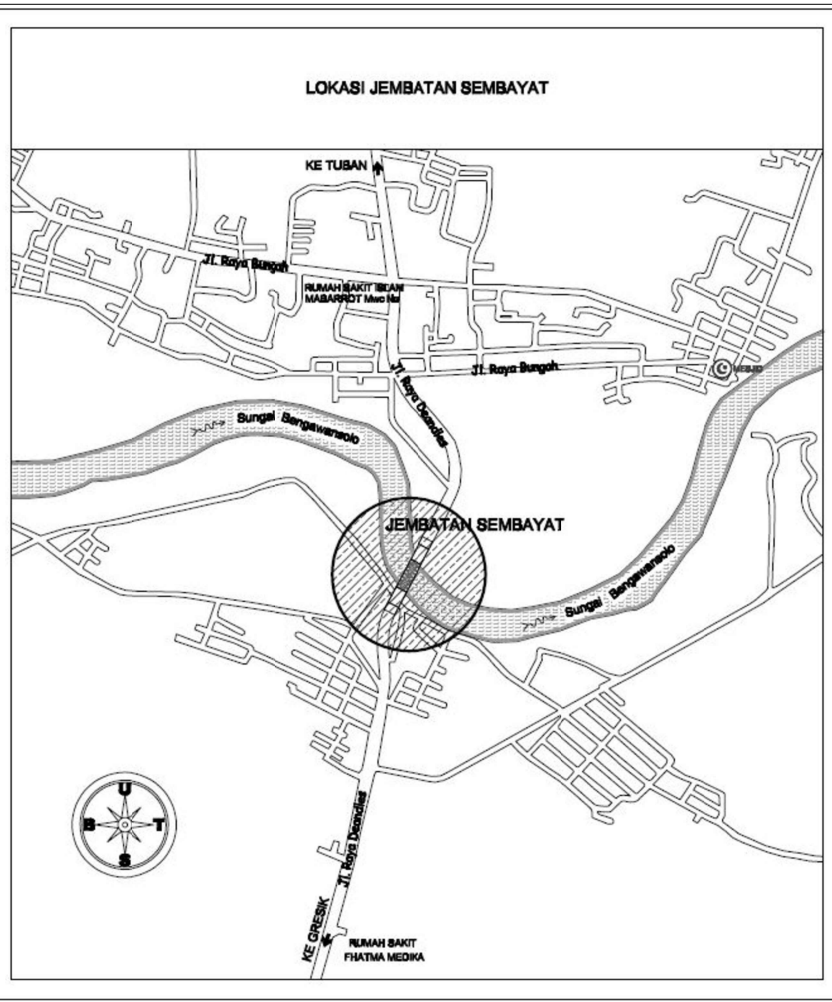
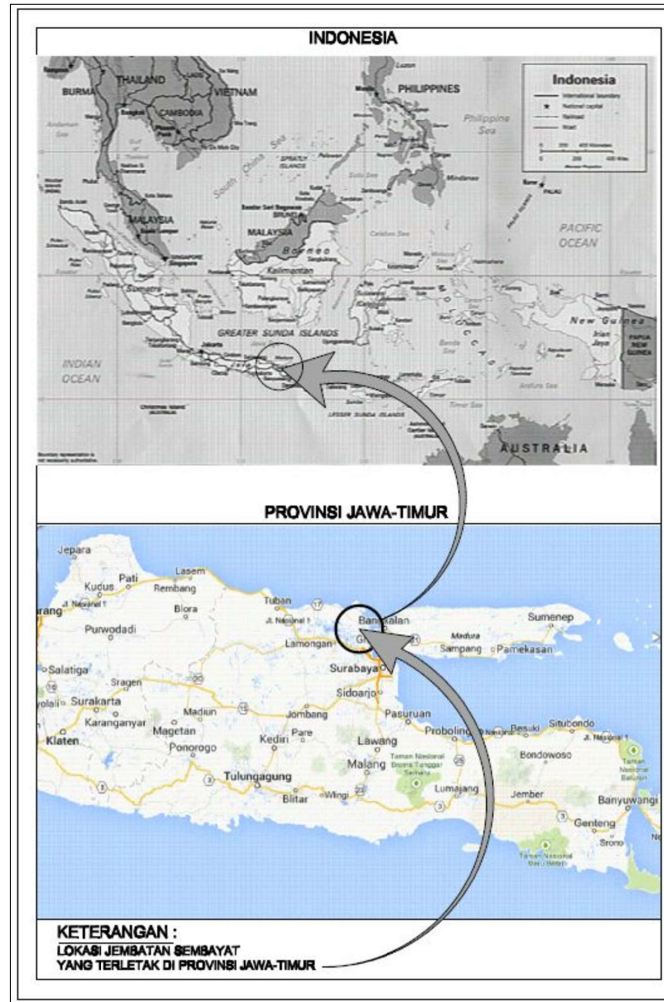
Nama Gambar

PETA LOKASI JEMBATAN  
 SEMBAYAT I

Skala

N/A

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-1	01	16



PETA LOKASI JEMBATAN SEMBAYAT I  
 SCALE N/A

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

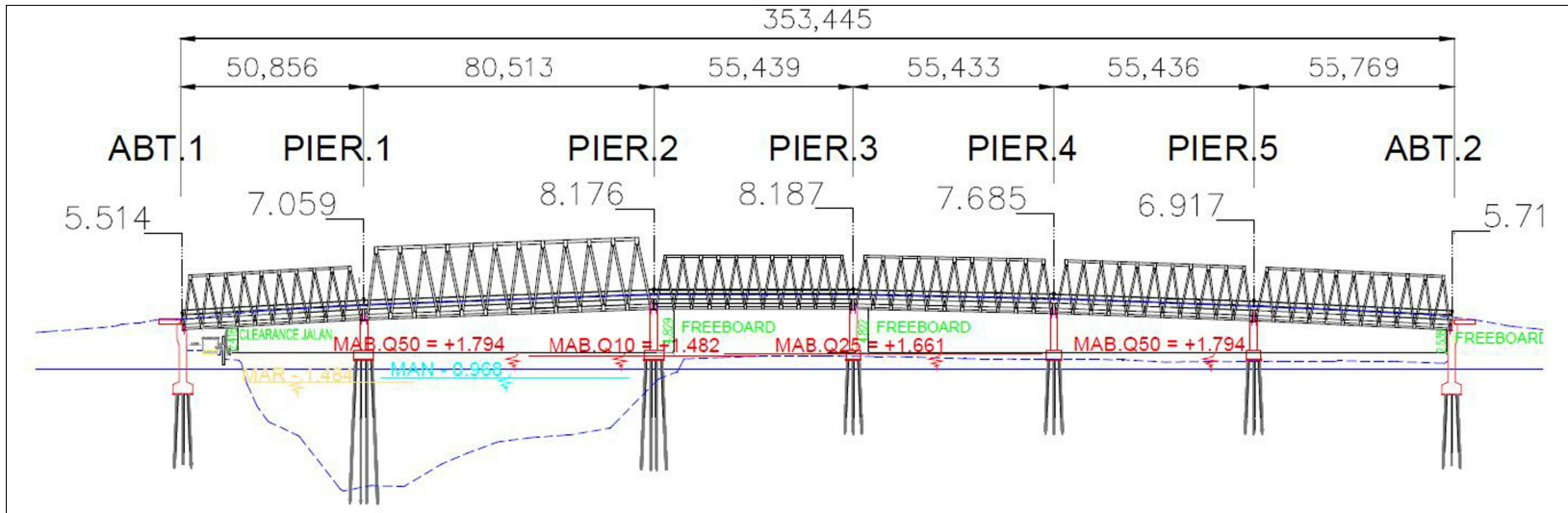
Nama Gambar

TAMPAK JEMBATAN  
(EKSISTING & MODIFIKASI)

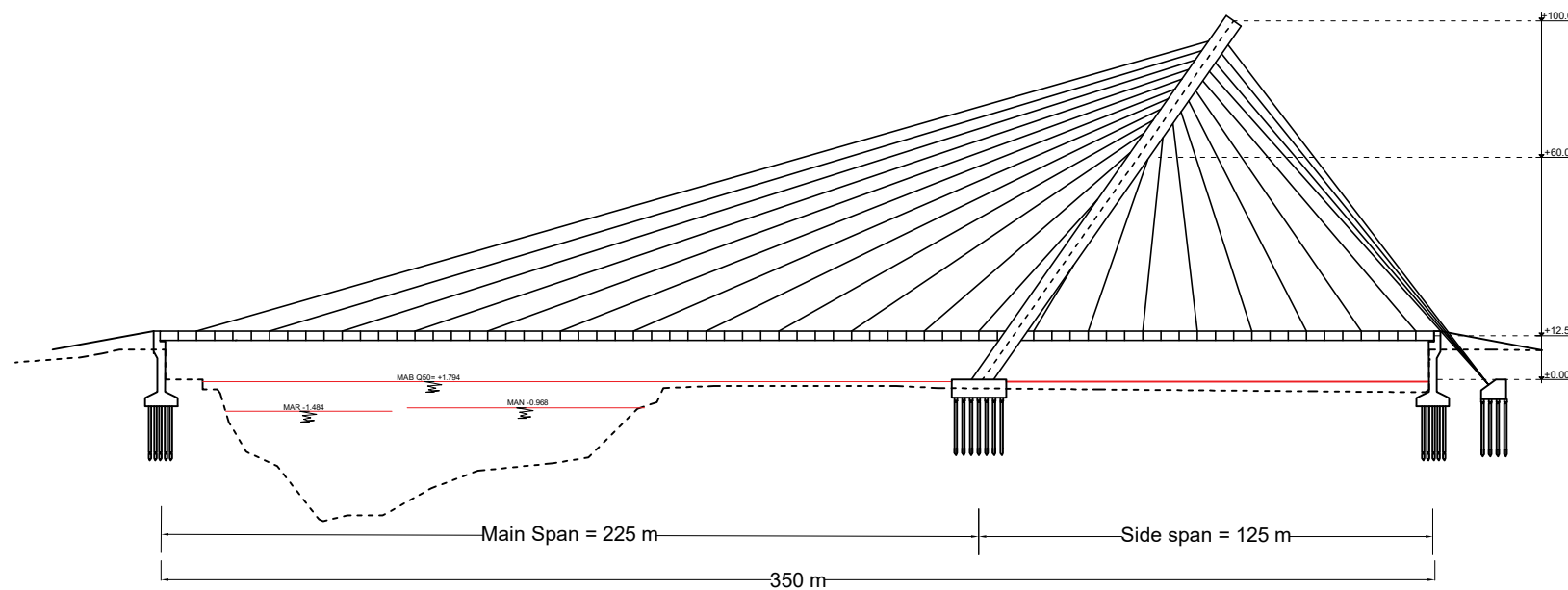
Skala

1:2000

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-2	02	16



TAMPAK MEMANJANG EKSISTING  
SCALE 1:2000



TAMPAK MEMANJANG MODIFIKASI  
SCALE 1:2000

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

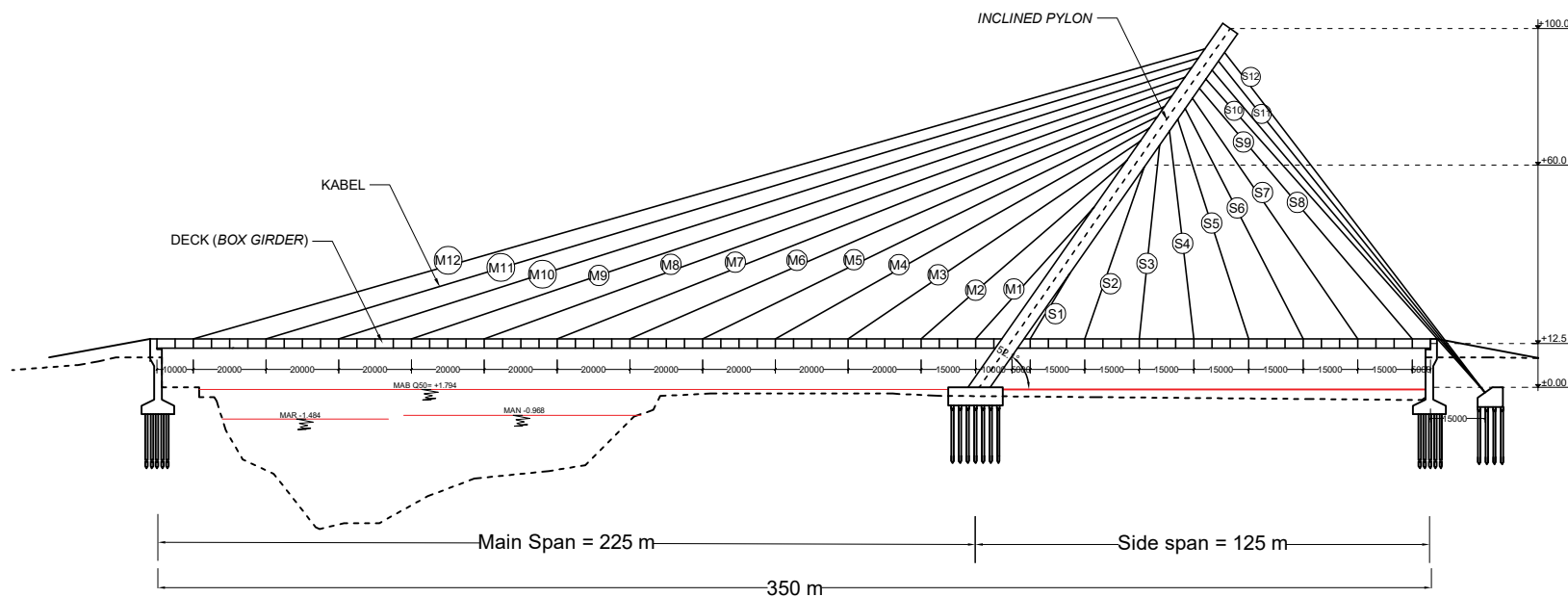
Nama Gambar

TAMPAK ATAS  
& MEMANJANG JEMBATAN

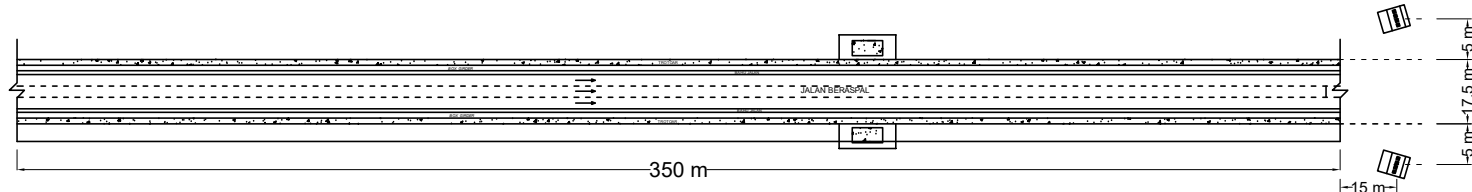
Skala

1:2000

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-3	03	16



TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN  
SCALE 1:2000



TAMPAK ATAS JEMBATAN  
SCALE 1:2000

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
 dan Kebumihan  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
 JEMBATAN SEMBAYAT I  
 MENGGUNAKAN  
 ASYMMETRIC CABLE STAYED  
 BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
 NIP. 195503251980031004  
 Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
 NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
 NRP. 0311164000002

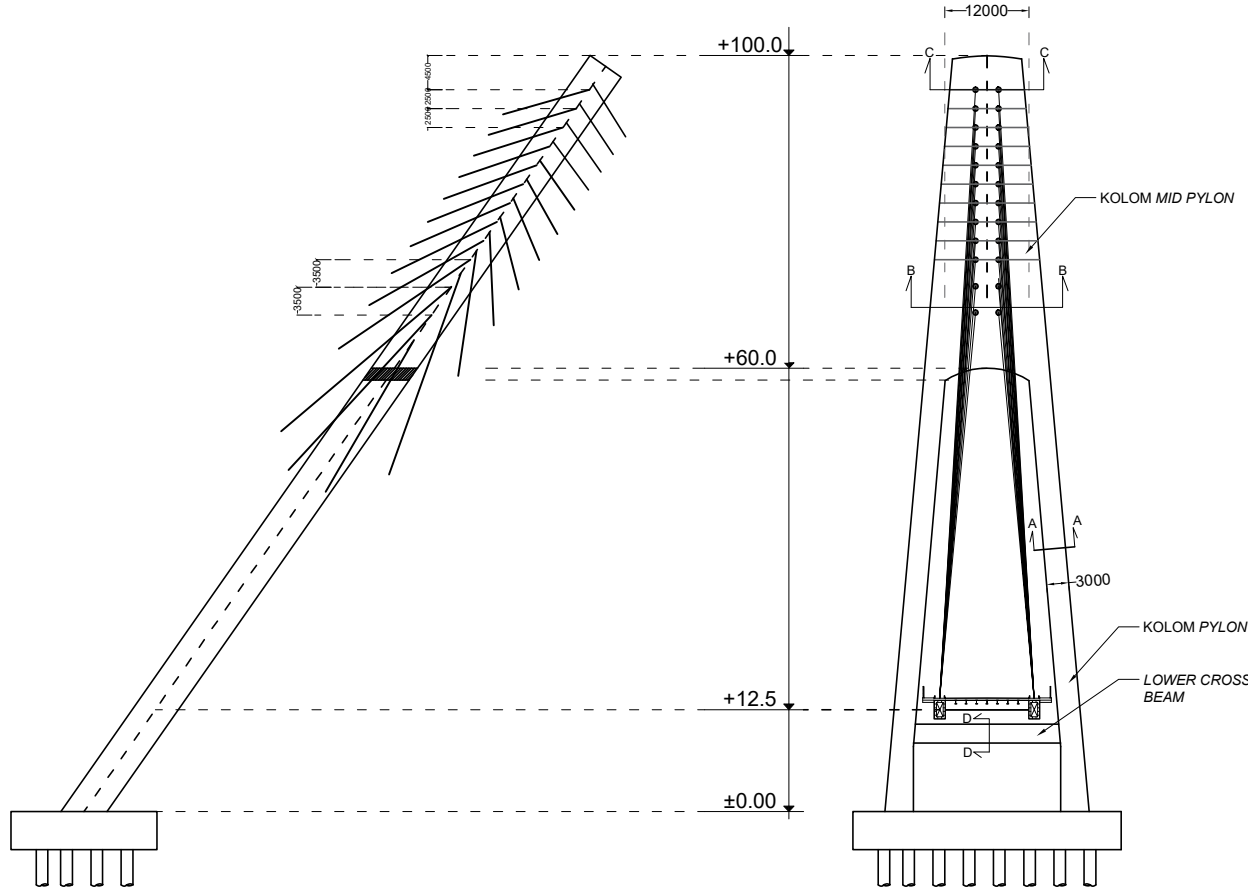
Nama Gambar

TAMPAK MELINTANG JEMBATAN

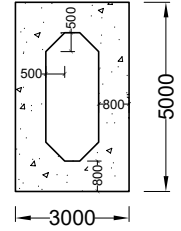
Skala

1:1000 & 1:200

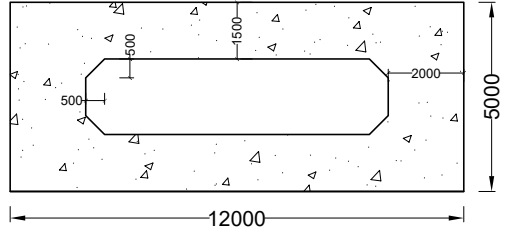
Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-4	04	16



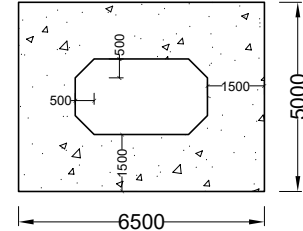
TAMPAK MELINTANG JEMBATAN  
 SCALE 1:1000



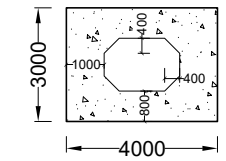
POT A-A  
 SCALE 1:200



POT B-B  
 SCALE 1:200



POT C-C  
 SCALE 1:200



POT D-D  
 SCALE 1:200

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
 dan Kebumihan  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
 JEMBATAN SEMBAYAT I  
 MENGGUNAKAN  
 ASYMMETRIC CABLE STAYED  
 BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
 NIP. 195503251980031004  
 Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
 NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
 NRP. 0311164000002

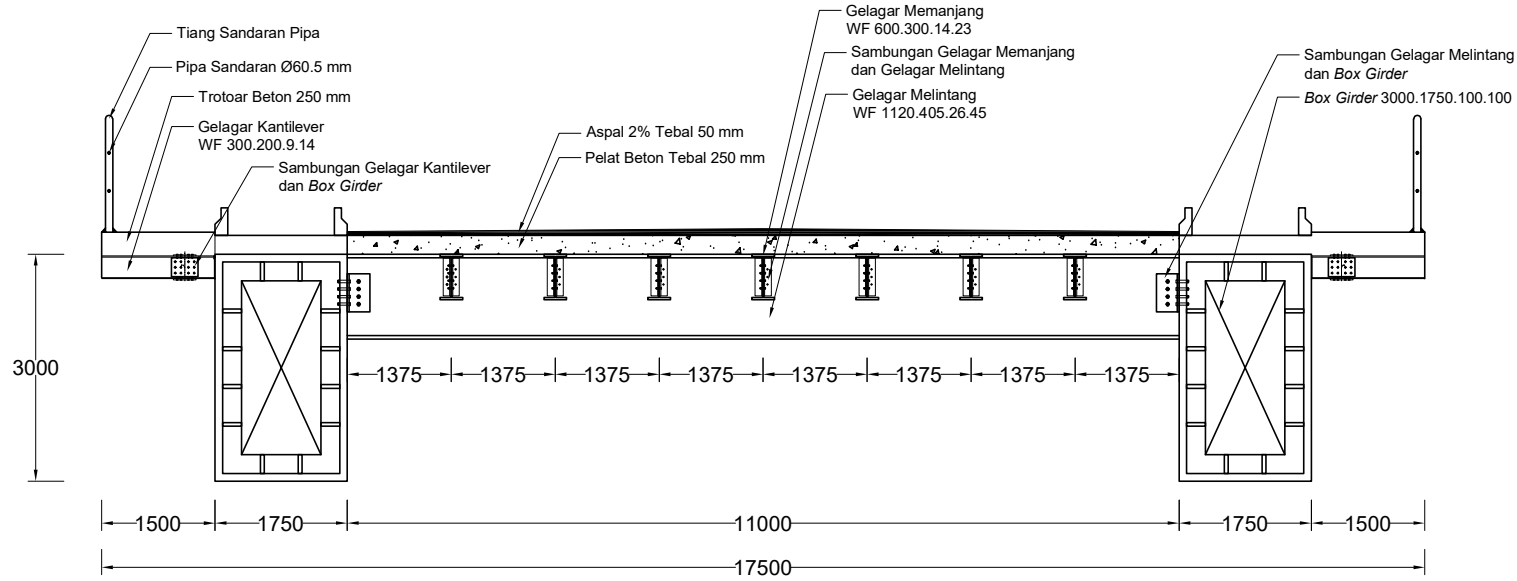
Nama Gambar

Segmen  
 Lt. Kendaraan

Skala

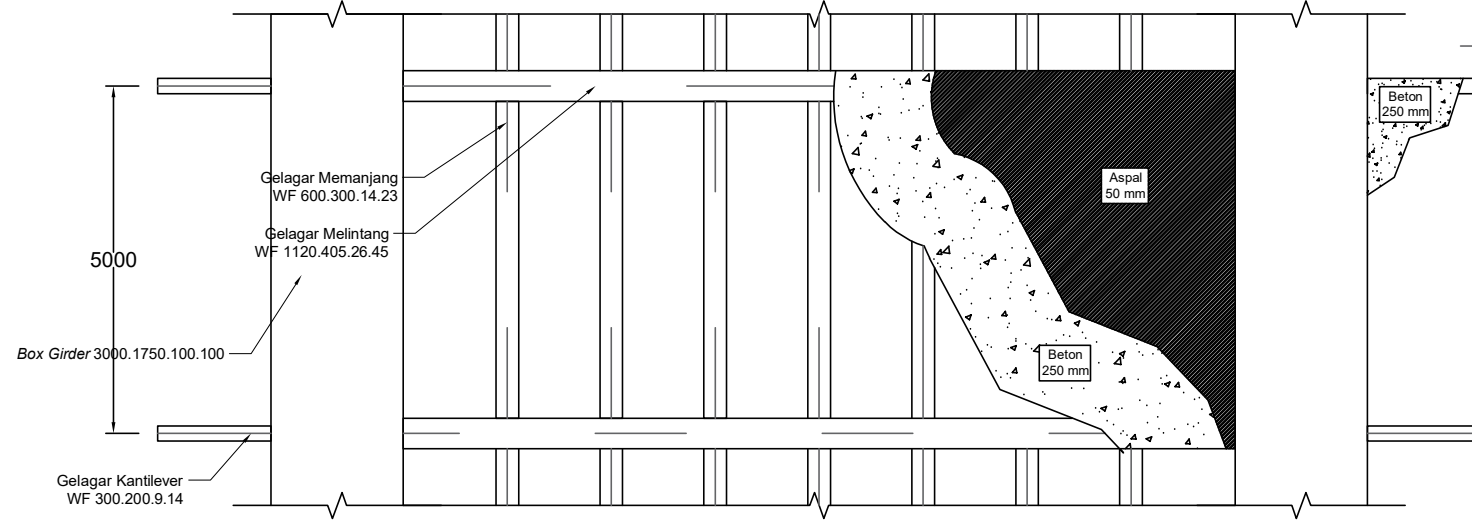
1:100

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-5	05	16



Tampak Samping Lantai Kendaraan

SCALE 1:100



Tampak Atas Lantai Kendaraan

SCALE 1:100

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

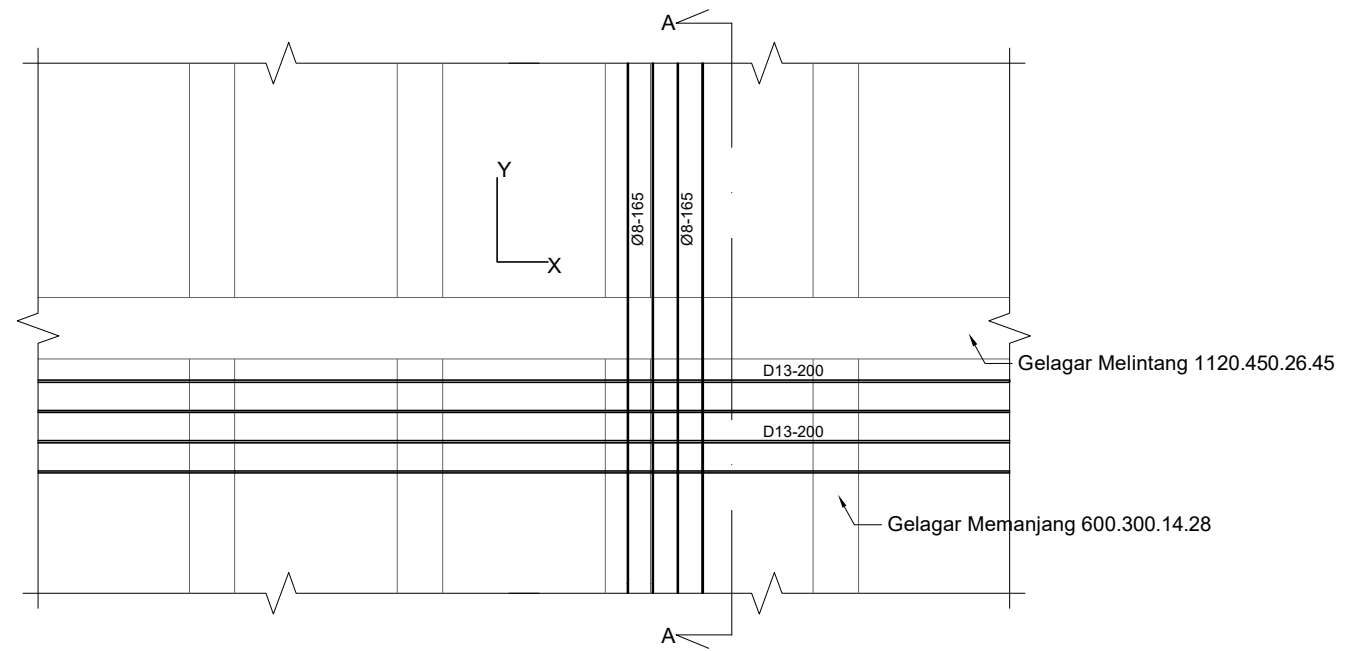
Nama Gambar

Penulangan Pelat  
Lantai Kendaraan

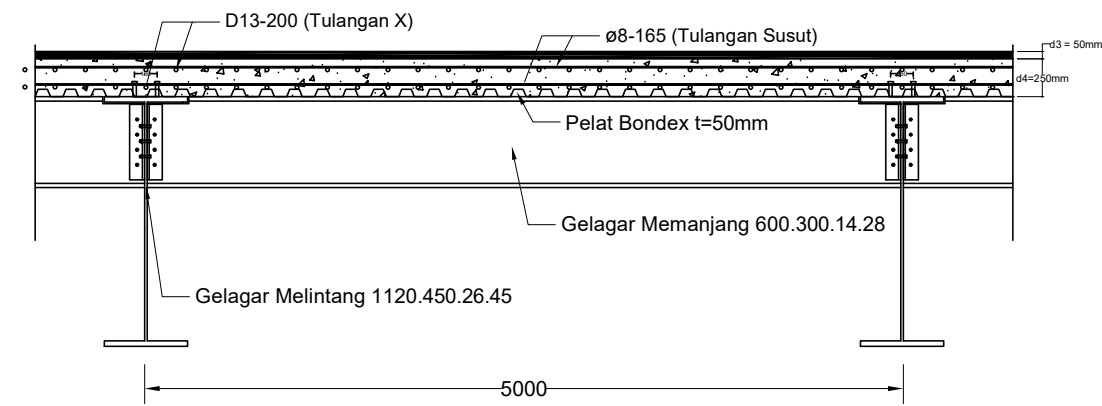
Skala

1:50

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-6	06	16



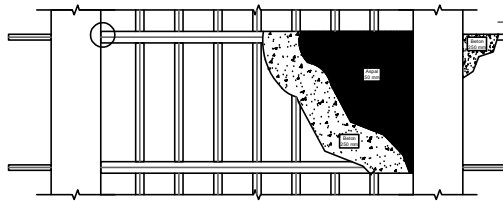
TAMPAK ATAS PENULANGAN  
SCALE 1:50



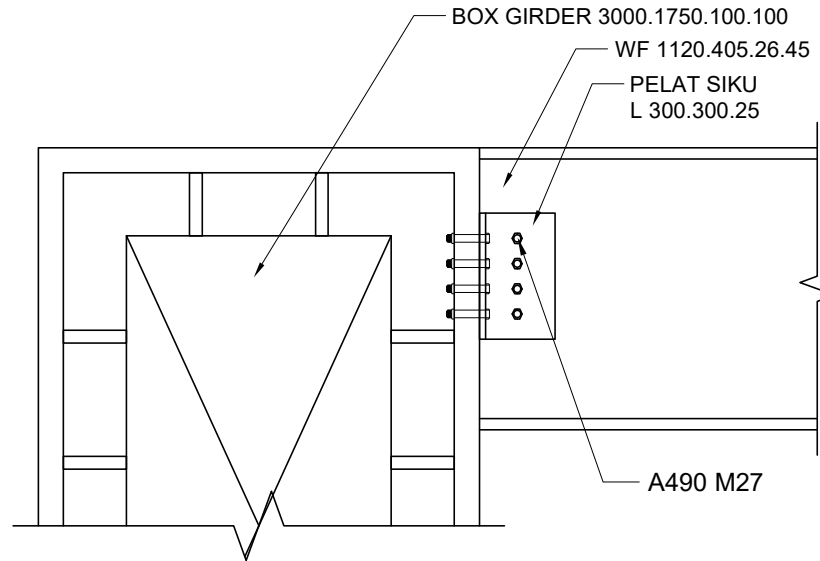
POTONGAN A-A  
SCALE 1:50

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

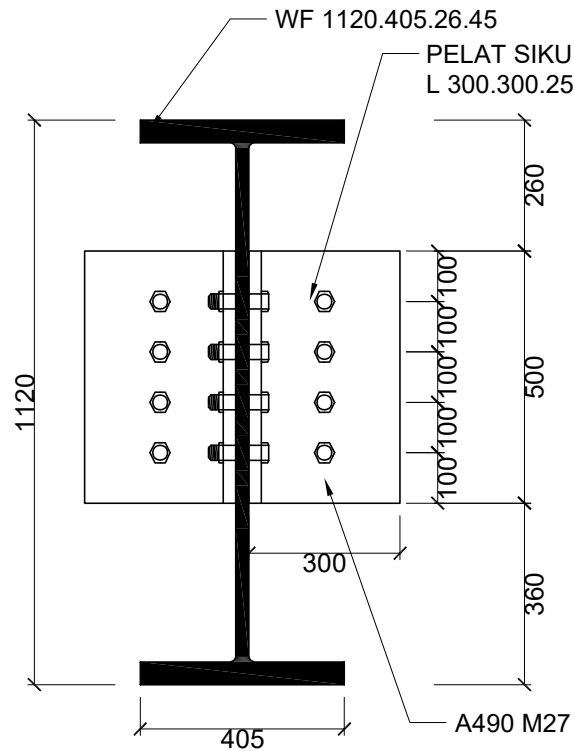


KEYPLAN



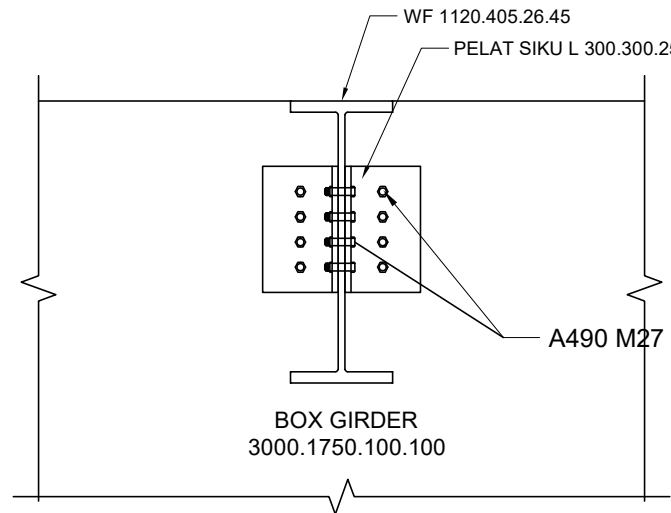
TAMPAK MELINTANG SAMBUNGAN

SCALE 1:30



DETAIL SAMBUNGAN

SCALE 1:15



TAMPAK MEMANJANG SAMBUNGAN

SCALE 1:30



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

Nama Gambar

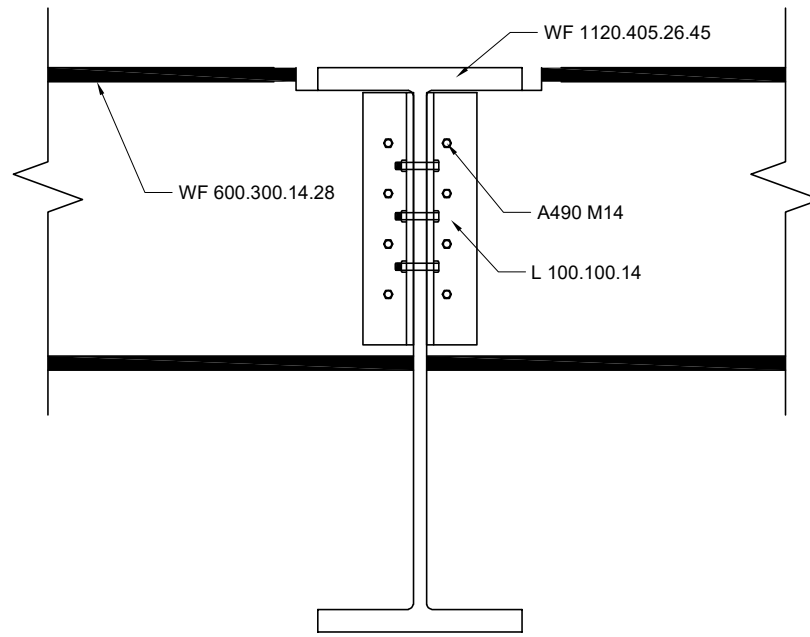
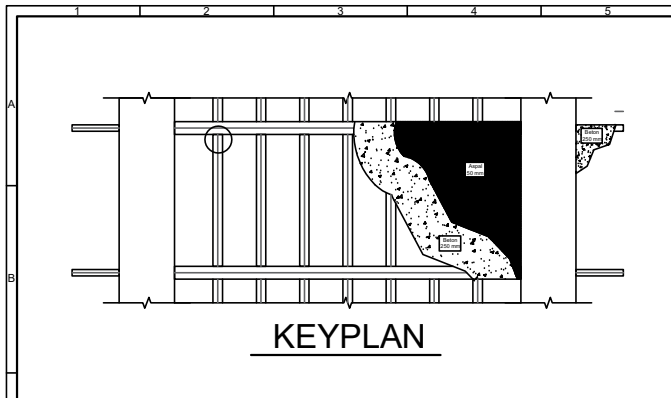
Sambungan Gelagar  
Melintang dengan  
Box Girder

Skala

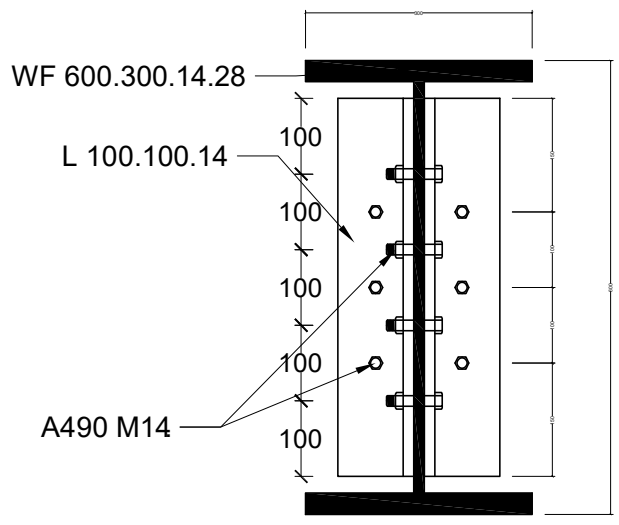
1:15 & 1:30

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-7	07	16

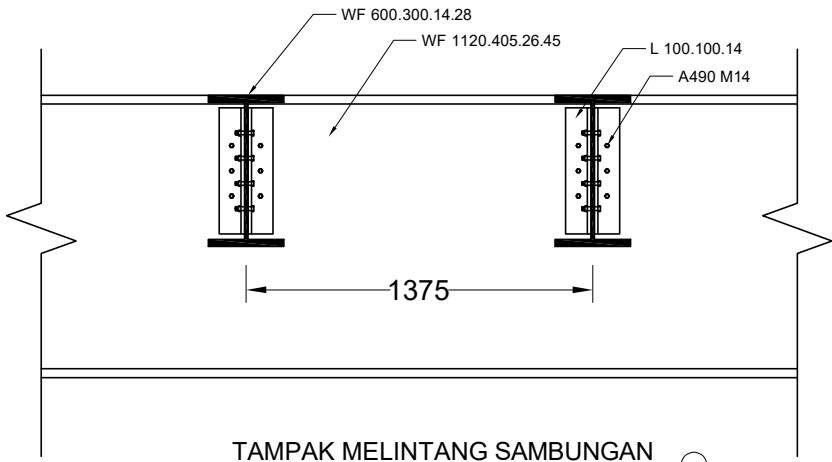




**TAMPAK MEMANJANG SAMBUNGAN**  
SCALE 1:15



**DETAIL SAMBUNGAN**  
SCALE 1:10



**TAMPAK MELINTANG SAMBUNGAN**  
SCALE 1:30



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

Nama Gambar

Sambungan Gelagar  
Melintang dengan  
Gelagar Melintang

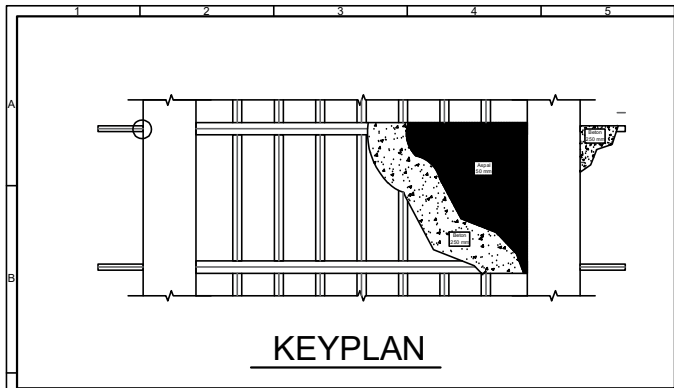
Skala

1:30, 1:15, 1:10

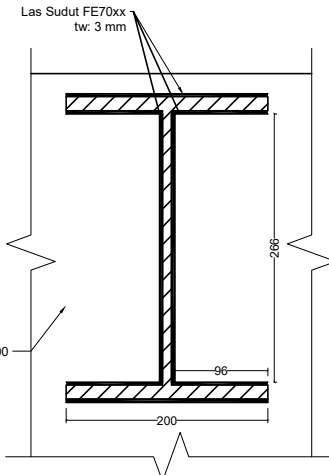
Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-8	08	16

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

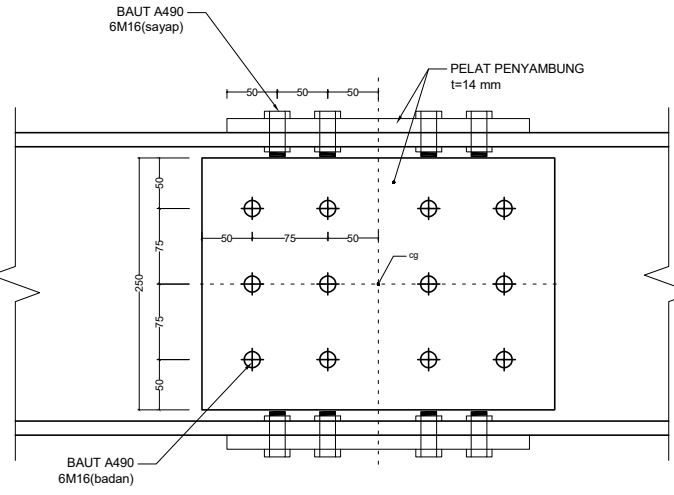
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



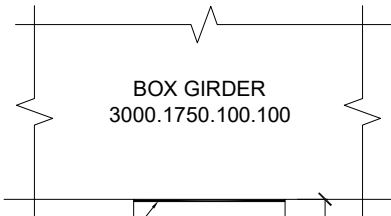
BOX GIRDER 3000.1750.100.100



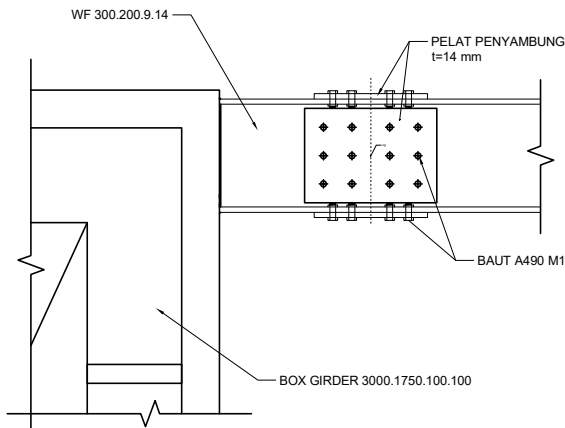
**Detail Sambungan Las**  
SCALE 1:7.5



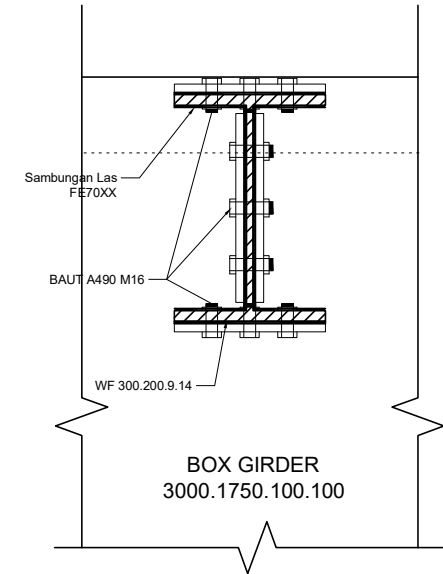
**Detail Sambungan Baut**  
SCALE 1:7.5



**TAMPAK ATAS SAMBUNGAN**  
SCALE 1:10



**TAMPAK MELINTANG SAMBUNGAN**  
SCALE 1:20



**TAMPAK MEMANJANG SAMBUNGAN**  
SCALE 1:10



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

Nama Gambar

Sambungan Gelagar  
Kantilever dengan  
Box Girder

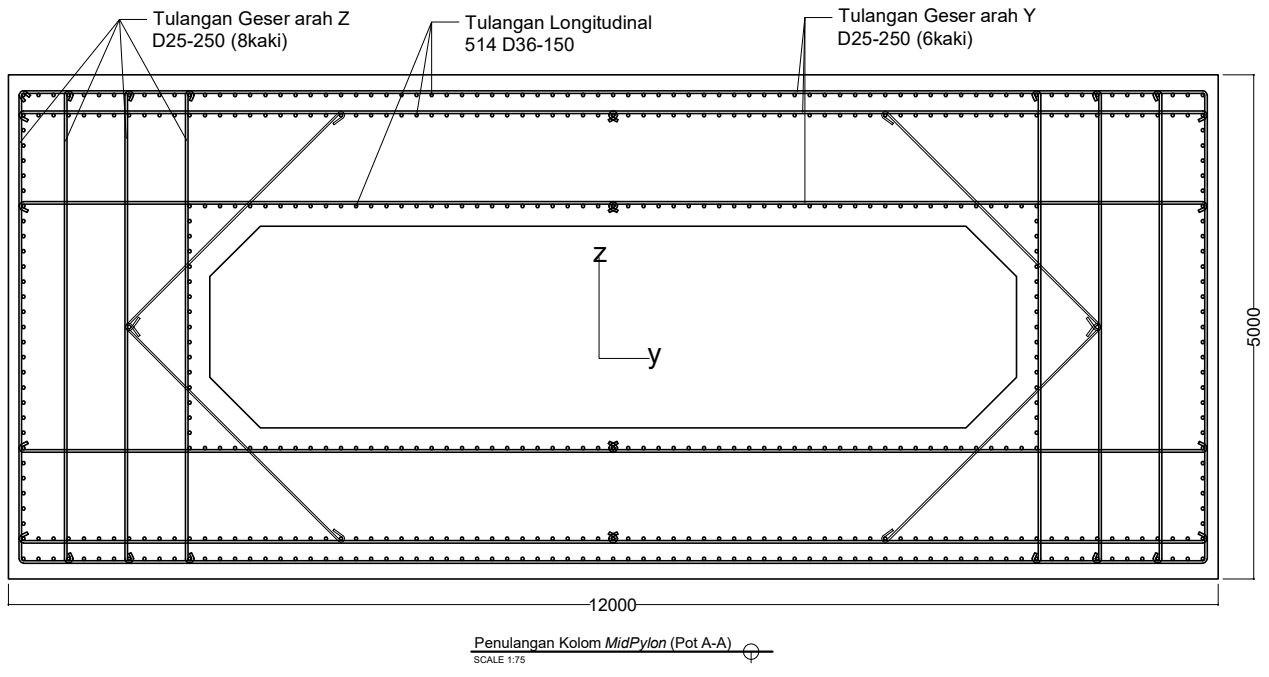
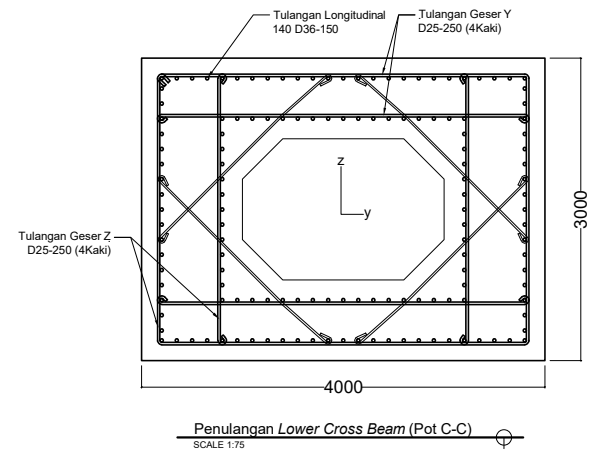
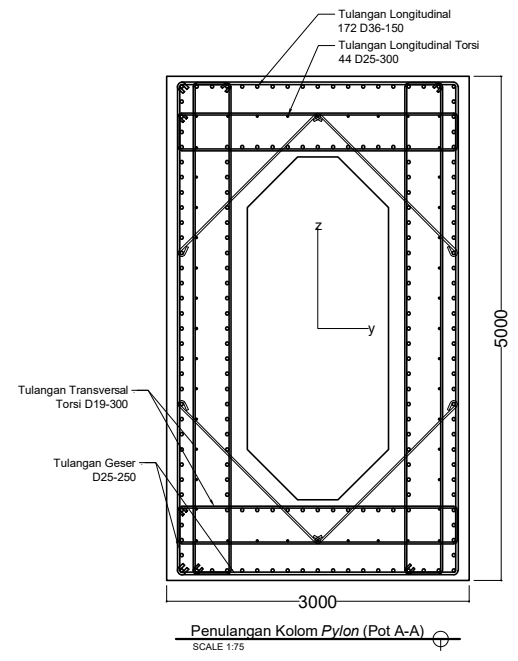
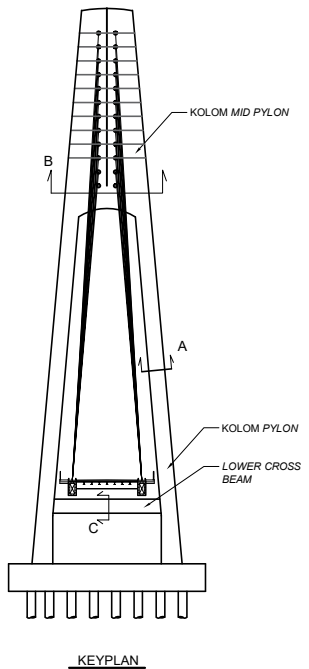
Skala

1:20, 1:10, 1:7.5

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-9	09	16

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION





Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

Nama Gambar

Penulangan  
Pylon

Skala

1 : 75

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-11	11	16



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

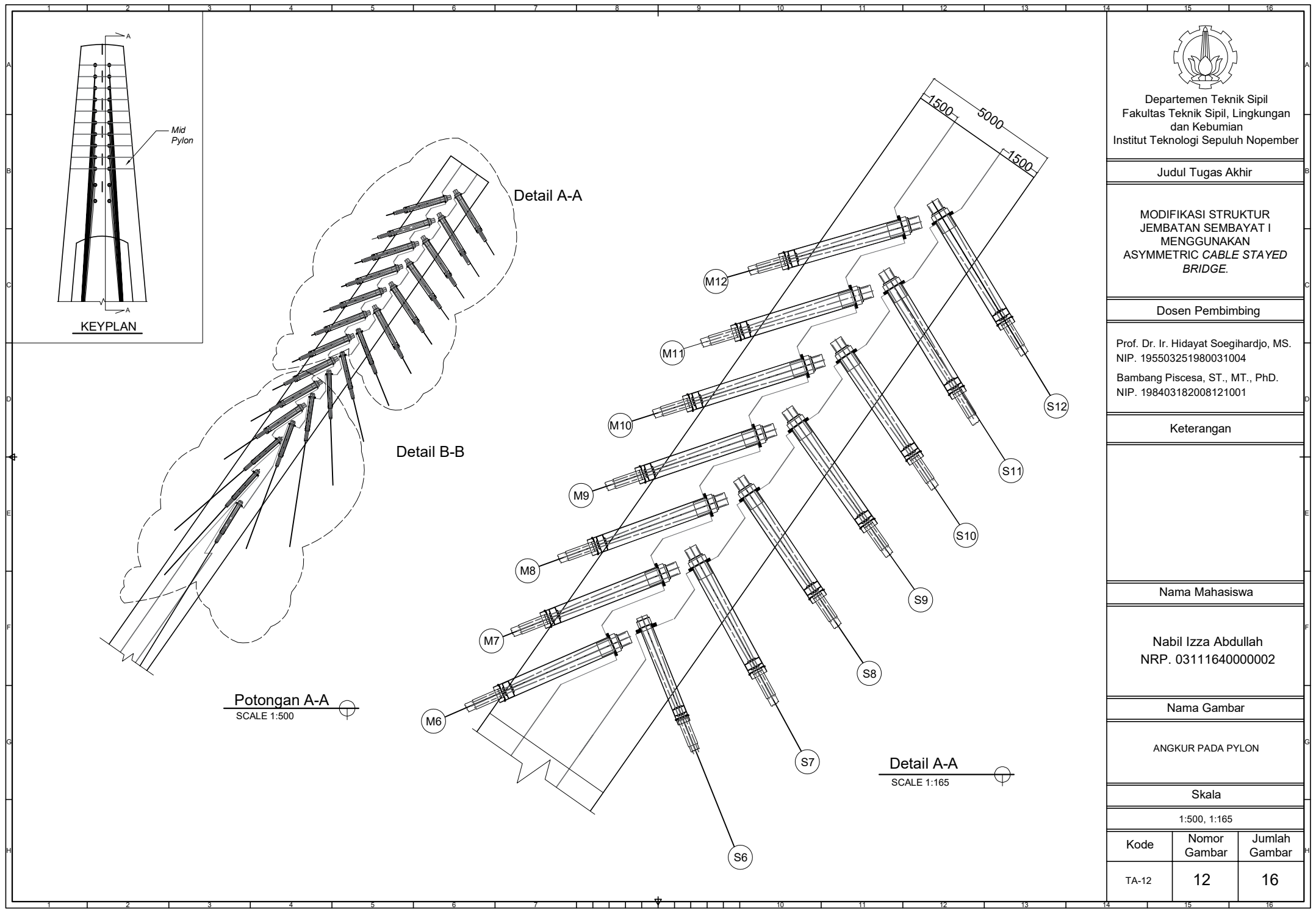
Nama Gambar

ANGKUR PADA PYLON

Skala

1:500, 1:165

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-12	12	16



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
 dan Kebumihan  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
 JEMBATAN SEMBAYAT I  
 MENGGUNAKAN  
 ASYMMETRIC CABLE STAYED  
 BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
 NIP. 195503251980031004  
 Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
 NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
 NRP. 0311164000002

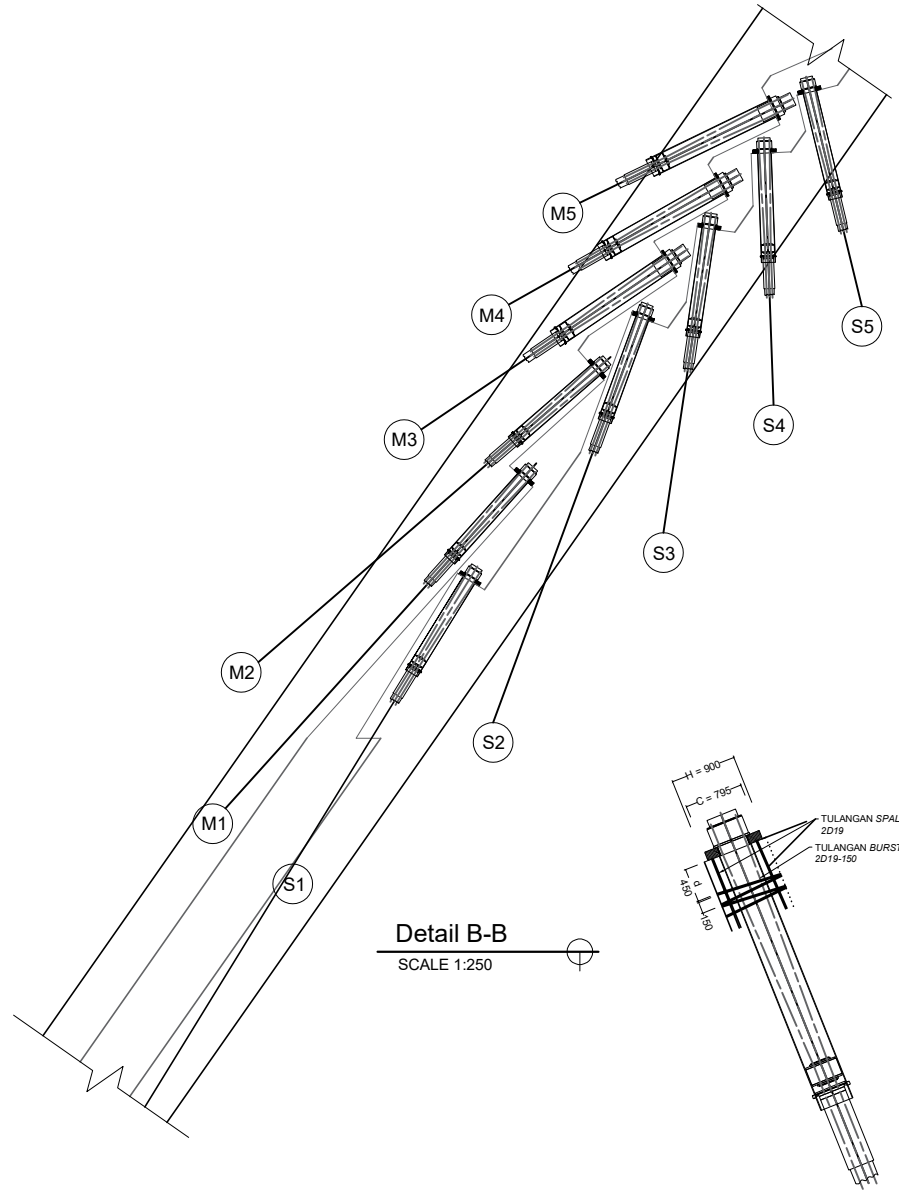
Nama Gambar

ANGKUR PADA PYLON (2)

Skala

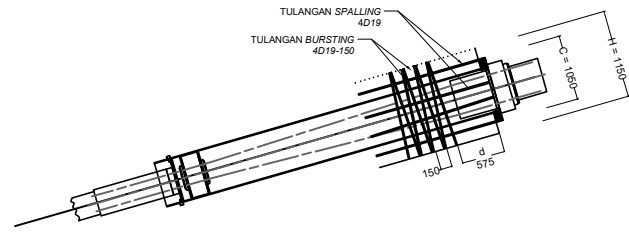
1:250, 1:100

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-13	13	16

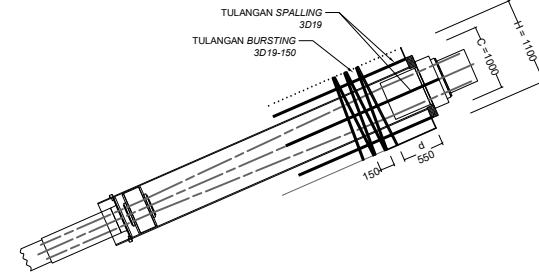


Detail B-B  
 SCALE 1:250

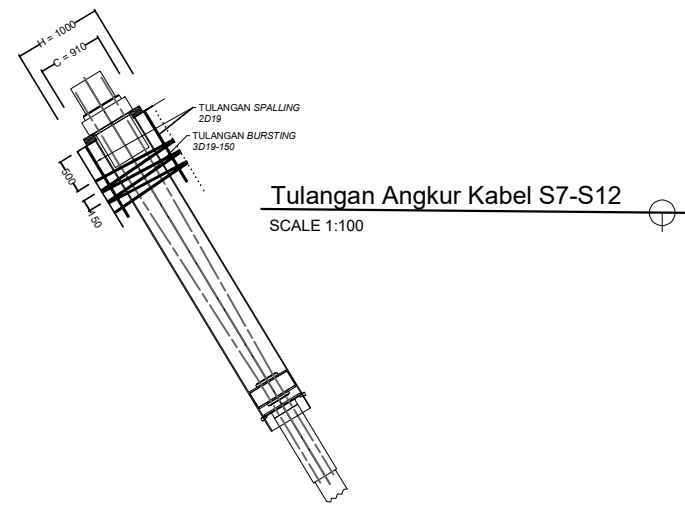
Tulangan Angkur Kabel M1,2. S1-S6  
 SCALE 1:100



Tulangan Angkur Kabel M9-M12  
 SCALE 1:100



Tulangan Angkur Kabel M3-M8  
 SCALE 1:100



Tulangan Angkur Kabel S7-S12  
 SCALE 1:100

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

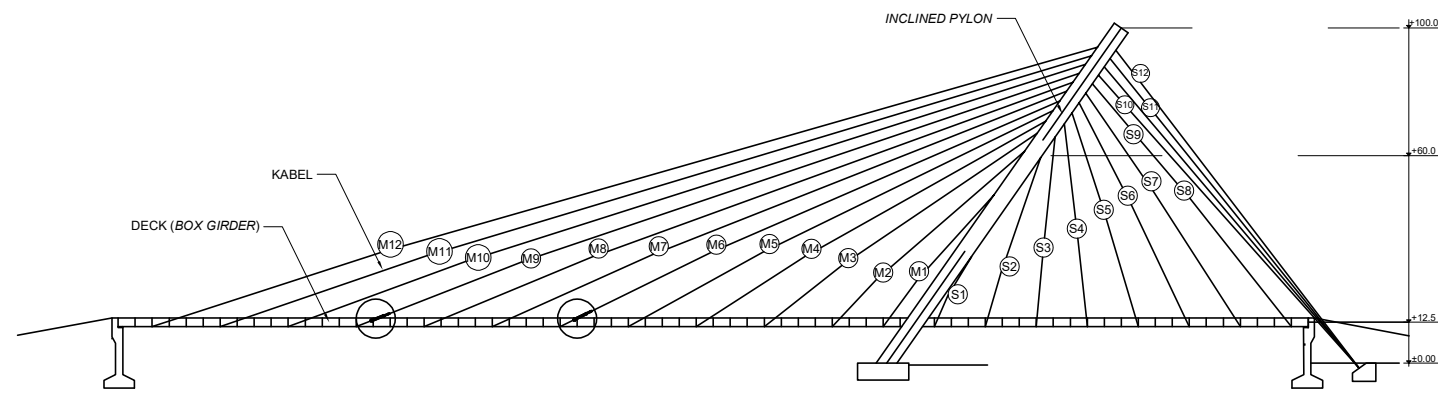
Nama Gambar

Angkur pada Box Girder

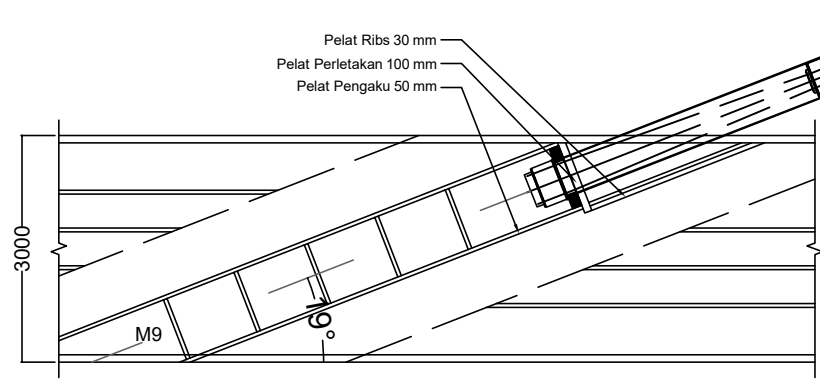
Skala

1:100, 1:65

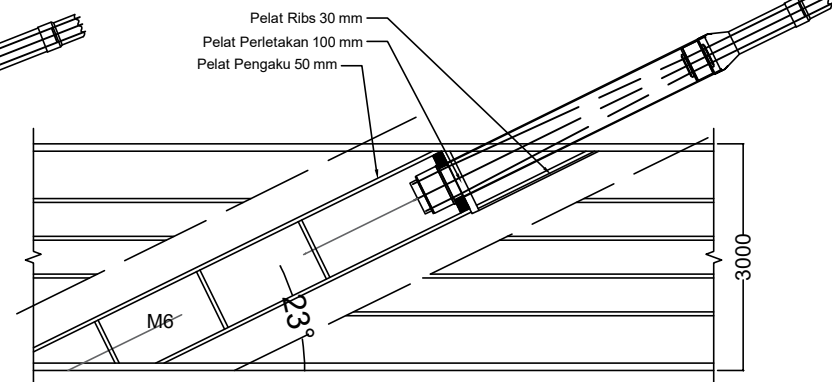
Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-14	14	16



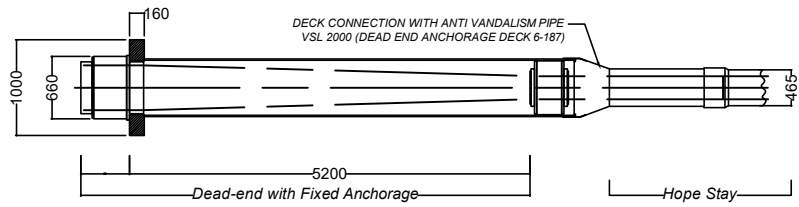
KEYPLAN



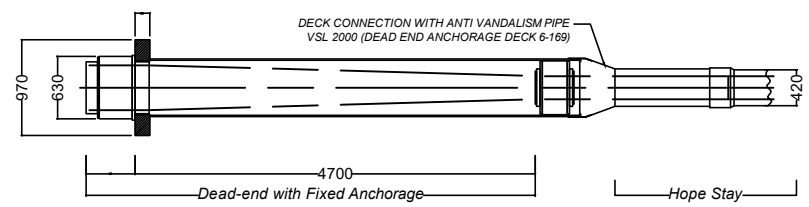
Detail Angkur M9  
SCALE 1:100



Detail Angkur M6  
SCALE 1:100



Detail Angkur-Kabel M9-M12  
SCALE 1:65



Detail Angkur-Kabel M3-M8  
SCALE 1:65

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

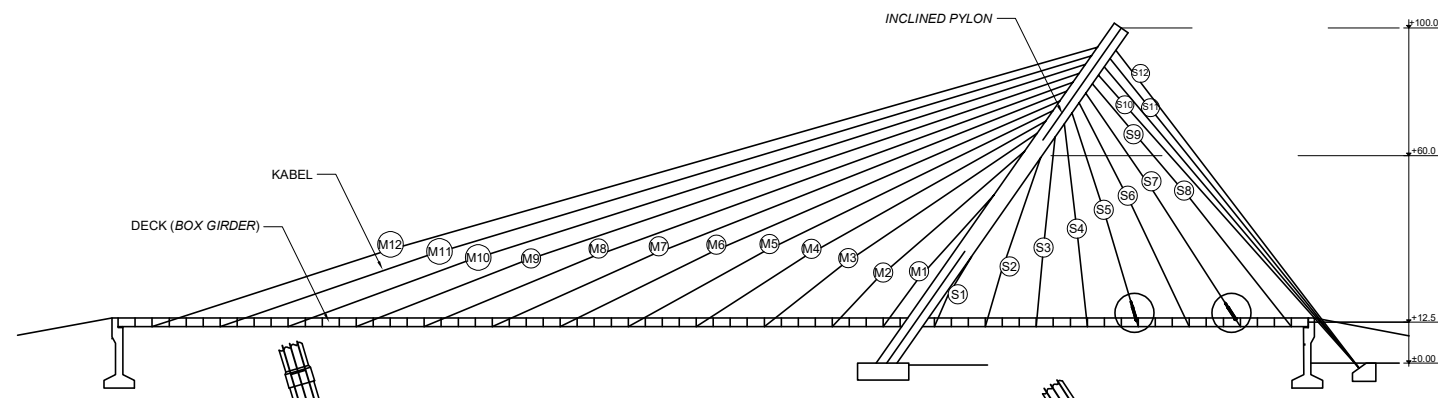
Nama Gambar

Angkur pada Box Girder (2)

Skala

1:100, 1:65

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-15	15	16

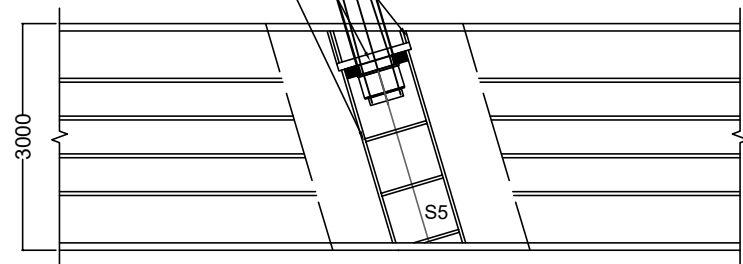


KEYPLAN

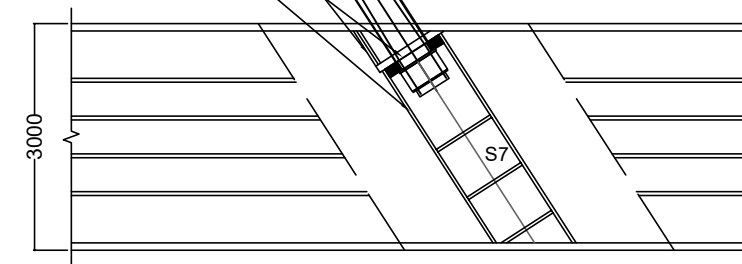
KABEL  
DECK (BOX GIRDER)

Pelat Ribs 30 mm  
Pelat Perletakan 100 mm  
Pelat Pengaku 50 mm

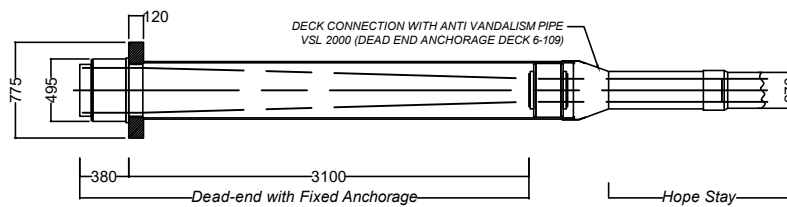
Pelat Ribs 30 mm  
Pelat Perletakan 100 mm  
Pelat Pengaku 50 mm



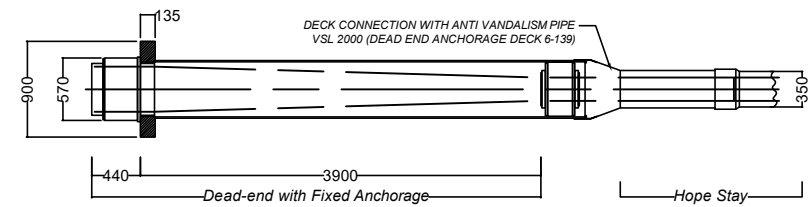
Detail Angkur S5  
SCALE 1:100



Detail Angkur S7  
SCALE 1:100



Detail Angkur-Kabel M1,2 & S1-S6  
SCALE 1:65

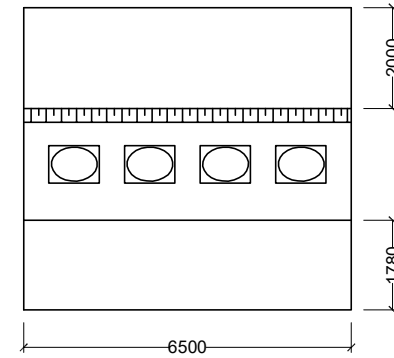
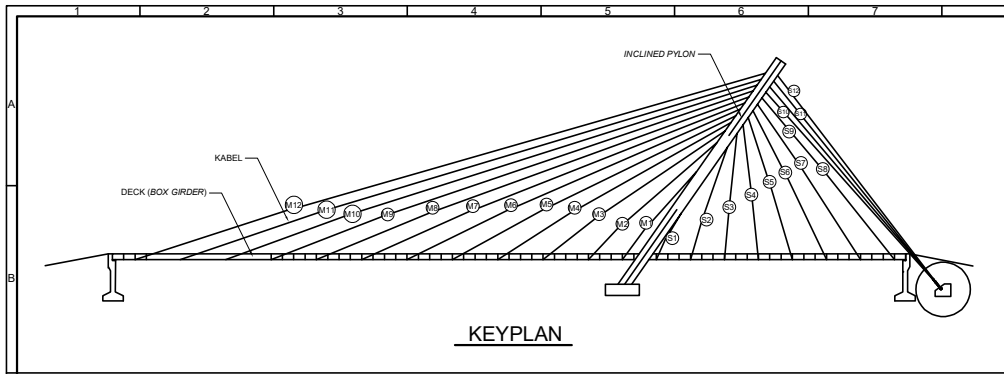


Detail Angkur-Kabel S7-S8  
SCALE 1:65

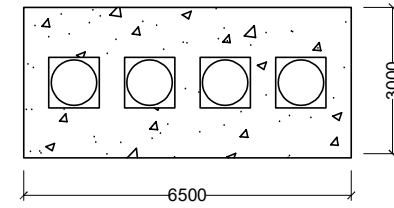
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

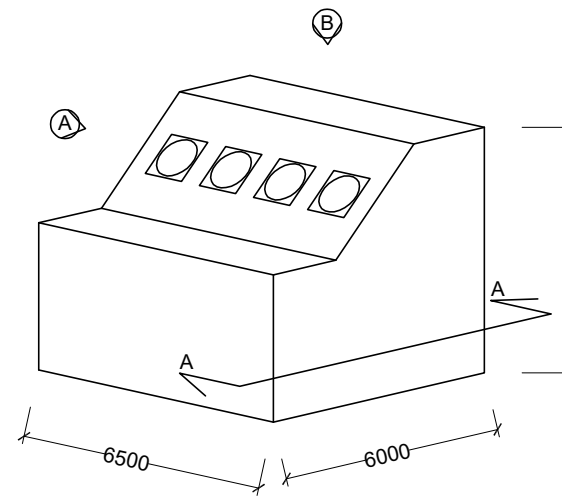
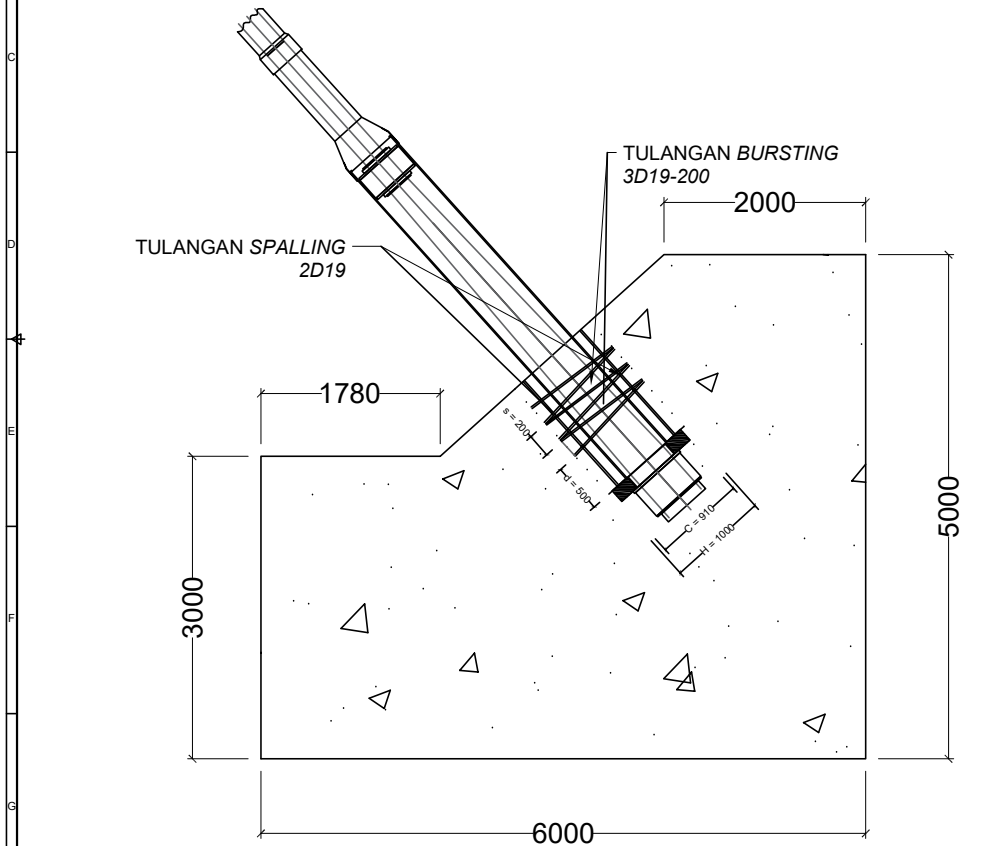




Tampak B-B  
SCALE 1:150



Tampak A-A  
SCALE 1:150



Isometri Blok Angkur  
SCALE N/A



Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan  
dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Judul Tugas Akhir

MODIFIKASI STRUKTUR  
JEMBATAN SEMBAYAT I  
MENGUNAKAN  
ASYMMETRIC CABLE STAYED  
BRIDGE.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.  
NIP. 195503251980031004  
Bambang Piscesa, ST., MT., PhD.  
NIP. 198403182008121001

Keterangan

Nama Mahasiswa

Nabil Izza Abdullah  
NRP. 0311164000002

Nama Gambar

Angkur pada Blok  
Angkur eksternal

Skala

1:150, 1:75

Kode	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
TA-16	16	16

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



**DRILLING LOG**

<b>KLIEN</b> = PT. BRANTAS ABIPRAYA	<b>TIBE BOR</b> = ROTARY DRILLING	<b>Remarks.</b> UD = Undisturb Sample CS = Core Sample SPT = SPT Test
<b>NAMA PROYEK</b> = JEMBATAN SEMBAYAT BARU II	<b>MULAI</b> = 05 Maret 2015	
<b>TITIK BOR</b> = BH-1 (STA = 0+650)	<b>SELESAI</b> = 07 Maret 2015	
<b>MUKA AIR TANAH</b> = -0.30 METER	<b>MASTER BOR</b> = OSIAS CS	
<b>LOKASI PROYEK</b> = SEMBAYAT, GRESIK		

Scale in m	Elevation (LWS) in m	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	General Remarks	UD / CS		SPT TEST		Standard Penetration Test			N - Value	
									Depth in m	Sample Code	Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm			
														15 cm	15 cm		15 cm
0.00	0.00				<b>START OF BORING</b>												
1.00	-1.00	-1.00			LEMPUNG BERLANAU	ABU-ABU TERANG											
2.00	-2.00	-2.00					MEDIUM	SPT = 6			-2.00	SPT 1	6	2	3	3	6
3.00	-3.00	-3.00									-2.50						
4.00	-4.00	-4.00									-4.00	SPT 2	2	1	1	1	2
5.00	-5.00	-5.00			LEMPUNG	ABU-ABU TERANG					-4.50						
6.00	-6.00	-6.00					SOFT	SPT 2 TO 3			-5.00	UD 01					
7.00	-7.00	-7.00									-6.00	SPT 3	3	0	1	2	3
8.00	-8.00	-8.00									-6.50						
9.00	-9.00	-9.00									-8.00	SPT 4	4	1	1	3	4
10.00	-10.00	-10.00									-8.50						
11.00	-11.00	-11.00			PASIR BERLEMPUNG	ABU-ABU TERANG					-10.00	UD 02					
12.00	-12.00	-12.00					LOOSE TO MEDIUM	SPT 5 TO 14			-10.50						
13.00	-13.00	-13.00									-12.00	SPT 6	14	3	6	8	14
14.00	-14.00	-14.00									-12.50						
15.00	-15.00	-15.00			PASIR BERLANAU	ABU-ABU TERANG					-14.00	SPT 7	15	4	6	9	15
16.00	-16.00	-16.00									-14.50						
17.00	-17.00	-17.00									-15.00	UD 03					
18.00	-18.00	-18.00									-15.50	SPT 8	12	3	5	7	12
19.00	-19.00	-19.00									-16.00						
20.00	-20.00	-20.00									-16.50						
21.00	-21.00	-21.00									-18.00	SPT 9	16	4	6	10	16
22.00	-22.00	-22.00									-18.50						
23.00	-23.00	-23.00									-20.00	SPT 10	14	3	6	8	14
24.00	-24.00	-24.00									-20.50	UD 04					
25.00	-25.00	-25.00									-22.00	SPT 11	14	4	6	8	14
26.00	-26.00	-26.00									-22.50						
27.00	-27.00	-27.00									-24.00	SPT 12	16	5	7	9	16
28.00	-28.00	-28.00									-24.50						
29.00	-29.00	-29.00			LEMPUNG	ABU-ABU					-25.00	UD 05					
											-25.50						
											-26.00	SPT 13	14	5	6	8	14
											-26.50						
											-28.00	SPT 14	16	5	7	9	16
											-28.50						



DRILLING LOG

<b>KLIEN</b> = PT. BRANTAS ABIPRAYA <b>NAMA PROYEK</b> = JEMBATAN SEMBAYAT BARU II <b>TITIK BOR</b> = BH-1 (STA = 0+650) <b>MUKA AIR TANAH</b> = -0.30 METER <b>LOKASI PROYEK</b> = SEMBAYAT, GRESIK	<b>TIBE BOR</b> = ROTARY DRILLING <b>MULAI</b> = 05 Maret 2015 <b>SELESAI</b> = 07 Maret 2015 <b>MASTER BOR</b> = OSIAS CS	<b>Remarks.</b> UD = Undisturb Sample CS = Core Sample SPT = SPT Test
--	---	--

Scale in m	Elevation (LWS) in m	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	General Remarks	UD / CS		SPT TEST		Standard Penetration Test			N - Value		
									Depth in m	Sample Code	Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm				
														15 cm	15 cm		15 cm	
30.00	-30.00	-30.00					VERY STIFF	SPT 16 TO 19	-30.00	UD 06	-30.00	SPT 15	17	4	7	10	17	
31.00	-31.00	-31.00							-30.50		-30.50							17
32.00	-32.00	-32.00									-32.00	SPT 16	19	6	8	11		17
33.00	-33.00	-33.00					VERY STIFF	SPT 19 TO 20			-32.50							
34.00	-34.00	-34.00									-34.00	SPT 17	20	5	8	12		20
35.00	-35.00	-35.00									-34.50							
36.00	-36.00	-36.00					VERY STIFF	SPT = 16	-35.00	UD 07	-35.00							
37.00	-37.00	-37.00									-36.00	SPT 18	16	5	7	9		16
38.00	-38.00	-38.00					HARD	SPT > 50			-36.50							
39.00	-39.00	-39.00			PARAS BATU	ABU-ABU TERANG	VERY DENSE	SPT > 50			-38.00	SPT 19	>50	15/9 CM				50
40.00	-40.00	-40.00									-38.50							
41.00	-41.00	-41.00			BATU BERONGGA	ABU-ABU TERANG	VERY DENSE	SPT > 50	-40.00	UD 08	-40.00	SPT 20	>50	20/15 CM				50
42.00	-42.00	-42.00							-40.50		-40.50							
43.00	-43.00	-43.00									-42.00	SPT 21	>50	14/5 CM				50
44.00	-44.00	-44.00									-42.50							
45.00	-45.00	-45.00			PARAS BATU	ABU-ABU TERANG	VERY DENSE	SPT > 50			-44.00	SPT 22	>50	17	16/10 CM			50
46.00	-46.00	-46.00							-44.50	UD 09	-44.50							
47.00	-47.00	-47.00									-46.00	SPT 23	>50	16	15/10 CM		9	50
48.00	-48.00	-48.00									-46.50							
49.00	-49.00	-49.00									-48.00	SPT 24	>50	0/10 CM				50
50.00	-50.00	-50.00							-48.50		-48.50							
51.00	-51.00	-51.00			LIMESTONE	ABU-ABU TERANG	VERY DENSE	SPT > 50			-50.00	SPT 25	>50	8/5 CM				50
52.00	-52.00	-52.00							-50.50	UD 10	-50.50							
53.00	-53.00	-53.00									-52.00	SPT 26	>50	7/5 CM				50
54.00	-54.00	-54.00									-52.50							
									-55.00		-54.00	SPT 27	>50	7	5/1 CM			50
									-55.50	UD 11	-55.50							

END OF BORING



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - ITS**

Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya  
 Telp. 031 5994251 - 55 Psw. 1140,  
 Telp/Fax: 031 5928601, e-mail: tanah.its@gmail.com

**REKAP HASIL TEST LABORATORIUM**

**KLIEN : PT. BRANTAS ABIPRAYA**  
**PROYEK : PEMBANGUNAN JEMBATAN**  
**LOKASI : JEMBATAN SEMBAYAT**

**TITIK BOR : BH-1**  
**MASTER BOR : OSIAS TENIS**

DEPTH (Meter)	VOLUMETRIC + GRAVIMETRIC								CONSOLIDATION		
	Gs	e	Sr	Wc	n	$\gamma_t$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	Pp	Cc	Cv
-5.00	2.615	1.516	100.00	57.97	60.25	1.642	1.039	1.642	1.08	0.85	8.80E-04
-10.00	2.637	1.273	100.00	48.27	56.01	1.720	1.160	1.720	1.02	0.64	6.80E-04
-15.00	2.644	1.203	100.00	45.50	54.61	1.746	1.200	1.746	*	*	*

DEPTH (Meter)	SIEVE ANALYSIS			ATTERBERG LIMITS			DIRECT TEST		Unconfined test		TRIAXIAL CD		VANE TEST		k (cm/sec)
	G	S	S+Cl	LL	PL	IP	C	$\phi$	C <sub>u</sub>	$\phi_u$	C <sub>d</sub>	$\phi_d$	Su	Cu	
-5.00	0.00	12.04	87.96	63.78	30.92	32.86	*	*	0.16	0	*	*	*	*	*
-10.00	0.00	21.38	78.62	55.17	29.18	25.99	*	*	0.23	0	*	*	*	*	*
-15.00	0.00	78.14	21.86	42.35	26.37	15.98	0.025	35	*	*	*	*	*	*	*

<b>REMARK</b>	G	= Gravel (%)	LL	= Liquid Limit (%)	C	= Cohesion of direct shear (kg/cm <sup>2</sup> )
	S	= Sand (%)	PL	= Plastic Limit (%)	C <sub>d</sub>	= Drained cohesion triaxial test(kg/cm <sup>2</sup> )
	S + Cl	= Silt + Clay (%)	IP	= Plastic Index (%)	C <sub>u</sub>	= Undrained cohesion (kg/cm <sup>2</sup> )
	e	= Void ratio	Cc	= Compression Index	Su	= Strength of vane test (kg/cm <sup>2</sup> )
	Gs	= Specific Gravity	Cv	= Compression of Consolidation (cm <sup>2</sup> /det)	$\phi$	= Angle of internal friction direct shear test (degree)
	n	= Porosity (%)	Pp	= Preconsolidation Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_d$	= Angle of internal friction drained triaxial test (degree)
	Sr	= Degree of saturation (%)	*	= Not test	$\phi_u$	= Angle of internal friction undrained triaxial test (degree)
	W <sub>c</sub>	= Water content (%)	k	= Coefficient of permeability (cm/sec)		
	$\gamma_t$	= Moisture density (gr/cc)				
	$\gamma_{sat}$	= Saturated density (gr/cc)				
	$\gamma_d$	= Dry density (gr/cc)				



**ATLAS SPECIALTY METALS**  
**Technical Services Department**

freecall (Australia) 1800 818 599  
freecall (NZ) 0508 METALS  
e-mail tech@atlasmetals.com.au

## **Pressure Rating Tables for Carbon Steel Pipe**

### ***Notes to the tables of allowable working pressures.***

#### **Notes**

1. This data is intended to provide a general guide. It must not be relied upon in the absence of competent professional advice.
2. These allowable internal pipe pressures were calculated by the formula given in ASME B31.3-2002 "Process Piping", clause 304.1.2. Other design codes may give different allowable pressures. The original specifications must be consulted for full details.
3. Pipe with Wall Thickness greater than one-sixth of Outside Diameter is not included in this table. For pressure design of this heavy wall pipe consult the standard.
4. Calculations are for Grade B seamless pipe to specifications ASTM A53M, ASTM A106M or API5L. A weld joint efficiency factor (typically 85%) must be allowed for standard ERW pipe, and allowance made for corrosion or wear loss if appropriate.
5. Conversion of carbides to graphite may occur after prolonged exposure of carbon steel pipe to temperatures above 427°C.
6. Allowable working pressures are given in megapascals (MPa). Conversions to other units are:

<b>to convert</b>	<b>to</b>	<b>multiply by</b>
megapascals (MPa)	pounds/sq. inch (psi)	145.0
megapascals (MPa)	ksi	0.145
megapascals (MPa)	kilopascals (kPa)	1000
megapascals (MPa)	kilograms/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	0.10197
megapascals (MPa)	bar	10.00

#### **LIMITATION OF LIABILITY**

*The information contained in this Atlas Specialty Metals series of tables is not an exhaustive statement of all relevant information. It is a general guide for customers to the products and services available from Atlas Specialty Metals and no representation is made or warranty given in relation to this information or the products or processes it describes.*

Revised: PJM, 15/02/2010

## CARBON STEEL GRADE B PIPES - ASTM A53M, A106M, API 5L, Seamless

Maximum Allowable Operating Pressure (MPa)												
Nominal Size (DN) (NPS)		Outside Diameter (mm)	Schedule		Wall Thickness (mm)	Temperature (°C)						
						-29 to +38	204	260	343	371	399	427
Maximum Allowable Stress (MPa)												
15	½	21.3	STD	40	2.77	34.5	34.5	32.6	29.3	28.5	22.4	18.6
20	¾	26.7	STD	40	2.87	28.1	28.1	26.5	23.8	23.1	18.2	15.1
			XS	80	3.91	39.4	39.4	37.2	33.5	32.5	25.6	21.3
25	1	33.4	STD	40	3.38	26.3	26.3	24.8	22.3	21.7	17.1	14.2
			XS	80	4.55	36.3	36.3	34.3	30.9	30.0	23.6	19.6
32	1¼	42.2	STD	40	3.56	21.6	21.6	20.4	18.4	17.8	14.1	11.7
			XS	80	4.85	30.2	30.2	28.5	25.6	24.9	19.6	16.3
				160	6.35	40.6	40.6	38.4	34.5	33.5	26.4	21.9
40	1½	48.3	STD	40	3.68	19.4	19.4	18.4	16.5	16.0	12.6	10.5
			XS	80	5.08	27.4	27.4	25.9	23.3	22.6	17.8	14.8
				160	7.14	39.8	39.8	37.6	33.8	32.8	25.9	21.5
50	2	60.3	STD	40	3.91	16.4	16.4	15.5	13.9	13.5	10.7	8.9
			XS	80	5.54	23.7	23.7	22.4	20.1	19.5	15.4	12.8
				160	8.74	38.9	38.9	36.8	33.1	32.1	25.3	21.0
65	2½	73.0	STD	40	5.16	17.9	17.9	17.0	15.3	14.8	11.7	9.7
			XS	80	7.01	24.8	24.8	23.5	21.1	20.5	16.1	13.4
				160	9.53	34.7	34.7	32.8	29.5	28.6	22.5	18.7
80	3	88.9	STD	40	5.49	15.6	15.6	14.7	13.2	12.8	10.1	8.4
			XS	80	7.62	22.0	22.0	20.8	18.7	18.2	14.3	11.9
				160	11.13	33.1	33.1	31.3	28.1	27.3	21.5	17.9
100	4	114.3	STD	40	6.02	13.2	13.2	12.5	11.2	10.9	8.6	7.1
			XS	80	8.56	19.1	19.1	18.0	16.2	15.7	12.4	10.3
				120	11.13	25.2	25.2	23.8	21.4	20.8	16.4	13.6
				160	13.49	31.0	31.0	29.3	26.4	25.6	20.2	16.8
			XXS		17.12	40.4	40.4	38.2	34.3	33.3	26.2	21.8
125	5	141.3	STD	40	6.55	11.6	11.6	10.9	9.8	9.5	7.5	6.2
			XS	80	9.53	17.1	17.1	16.1	14.5	14.1	11.1	9.2
				120	12.7	23.1	23.1	21.9	19.7	19.1	15.0	12.5
				160	15.88	29.4	29.4	27.8	25.0	24.3	19.1	15.9
			XXS		19.05	35.9	35.9	33.9	30.5	29.6	23.4	19.4
150	6	168.3	STD	40	7.11	10.5	10.5	9.9	8.9	8.7	6.8	5.7
			XS	80	10.97	16.5	16.5	15.6	14.0	13.6	10.7	8.9
				120	14.27	21.8	21.8	20.6	18.5	17.9	14.1	11.7
			XXS	160	18.26	28.3	28.3	26.8	24.1	23.4	18.4	15.3
200	8	219.1		20	6.35	7.1	7.1	6.7	6.1	5.9	4.6	3.9
				30	7.04	7.9	7.9	7.5	6.7	6.5	5.2	4.3
			STD	40	8.18	9.3	9.3	8.7	7.9	7.6	6.0	5.0
				60	10.31	11.7	11.7	11.1	10.0	9.7	7.6	6.3
			XS	80	12.7	14.6	14.6	13.8	12.4	12.0	9.5	7.9
				100	15.09	17.5	17.5	16.5	14.8	14.4	11.4	9.4
				120	18.26	21.4	21.4	20.2	18.2	17.6	13.9	11.5
				140	20.62	24.3	24.3	23.0	20.7	20.1	15.8	13.1
			XXS		22.23	26.4	26.4	24.9	22.4	21.7	17.1	14.2
	160	23.01	27.4	27.4	25.8	23.3	22.6	17.8	14.8			

Important - refer to the associated Notes on page 1.

# UNION FLOOR DECK W-1000®



## Informasi Produk

**UNION FLOOR DECK W-1000®** adalah pelopor decking dengan profil "2W" dengan sistem bentuk tonjolan agar terjadi kaitan dengan beton dimana merupakan penyempurnaan dari floor deck terdahulu yang ada dipasaran.

Produk ini memiliki tingkat presisi yang tinggi karena dibuat dengan menggunakan mesin berkomputer dengan teknologi tinggi.

## Spesifikasi Bahan

Bahan Dasar	: Baja High - Tensile Tegangan Leleh Minimum 560 MPa (N/mm <sup>2</sup> )
Lapis Lindung	: Hot Dip Galvanized
Tebal Lapis Lindung	: 220 - 275 gr/m <sup>2</sup>
Tebal Standar	: 0,65 mm BMT atau 0,70 mm TCT 0,70 mm BMT atau 0,75 mm TCT 1,00 mm BMT atau 1,05 mm TCT 1,40 mm BMT atau 1,45 mm TCT
Berat Bahan	: 6,55 kg/m <sup>2</sup> untuk ketebalan 0,65 mm BMT 7,03 kg/m <sup>2</sup> untuk ketebalan 0,70 mm BMT 9,91 kg/m <sup>2</sup> untuk ketebalan 1,00 mm BMT 13,76 kg/m <sup>2</sup> untuk ketebalan 1,40 mm BMT
Standar Bahan	: SNI 07-2053-2006
Tinggi Gelombang	: 50 mm
Lebar Efektif	: 995 mm
Panjang	: Max. 12.000 mm (Panjang dapat dipotong sesuai kebutuhan tergantung pada daya angkut / fasilitas kendaraan)

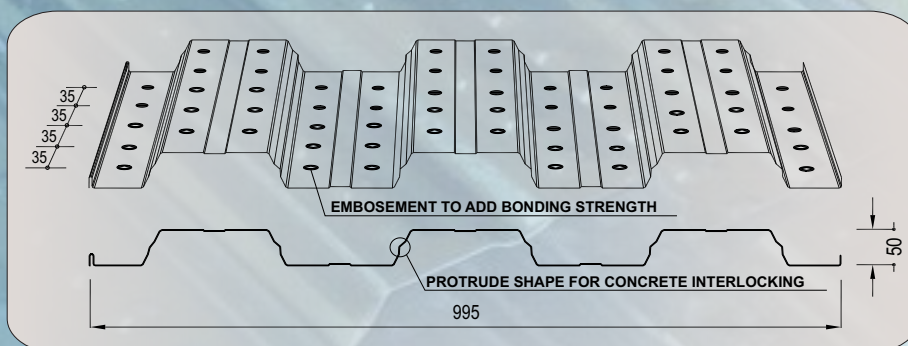
## Product Information

**UNION FLOOR DECK W-1000®** is the pioneer of decking "2W" profile with protrude shape for concrete interlocking which is the improvement of the existing floor deck in the market.

This product has high level precision because it is made by using high-tech computerized machine.

## Material Specification

Basic Material	: High - Tensile Steel Minimum Yield Strength 560 MPa (N/mm <sup>2</sup> )
Cover Layer	: Hot Dip Galvanized
Thick Cover Layer	: 220 - 275 gr/m <sup>2</sup>
Standard Thickness	: 0.65 mm BMT or 0.70 mm TCT 0.70 mm BMT or 0.75 mm TCT 1.00 mm BMT or 1.05 mm TCT 1.40 mm BMT or 1.45 mm TCT
Material Weight	: 6.55 kg/m <sup>2</sup> for the thickness of 0.65 mm BMT 7.03 kg/m <sup>2</sup> for the thickness of 0.70 mm BMT 9.91 kg/m <sup>2</sup> for the thickness of 1.00 mm BMT 13.76 kg/m <sup>2</sup> for the thickness of 1.40 mm BMT
Material Standard	: SNI 07-2053-2006
Corrugated Height	: 50 mm
Effective Width	: 995 mm
Length	: Max. 12,000 mm (Lengths are custom cut to requirement, limited only by transportation)



Base Metal Thickness - BMT (mm)	Area (As) mm <sup>2</sup> /m	Moment of Inertia (Ix) mm <sup>4</sup> /m	Mass kg/m <sup>2</sup>
0.65	796.33	391911.92	6.55
0.70	857.59	422063.58	7.03
1.00	1225.13	602999.87	9.91
1.40	1715.18	844939.88	13.76

## Keuntungan menggunakan Union Floor Deck W-1000®

- Berfungsi ganda, yaitu sebagai bekisting tetap dan tulangan positif satu arah. Efisiensi waktu dan kemajuan pekerjaan dapat dipercepat karena waktu untuk pembuatan dan pembongkaran bekisting sudah tidak diperlukan lagi. Pekerjaan pembesian di bagian yang mengalami tarik, dapat direduksi atau bahkan dihilangkan karena telah digantikan fungsinya oleh Floor Deck.
- Cepat dan mudah pemasangannya, baik pada konstruksi beton maupun baja. Tidak seperti bekisting konvensional pada umumnya yang harus dikerjakan per bentangan. **Union Floor Deck W-1000®** dapat mencapai beberapa bentangan sekaligus, sehingga lebih cepat pemasangannya.
- Union Floor Deck W-1000®** dapat secara langsung digunakan sebagai plafond.
- Sudah lolos uji dari : - Kelenturan dan Pembebanan  
- Kebakaran
- Efisiensi dan penghematan volume dalam pemakaian beton dengan menggunakan **Union Floor Deck W-1000®** sampai dengan 25 %.

## The Advantages of using Union Floor Deck W-1000®

- Double function as a permanent formwork and positive reinforcement, time efficient and faster work progress due to no form-work making and removal. Steel rebar in tension can be reduced or even could be replaced totally by the Floor Deck.
- Fast and easy installation for concrete or steel construction. Generally, it differs from conventional formwork which is to be installed span by span. **Union Floor Deck W-1000®** can be used as multiple span for faster installation.
- Union Floor Deck W-1000®** can be directly used as ceiling.
- Has passed tests for : - Flexibility and Loading  
- Fire
- Efficiency and saving volume concrete is up to 25 % by using **Union Floor Deck W-1000®**.

# METODE PEMASANGAN UNION FLOOR DECK W-1000®

## UNION FLOOR DECK W-1000® INSTALLATION METHOD



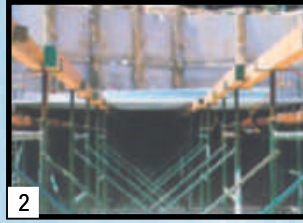
### \* Untuk Struktur Beton

#### For Concrete Structure



1  
Buka bundel Union Floor Deck W-1000®

*Unfasten the bundle of Union Floor Deck W-1000®*



2  
Pasang penyangga sementara jika diperlukan

*Install temporary support if required*



3  
Letakkan Union Floor Deck W-1000® di atas penyangga sementara

*Place Union Floor Deck W-1000® above temporary support*



4  
Endstop dipasang pada Union Floor Deck W-1000®

*Install the endstop to Union Floor Deck W-1000®*



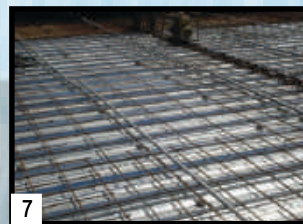
5  
Kakukan Union Floor Deck W-1000® dengan paku pada bekisting

*Fix Union Floor Deck W-1000® with nail on formwork*



6  
Sambungan pada Union Floor Deck W-1000® diperkaku dengan jepitan

*Union Floor Deck W-1000® joint can be strenghten by pinching*



7  
Pasang jaring kawat baja las

*Place wire mesh*



8  
Penuangan beton

*Pour concrete*

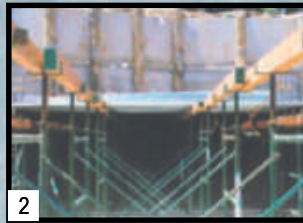
### \* Untuk Struktur Baja

#### For Steel Structure



1  
Buka bundel Union Floor Deck W-1000®

*Unfasten the bundle of Union Floor Deck W-1000®*



2  
Pasang penyangga sementara jika diperlukan

*Install temporary support if required*



3  
Letakkan Union Floor Deck W-1000® di atas penyangga sementara

*Place Union Floor Deck W-1000® above temporary support*



4  
Endstop metal dipasang pada Union Floor Deck W-1000®

*Install the metal endstop to Union Floor Deck W-1000®*



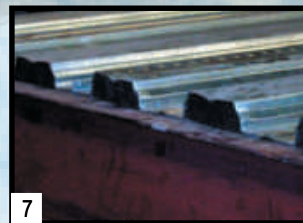
5  
Pasang penghubung geser

*Install the shear connector*



6  
Kakukan Union Floor Deck W-1000® pada bagian tepi dengan las titik di balok baja

*Fix Union Floor Deck W-1000® on the edge form with spot welding to the beam*



7  
Pemasangan bila menggunakan endstop karet

*Installation if using rubber endstop*



8  
Sambungan Union Floor Deck W-1000® dapat diperkaku dengan jepitan

*Union Floor Deck W-1000® joint can be strenghten by pinching*



9  
Pasang jaring kawat baja las

*Place wire mesh*



10  
Penuangan beton

*Pour concrete*





# PROPERTIES OF STRUCTURAL BOLT & NUT AS PER A490

BOLT SIZE	PITCH	STRESS AREA MM2	BOLT/STUD/SCREW ASTM A490-1						NUT ASTM A563M CL 10*				
			PROOF STRESS N/MM2	PROOF LOAD KN	TENSILE STRESS N/MM2	TOUR-QUE* N-m	HARD-NESS HRC	ELONGA-TION# %	PROOF STRESS N/MM2		PROOF LOAD KN		HARD-NESS HRC
									PLAIN	HDG	PLAIN	HDG	
M6	1	20.1											
M8	1.25	36.6											
M10	1.5	58.8											
M12	1.75	84.3	830	70.0	1040-1200	112.7	33-39	14.0	1245	1165	105	98	24-35
M14	2.0	115.0	830	95.5	1040-1200	179.4	33-39	14.0	1245	1165	143	134	24-35
M16	2.0	157.0	830	130.3	1040-1200	279.9	33-39	14.0	1245	1165	195	183	24-35
M18	2.5	192.0	830	159.4	1040-1200	385.1	33-39	14.0	1245	1165	239	224	24-35
M20	2.5	245.0	830	203.4	1040-1200	546.0	33-39	14.0	1245	1165	305	285	24-35
M22	2.5	303.0	830	251.5	1040-1200	742.8	33-39	14.0	1245	1165	377	353	24-35
M24	3.0	353.0	830	293.0	1040-1200	944.0	33-39	14.0	1245	1165	439	411	24-35
M27	3.0	459.0	830	381.0	1040-1200	1,381	33-39	14.0	1245	1165	571	535	24-35
M30	3.5	561.0	830	465.6	1040-1200	1,875	33-39	14.0	1245	1165	698	654	24-35
M33	3.5	694.0	830	576.0	1040-1200	2,552	33-39	14.0	1245	1165	864	809	24-35
M36	4.0	817.0	830	678.1	1040-1200	3,277	33-39	14.0	1245	1165	1,017	952	24-35
M39	4.0	976.0											
M42	4.5	1,120.0											
M45	4.5	1,310.0											
M48	5.0	1,470.0											
M52	5.0	1,760.0											
M56	5.5	2,030.0											
M60	5.5	2,360.0											
M64	6.0	2,680.0											
M68	6.0	3,060.0											
M72	6.0	3,460.0											
	DIMENSIONS		HEAVY HEX (HSFG)						HEAVY HEX (HSFG)				
	MARKINGS		'RS' 'A490M' '10S'						'RS' '10S'				
	CARBON		0.28 - 0.5						0.18 -0.58				
	MANAGENESE		1.65-						0.57-				
	SULPHUR		-0.045						-0.058				
	SILICON		0.6-										
	CHROMIUM		-3.99										
	MOLYDENUM												
	NICKLE												
	VANADIUM												
	BORON												
	PHOSPHOROUS		-0.045						-0.048				
	MATERIAL		Alloy Steel						Medium Carbon or Alloy Steel				

**NOTES:**

Left hand side of '-' is minimum value  
 Right hand side of '-' is maximum value  
 Eg. 0.5 - 0.7 min. is 0.5 and max is 0.7  
 Eg. -0.8 max is 0.8 no minimum value  
 Eg. 2.0- min. is 2.0 no maximum value

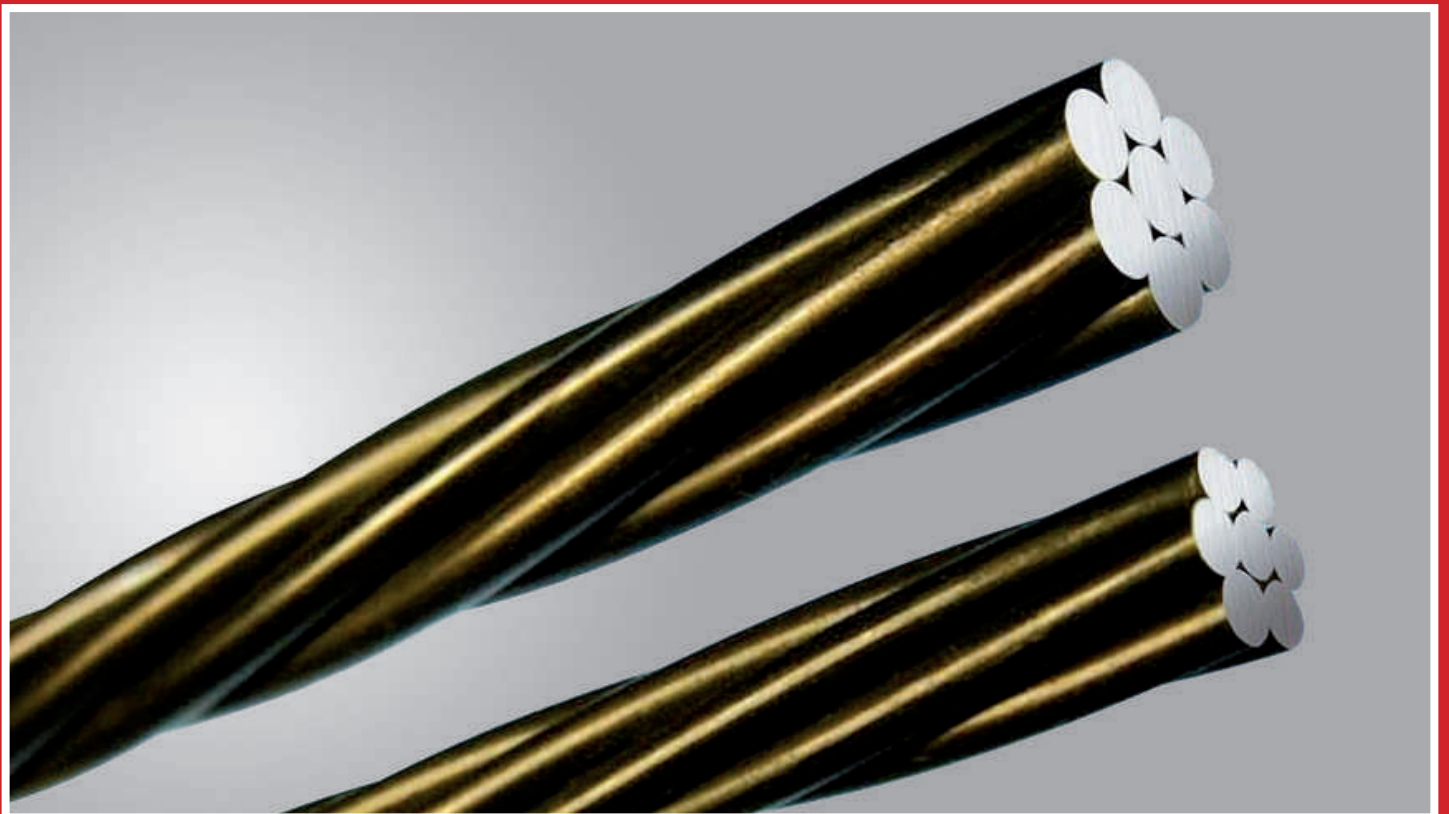
\* Equivalent to ASTM A194 2H

# Elongation in 50mm Length Min

\* Torque value based on 75% of proof load and finish as recieved steel



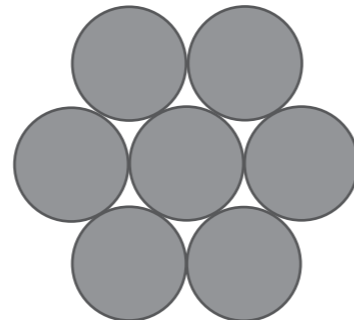
## SEVEN WIRE PRESTRESSED STRAND



Your reliable partner

# SEVEN WIRE PRESTRESSED STRAND

## TECHNICAL DATA AND PRODUCTION RANGE



## BS5896 : 2012

Relaxation Class 2

Steel name	Steel number	Diameter mm	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	Cross sectional area mm <sup>2</sup>	Mass per meter g/m	Deviation on mass per meter %	Characteristic value of max. force Fm KN	Maximum value of maximum force Fm KN	Fp 0.1% KN	Rt. 1.0% KN	Min. Elong. Lo=500 mm %	Curvative of strand	Lay Length mm
Y1670S7	1.136 4	15,20	1670	139	1086	± 2	232	267	204	NA	3,5	Max.bow height = 25mm / 1meter	(14-18) x d
Y1700S7G*	1.137 0	18,00	1700	223	1742	± 2	379	436	334	NA	3,5		
Y1770S7	1.136 5	9,30	1770	52	406,1	± 2	92	106	81	NA	3,5		
Y1770S7	1.136 5	11,00	1770	70	546,7	± 2	124	143	109	NA	3,5		
Y1170S7	1.136 5	12,50	1770	93	726,3	± 2	165	190	145	NA	3,5		
Y1770S7	1.136 5	15,70	1770	150	1172	± 2	266	306	234	NA	3,5		
Y1820S7G*	1.137 1	15,20	1820	165	1289	± 2	300	345	264	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	8,00	1860	38	296	± 2	70,7	81,3	62,2	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	9,30	1860	52	406,1	± 2	96,7	111	85,1	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	9,60	1860	55	429,6	± 2	102	117	89,8	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	11,30	1860	75	585,8	± 2	140	161	123,0	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	12,50	1860	93	726,3	± 2	173	199	152,0	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	12,90	1860	100	781	± 2	186	214	164,0	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	15,20	1860	139	1086	± 2	259	298	228,0	NA	3,5		
Y1860S7	1.136 6	15,70	1860	150	1172	± 2	279	321	246,0	NA	3,5		
Y1860S7G*	1.137 2	12,70	1860	112	874,7	± 2	208	239	183,0	NA	3,5		

Max. relaxation loss after 1000 Hrs ≤ 2,5% when initial load at 70% of specified breaking Load  
The diameter of the central wire shall be at least 3,0% greater than the diameter of the outer helical wires  
\* : Compacted strand

## ASTM A416M : 2012

Low relaxation

GRADE	Nominal Diameter		Tolerance on Diameter mm	Steel area of strand		Weight of strand		Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	Minimum Breaking Load KN	Minimum Load at 1% Extension KN	Rp 0.1% KN	Min. Elong. Lo=610 mm %	Curvative of strand	Lay Length mm
	mm	in.		mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	kg/1000m	lb/1000ft							
250 (1725)	7,90	5/16	+/- 0,40	37,40	0,058	294	197	1725	64,50	58,10	NA	3,5	Not specified	(12-16) x d
	9,50	3/8	+/- 0,40	51,60	0,08	405	272	1725	89,00	80,10	NA	3,5		
	11,10	7/16	+/- 0,40	69,70	1,108	548	367	1725	120,10	108,09	NA	3,5		
	12,70	1/2	+/- 0,40	92,90	0,144	730	490	1725	160,10	144,09	NA	3,5		
	15,20	6/10	+/- 0,40	139,40	0,216	1 094	737	1725	240,20	216,18	NA	3,5		
270 (1860)	9,53	3/8	+0,65/-0,15	54,80	0,085	432	290	1860	102,30	92,10	NA	3,5		
	11,11	7/16	+0,65/-0,15	74,20	0,115	582	390	1860	137,90	124,10	NA	3,5		
	12,70	1/2	+0,65/-0,15	98,70	0,153	775	520	1860	183,70	165,30	NA	3,5		
	15,24	6/10	+0,65/-0,15	140	0,217	1 102	740	1860	260,70	234,60	NA	3,5		
	17,78	7/10	+0,65/-0,15	189,7	0,294	1 487	1000	1860	353,20	318,00	NA	3,5		

Max. relaxation loss after 1000 Hrs ≤ 2,5% when initial load at 70% of specified breaking Load

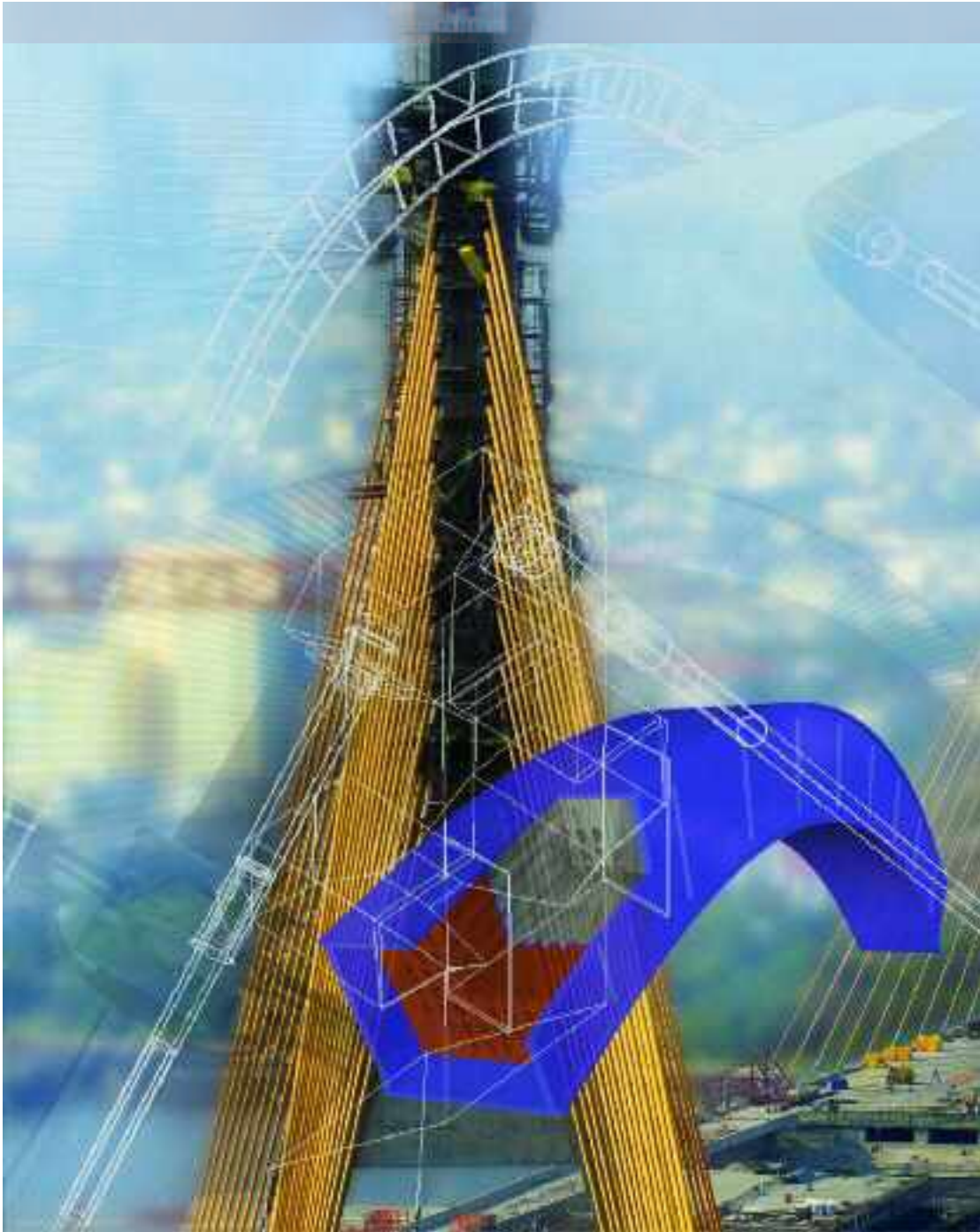
## EN 10138 - 3 : 2011

Uncoated Strand 7- steel wire for prestressed concrete

Steel name	Steel number	Diameter mm	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	Cross sectional area mm <sup>2</sup>	Mass per meter g/m	Deviation on mass per meter %	Characteristic value of max. force Fm KN	Maximum value of maximum force Fm KN	Fp 0.1% KN	Rt. 1.0% KN	Min. Elong. Lo=500 mm %	Curvative of strand	Lay Length mm
Y1770S7	1.1365	9,30	1770	52	406,1	± 2	92	106	81	NA	3,5	Max.bow height = 25mm / 1meter	(14-18) x d
Y1170S7	1.1365	12,50	1770	93	726,3	± 2	165	190	145	NA	3,5		
Y1860S7	1.1366	9,30	1860	52	406,1	± 2	96,7	111	85,1	NA	3,5		
Y1860S7	1.1366	12,50	1860	93	726,3	± 2	173	199	152,0	NA	3,5		
Y1860S7	1.1366	15,20	1860	139	1086	± 2	259	298	228,0	NA	3,5		
Y1860S7	1.1366	15,70	1860	150	1172	± 2	279	321	246,0	NA	3,5		
Y1960S7	1.1367	9,30	1960	52	406,1	± 2	102	117	91	NA	3,5		
Y1960S7	1.1367	12,50	1960	93	726,3	± 2	182	209	162	NA	3,5		
Y2060S7	1.1368	12,50	2060	93	726,3	± 2	192	221	171	NA	3,5		
Y2060S7	1.1368	12,90	2060	100	781	± 2	206	237	183,0	NA	3,5		
Y1860S7G*	1.1372	12,70	1860	112	874,7	± 2	208	239	183,0	NA	3,5		
Y1860S7G*	1.1372	15,20	1860	165	1289	± 2	307	353	270	NA	3,5		
Y1700S7G*	1.1370	18,00	1700	223	1742	± 2	379	436	334	NA	3,5		

Max. relaxation loss after 1000 Hrs ≤ 2,5% when initial load at 70% of specified breaking Load  
The diameter of the central wire shall be at least 3,0% greater than the diameter of the outer helical wires  
\* : Compacted strand

# VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM



DESIGN  
ENGINEERING  
SUPPLY  
INSTALLATION  
MONITORING

# VSL - LEADING IN STAY CABLE TECHNOLOGY



Industrial Ring Road – Bangkok, 2008

## **VSL – a worldwide network**

From concept to site works, the VSL network of locally operating units adds value throughout all stages of a project by providing fully-customised solutions, developed and implemented by highly-trained and experienced staff working in close partnership with clients. Customers have access to a local partner, while benefiting from global resources, know-how and expertise as well as VSL's continuing development of specialist construction techniques.

## **VSL – a commitment to quality, safety and sustainable development**

VSL pursues a strong quality, safety and sustainable development policy in keeping with its leading position as a specialist contractor. Proactive management systems have been

established to address local needs while ensuring a high common standard throughout the company network.

VSL recognises that its employees are the key to competitiveness, efficiency and safe working practices. The company is committed to "Safety First" and strives for "Zero Accident" by motivating and empowering its employees to act responsibly in order to achieve these goals.

## **VSL – a specialist stay cable contractor**

As leader in stay cable technology, VSL offers the solutions to tackle today's challenges in cable-stayed construction and develops the next-generation systems in close collaboration with its clients. The recent boom in cable-stayed bridges with considerably increased

spans and cable lengths calls for faster erection cycles and increases the dynamic demands on the stay cables. VSL's lightweight erection equipment, compact strand bundle solutions and its highly-efficient and reliable damping systems lead the way in meeting today's needs.

Its vast experience led VSL to launch the SSI 2000 system, which has been installed very successfully on more than 100 projects in recent years. VSL's latest developments extend the SSI 2000 range to provide even greater flexibility for a multitude of applications, while maintaining the system's proven outstanding performance. VSL's portfolio is now well over 150 cable-stayed bridges.



# CREATING SUSTAINABLE SOLUTIONS TOGETHER



## Designed to last

VSL Stay cables have a design life of 100 years even in the most aggressive environments. Elements are fully replaceable without requiring modifications to the structure. All the materials used have been carefully selected and all components have been detailed to meet the highest durability criteria. In addition, the modular nature of the VSL SSI 2000 Stay cable system helps reduce the environmental impact of maintenance operations by minimising the amount of waste generated when parts have to be replaced during the structure's life cycle.

## New VSL developments in stay cable technology

**SSI Saddle**, a patented design facilitating simplified pylon layouts resulting in enhanced bridge aesthetics and increased structural efficiency

**SSI 2000-C**, a compact stay cable system with reduced cable diameter and therefore reduced wind drag

**SSI 2000-D**, a stay cable protected against corrosion by dehumidification techniques - a patented solution offering the smallest cable diameters available in strand technology and minimising wind drag while fully maintaining the advantages of strand-by-strand replacement

**A choice of two damping systems** to control cable vibrations efficiently, adapted to the characteristics of the structure

## Modern engineering to stringent standards

**Designers, owners and authorities are demanding:**

- Increased long-term performance of stay cables, tensile members and anchorages; leak-tightness of the anchorage assembly; easy inspection and maintenance; the capability to replace cables with minimal interruption to bridge traffic; and reliable control of cable vibrations
- Minimal wind drag for long spans
- Outstanding static and fatigue behaviour, validated by performance testing
- Incorporation of damping systems at the time of installation or as part of dynamic retrofitting
- Improved aesthetics by using compact anchorages, saddles and coloured cables

**Main contractors seek:**

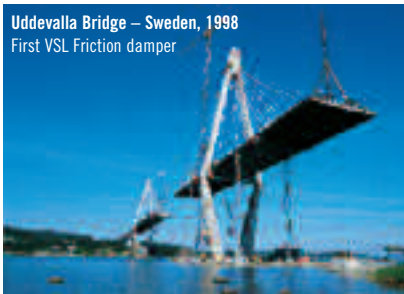
- Simple interfaces between deck erection and stay cable installation with a reduced number of activities on the critical path
- Lightweight installation equipment, facilitating a flexible erection schedule that separates deck and pylon construction from the stay cable erection works and minimises the crane time required

**Owners benefit from:**

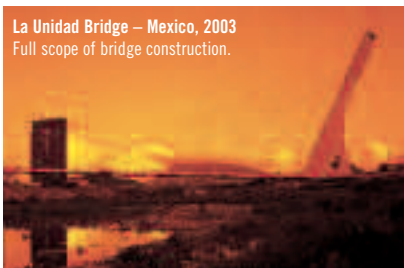
- Enhanced durability
- Substantial savings on maintenance

The VSL SSI 2000 Stay cable system is designed to meet the requirements and applicable specifications issued by *fib* (International Federation for Structural Concrete), PTI (Post-Tensioning Institute) and CIP (Commission Interministérielle de la Précontrainte).

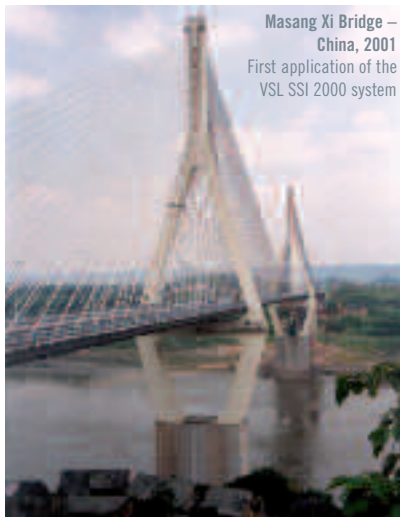
Uddevalla Bridge – Sweden, 1998  
First VSL Friction damper



La Unidad Bridge – Mexico, 2003  
Full scope of bridge construction.



Masang Xi Bridge – China, 2001  
First application of the VSL SSI 2000 system



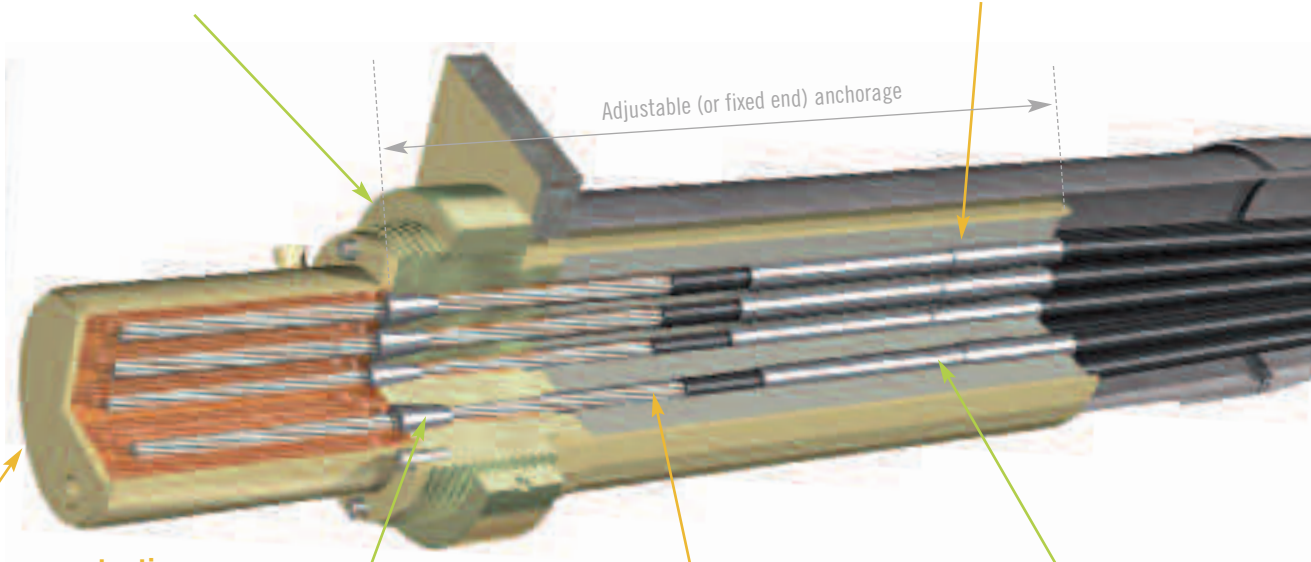
# SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY

## 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**

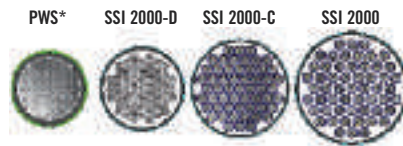
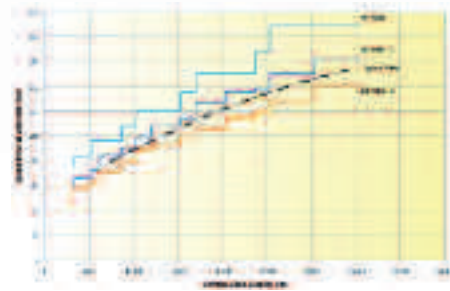
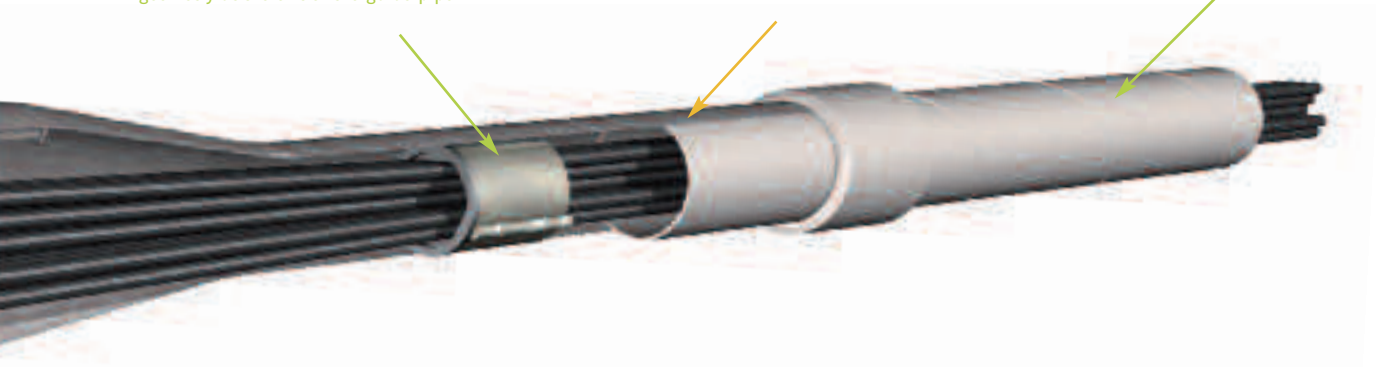
Located inside the stay pipe. Can be replaced by a guide deviator, depending on the geometry at the exit of the guide pipe

**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.

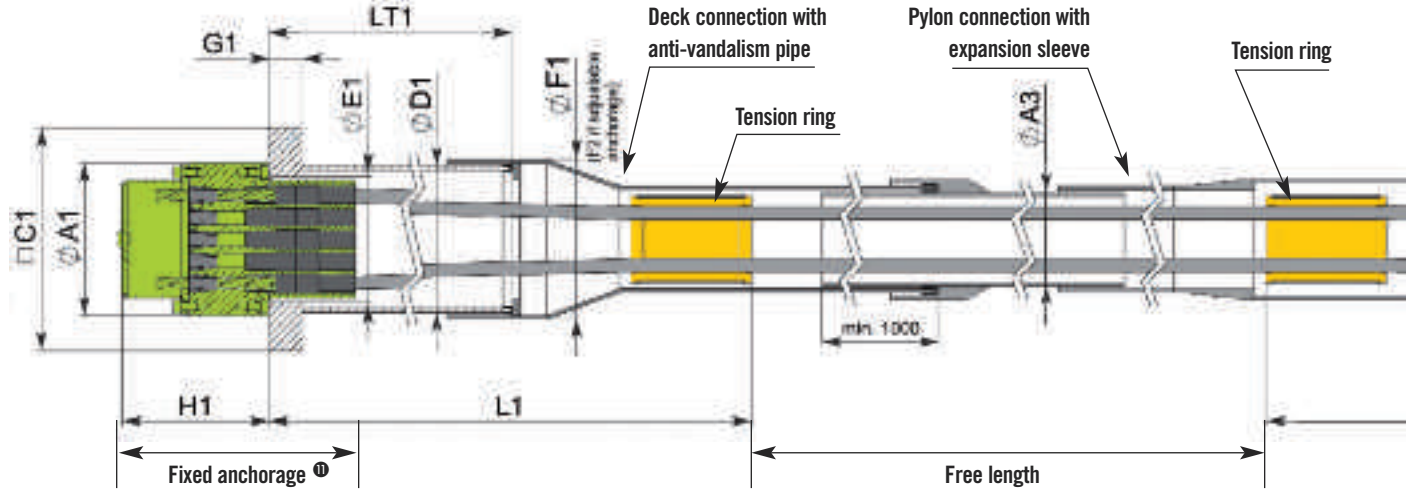
**SSI Saddle with fully replaceable strands**

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.

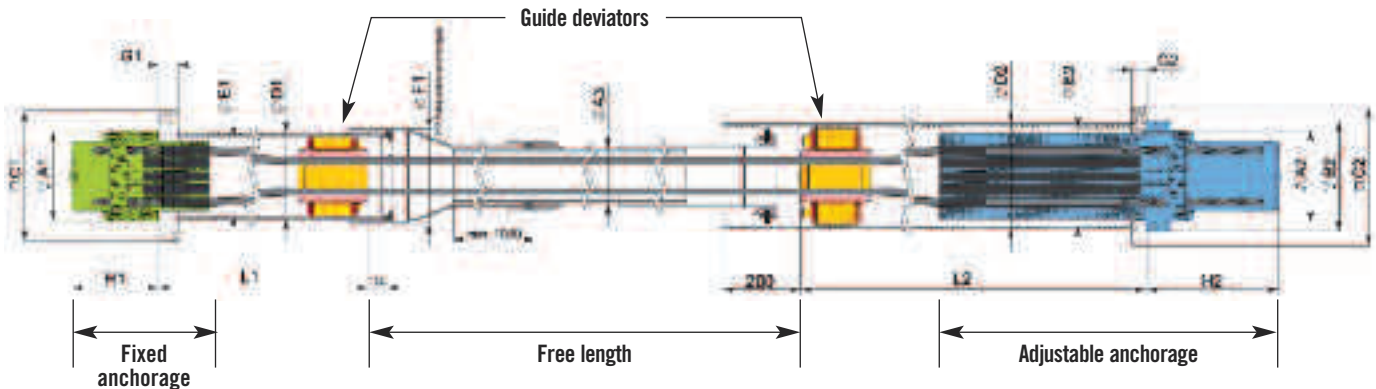


# VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

## STANDARD ARRANGEMENT WITH TENSION RING



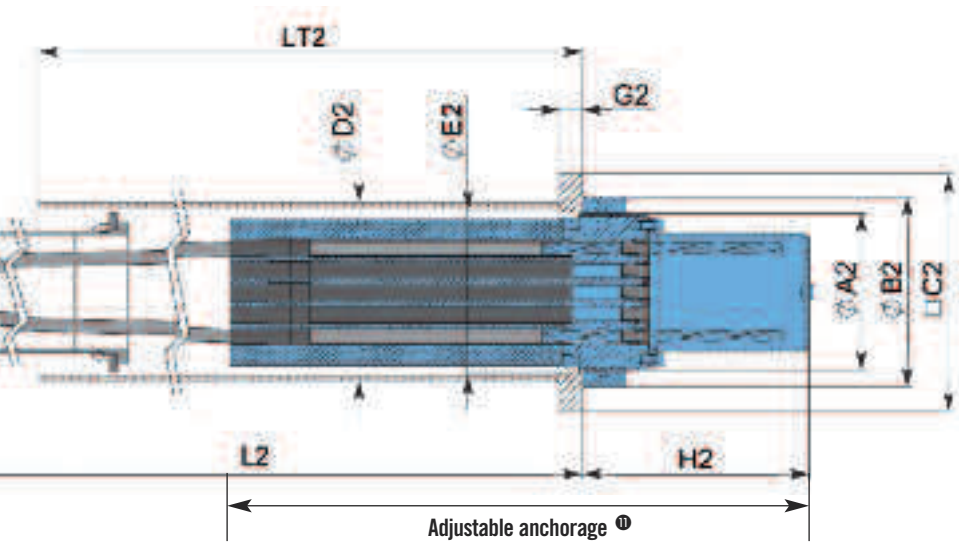
## ALTERNATIVE ARRANGEMENT WITH GUIDE DEVIATOR



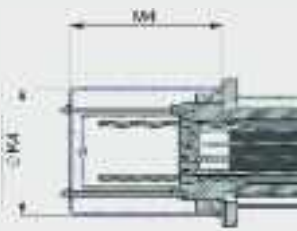
CABLE UNIT ③	NUMBER OF STRANDS	STAY			STAY PIPE		
		BREAKING LOAD AT 100% GUTS kN ①	ADMISSIBLE LOAD AT 50% GUTS kN ②	ADMISSIBLE LOAD AT 60% GUTS kN ④	SSI 2000 mm ④	SSI 2000-C ØA3/thk mm ④	SSI 2000-D mm ⑤
6-12	12	3,348	1,674	2,009	125/4.9	95/5.0	80/5.0
6-19	19	5,301	2,651	3,181	140/5.4	110/5.0	95/5.0
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 <sup>6</sup>	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

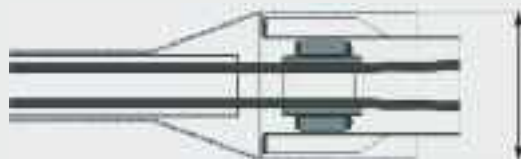
- ① Based on strand specification as per EN 10138 (150mm<sup>2</sup>, 1860MPa); reduction required for ASTM A416 or BS 5896; GUTS = Guaranteed Ultimate Tensile Strength of strand
- ② Recommended max. service stress for stay cables as per fib bulletin No. 30 and CIP
- ③ Recommended max. service stress for extradosed cables as per CIP
- ④ Galvanized and sheathed strand with a minimum sheathing thickness of 1.5mm



## OPTIONAL ITEMS



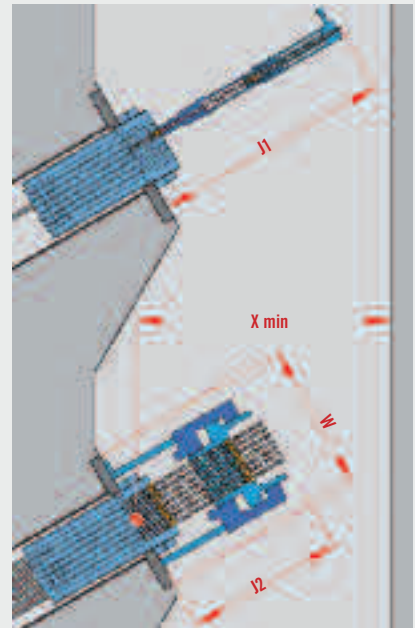
**Optional anchorage cap**  
for adjustable anchorage in severe environments class C5-M and -I as per ISO 12944



**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/hk	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			
LT1 DECK	LT1 PYLON	LT2 DECK	LT2 PYLON
mm ⑦	mm	mm ⑦	mm
500	500	1,000	1,000
500	500	1,000	1,000
500	500	1,000	1,000
500	900	1,000	1,200
500	900	1,000	1,200
500	1,100	1,000	1,400
500	1,100	1,000	1,400
500	1,100	1,000	1,400
500	1,300	1,000	1,600
500	1,300	1,000	1,600
500	1,300	1,000	1,600
500	2,000	1,000	2,000
500	2,000	1,000	2,000
500	2,000	1,000	2,000
500	2,200	1,000	2,500
500	2,200	1,000	2,500

ALTERNAT.
HORIZONTAL FORCE ON GUIDE DEVIATOR kN ⑩
50
80
92
130
155
180
230
255
306
356
381
456
531
582
632
707
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
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨

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

# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PF

Bearings type PF can support horizontal loads in both longitudinal and transverse directions and don't allow any movement.

## H1



## Bearings according to AASHTO

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)
PF 140/100/H1 AA	1395	150	1000	100	500	62
PF 280/200/H1 AA	2790	300	2000	200	1000	107
PF 420/300/H1 AA	4185	450	3000	300	1500	151
PF 560/400/H1 AA	5580	600	4000	400	2000	197
PF 700/500/H1 AA	6975	750	5000	500	2500	250
PF 840/600/H1 AA	8370	900	6000	600	3000	338
PF 1000/700/H1 AA	9765	1050	7000	700	3500	386
PF 1100/800/H1 AA	11160	1200	8000	800	4000	488
PF 1250/900/H1 AA	12555	1350	9000	900	4500	525
PF 1400/1000/H1 AA	13950	1500	10000	1000	5000	625
PF 1535/1100/H1 AA	15345	1650	11000	1100	5500	703
PF 1700/1200/H1 AA	16740	1800	12000	1200	6000	774
PF 1800/1300/H1 AA	18135	1950	13000	1300	6500	888
PF 1950/1400/H1 AA	19530	2100	14000	1400	7000	970
PF 2100/1500/H1 AA	20925	2250	15000	1500	7500	1073
PF 2200/1600/H1 AA	22320	2400	16000	1600	8000	1250
PF 2400/1700/H1 AA	23715	2550	17000	1700	8500	1273
PF 2500/1800/H1 AA	25110	2700	18000	1800	9000	1396
PF 2650/1900/H1 AA	26505	2850	19000	1900	9500	1497
PF 2800/2000/H1 AA	27900	3000	20000	2000	10000	1724
PF 3100/2200/H1 AA	30690	3300	22000	2200	11000	1882
PF 3350/2400/H1 AA	33480	3600	24000	2400	12000	2068
PF 3600/2600/H1 AA	36270	3900	26000	2600	13000	2474
PF 3900/2800/H1 AA	39060	4200	28000	2800	14000	2637
PF 4200/3000/H1 AA	41850	4500	30000	3000	15000	2930

**Bearings have been designed with the following parameters :**

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 10% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

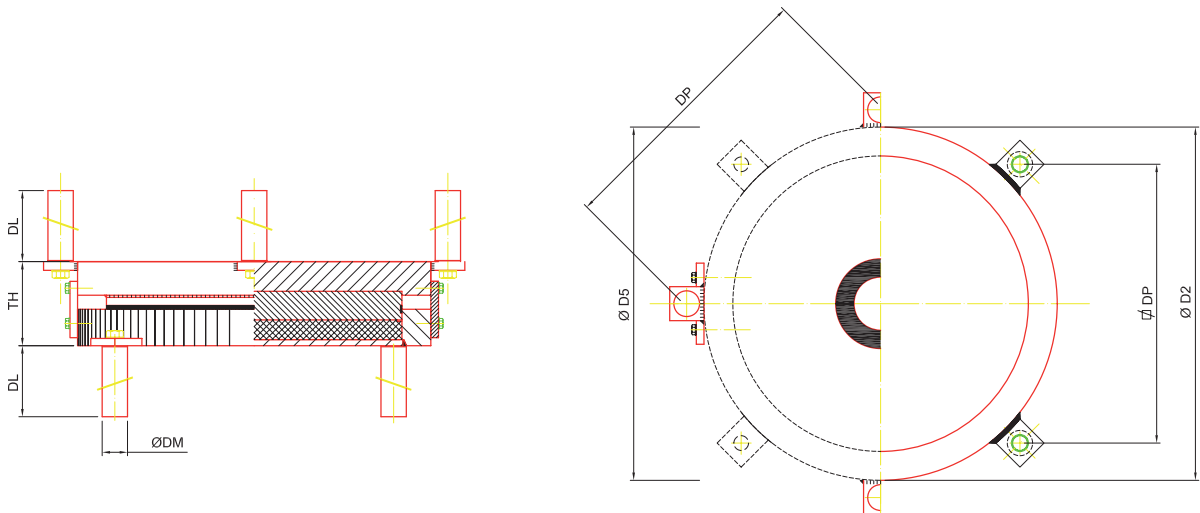
Rotation 0,015 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot $\varnothing$ D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions $\varnothing$ D5 (mm)	Recommended Pier $\varnothing$ (mm)	DM $\varnothing$ (mm)	DL (mm)	DP (mm)
PF 140/100/H1 AA	295	94	295	472	40	200	251
PF 280/200/H1 AA	395	105	395	632	40	200	322
PF 420/300/H1 AA	466	114	466	746	40	200	372
PF 560/400/H1 AA	525	122	525	840	40	200	414
PF 700/500/H1 AA	580	129	580	928	40	200	453
PF 840/600/H1 AA	651	143	651	1.042	40	200	503
PF 1000/700/H1 AA	684	149	684	1.094	40	200	526
PF 1100/800/H1 AA	752	157	752	1.203	40	200	574
PF 1250/900/H1 AA	780	158	780	1.248	40	200	594
PF 1400/1000/H1 AA	824	170	824	1.318	40	200	625
PF 1535/1100/H1 AA	858	177	858	1.373	40	200	649
PF 1700/1200/H1 AA	898	179	898	1.437	40	200	677
PF 1800/1300/H1 AA	934	185	934	1.494	40	200	703
PF 1950/1400/H1 AA	974	187	974	1.558	40	200	731
PF 2100/1500/H1 AA	1006	188	1006	1.610	60	300	768
PF 2200/1600/H1 AA	1056	206	1056	1.690	60	300	803
PF 2400/1700/H1 AA	1066	206	1066	1.706	60	300	810
PF 2500/1800/H1 AA	1116	208	1116	1.786	60	300	846
PF 2650/1900/H1 AA	1126	214	1126	1.802	60	300	853
PF 2800/2000/H1 AA	1162	215	1162	1.859	90	450	892
PF 3100/2200/H1 AA	1213	223	1213	1.941	90	450	928
PF 3350/2400/H1 AA	1274	225	1274	2.038	90	450	972
PF 3600/2600/H1 AA	1338	243	1338	2.141	90	450	1017
PF 3900/2800/H1 AA	1381	245	1381	2.210	90	450	1047
PF 4200/3000/H1 AA	1452	254	1452	2.323	90	450	1097



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PF

Bearings type PF can support horizontal loads in both longitudinal and transverse directions and don't allow any movement.

## H2



## Bearings according to AASHTO

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)
PF 140/100/H2 AA	1395	300	1000	200	500	62
PF 280/200/H2 AA	2790	600	2000	400	1000	150
PF 420/300/H2 AA	4185	900	3000	600	1500	208
PF 560/400/H2 AA	5580	1200	4000	800	2000	267
PF 700/500/H2 AA	6975	1500	5000	1000	2500	366
PF 840/600/H2 AA	8370	1800	6000	1200	3000	523
PF 1000/700/H2 AA	9765	2100	7000	1400	3500	648
PF 1100/800/H2 AA	11160	2400	8000	1600	4000	750
PF 1250/900/H2 AA	12555	2700	9000	1800	4500	804
PF 1400/1000/H2 AA	13950	3000	10000	2000	5000	1037
PF 1535/1100/H2 AA	15345	3300	11000	2200	5500	1123
PF 1700/1200/H2 AA	16740	3600	12000	2400	6000	1217
PF 1800/1300/H2 AA	18135	3900	13000	2600	6500	1295
PF 1950/1400/H2 AA	19530	4200	14000	2800	7000	1453
PF 2100/1500/H2 AA	20925	4500	15000	3000	7500	1728
PF 2200/1600/H2 AA	22320	4800	16000	3200	8000	1828
PF 2400/1700/H2 AA	23715	5100	17000	3400	8500	1855
PF 2500/1800/H2 AA	25110	5400	18000	3600	9000	2075
PF 2650/1900/H2 AA	26505	5700	19000	3800	9500	2718
PF 2800/2000/H2 AA	27900	6000	20000	4000	10000	2928
PF 3100/2200/H2 AA	30690	6600	22000	4400	11000	3107
PF 3350/2400/H2 AA	33480	7200	24000	4800	12000	3571
PF 3600/2600/H2 AA	36270	7800	26000	5200	13000	4108
PF 3900/2800/H2 AA	39060	8400	28000	5600	14000	4512
PF 4200/3000/H2 AA	41850	9000	30000	6000	15000	5032

**Bearings have been designed with the following parameters :**

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 10% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

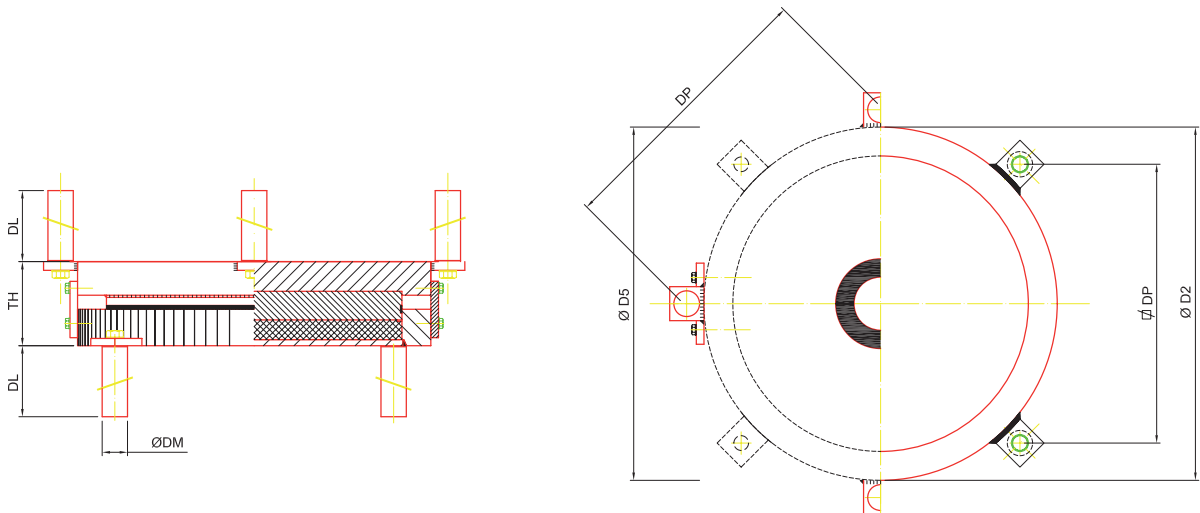
Rotation 0,015 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

PART NUMBER	Pot Ø D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pilar Ø (mm)	DM Ø (mm)	DL (mm)	DP (mm)
PF 140/100/H2 AA	295	94	295	472	40	200	251
PF 280/200/H2 AA	395	110	395	632	60	300	336
PF 420/300/H2 AA	474	124	474	758	60	300	392
PF 560/400/H2 AA	543	132	543	869	60	300	441
PF 700/500/H2 AA	606	139	606	970	70	350	492
PF 840/600/H2 AA	678	158	678	1085	80	400	550
PF 1000/700/H2 AA	714	164	714	1142	90	450	576
PF 1100/800/H2 AA	782	167	782	1251	90	450	624
PF 1250/900/H2 AA	814	173	814	1302	90	450	646
PF 1400/1000/H2 AA	853	190	853	1365	90	450	674
PF 1535/1100/H2 AA	896	192	896	1434	90	450	704
PF 1700/1200/H2 AA	938	199	938	1501	90	450	734
PF 1800/1300/H2 AA	974	200	974	1558	90	450	759
PF 1950/1400/H2 AA	1018	207	1018	1629	90	450	791
PF 2100/1500/H2 AA	1068	219	1068	1709	90	450	826
PF 2200/1600/H2 AA	1102	226	1102	1763	90	450	850
PF 2400/1700/H2 AA	1112	226	1112	1779	90	450	857
PF 2500/1800/H2 AA	1162	233	1162	1859	90	450	892
PF 2650/1900/H2 AA	1176	274	1176	1882	90	450	902
PF 2800/2000/H2 AA	1224	281	1224	1958	90	450	936
PF 3100/2200/H2 AA	1266	283	1266	2026	90	450	966
PF 3350/2400/H2 AA	1328	290	1328	2125	90	450	1010
PF 3600/2600/H2 AA	1432	300	1432	2291	90	450	1083
PF 3900/2800/H2 AA	1442	315	1442	2307	90	450	1090
PF 4200/3000/H2 AA	1514	319	1514	2422	90	450	1141



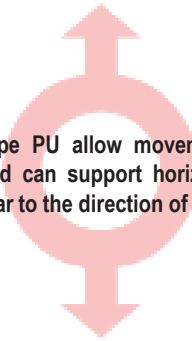
The dimensions given are indicative. Desings and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PU

Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.



## H1



## Bearings according to AASHTO

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 140/100/H1 AA	1395	150	1000	100	500	81
PU 280/200/H1 AA	2790	300	2000	200	1000	127
PU 420/300/H1 AA	4185	450	3000	300	1500	169
PU 560/400/H1 AA	5580	600	4000	400	2000	251
PU 700/500/H1 AA	6975	750	5000	500	2500	313
PU 840/600/H1 AA	8370	900	6000	600	3000	389
PU 1000/700/H1 AA	9765	1050	7000	700	3500	467
PU 1100/800/H1 AA	11160	1200	8000	800	4000	577
PU 1250/900/H1 AA	12555	1350	9000	900	4500	621
PU 1400/1000/H1 AA	13950	1500	10000	1000	5000	759
PU 1535/1100/H1 AA	15345	1650	11000	1100	5500	882
PU 1700/1200/H1 AA	16740	1800	12000	1200	6000	965
PU 1800/1300/H1 AA	18135	1950	13000	1300	6500	1091
PU 1950/1400/H1 AA	19530	2100	14000	1400	7000	1191
PU 2100/1500/H1 AA	20925	2250	15000	1500	7500	1307
PU 2200/1600/H1 AA	22320	2400	16000	1600	8000	1447
PU 2400/1700/H1 AA	23715	2550	17000	1700	8500	1469
PU 2500/1800/H1 AA	25110	2700	18000	1800	9000	1606
PU 2650/1900/H1 AA	26505	2850	19000	1900	9500	1777
PU 2800/2000/H1 AA	27900	3000	20000	2000	10000	2017
PU 3100/2200/H1 AA	30690	3300	22000	2200	11000	2199
PU 3350/2400/H1 AA	33480	3600	24000	2400	12000	2411
PU 3600/2600/H1 AA	36270	3900	26000	2600	13000	2753
PU 3900/2800/H1 AA	39060	4200	28000	2800	14000	3095
PU 4200/3000/H1 AA	41850	4500	30000	3000	15000	3548

**Bearings have been designed with the following parameters :**

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

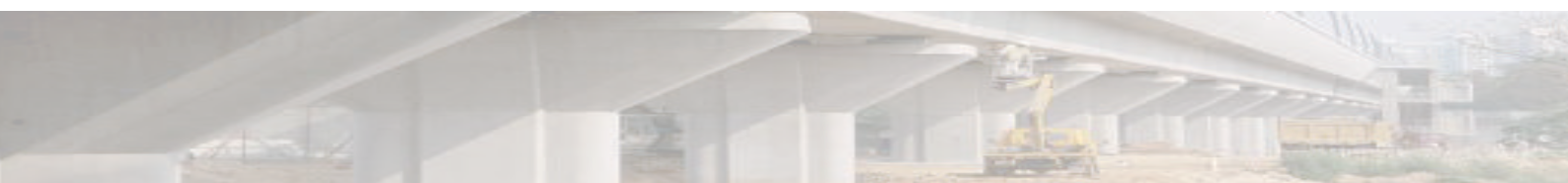
Maximum Horizontal load is 10% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movement ± 100 mm

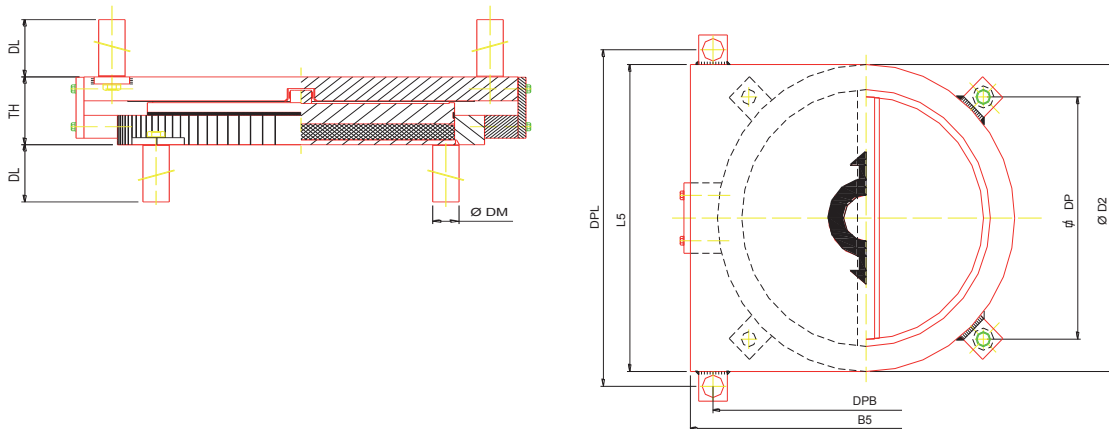
Rotation 0,015 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot $\varnothing$ D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier $\varnothing$ (mm)	DM $\varnothing$ (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PU 140/100/H1 AA	313	92	495 x 313	501	40	200	405	373	264
PU 280/200/H1 AA	400	103	582 x 400	640	40	200	492	460	325
PU 420/300/H1 AA	470	107	652 x 470	752	40	200	562	530	375
PU 560/400/H1 AA	525	130	707 x 525	840	40	200	617	585	414
PU 700/500/H1 AA	580	137	760 x 580	928	40	200	670	640	453
PU 840/600/H1 AA	652	141	825 x 652	1043	40	200	735	712	503
PU 1000/700/H1 AA	686	157	854 x 686	1098	40	200	764	746	528
PU 1100/800/H1 AA	752	165	916 x 752	1203	40	200	826	812	574
PU 1250/900/H1 AA	782	166	940 x 782	1251	40	200	850	842	595
PU 1400/1000/H1 AA	826	178	979 x 826	1322	40	200	889	886	626
PU 1535/1100/H1 AA	860	195	1010 x 860	1376	40	200	920	920	651
PU 1700/1200/H1 AA	900	197	1045 x 900	1440	40	200	955	960	679
PU 1800/1300/H1 AA	936	203	1077 x 936	1498	40	200	987	996	704
PU 1950/1400/H1 AA	978	205	1114 x 978	1565	40	200	1024	1038	734
PU 2100/1500/H1 AA	1011	206	1142 x 1011	1618	60	300	1032	1091	771
PU 2200/1600/H1 AA	1060	214	1189 x 1060	1696	60	300	1079	1140	806
PU 2400/1700/H1 AA	1068	214	1196 x 1068	1709	60	300	1086	1148	812
PU 2500/1800/H1 AA	1118	216	1242 x 1118	1789	60	300	1132	1198	847
PU 2650/1900/H1 AA	1128	232	1250 x 1128	1805	60	300	1140	1208	854
PU 2800/2000/H1 AA	1164	233	1282 x 1164	1862	90	450	1152	1264	894
PU 3100/2200/H1 AA	1216	241	1327 x 1216	1946	90	450	1197	1316	931
PU 3350/2400/H1 AA	1277	243	1382 x 1277	2043	90	450	1252	1377	974
PU 3600/2600/H1 AA	1342	251	1442 x 1342	2147	90	450	1312	1442	1020
PU 3900/2800/H1 AA	1384	263	1479 x 1384	2214	90	450	1349	1484	1049
PU 4200/3000/H1 AA	1458	282	1546 x 1458	2333	90	450	1416	1558	1102



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.

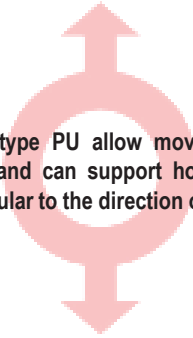




# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PU

Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.



## H2



## Bearings according to AASHTO

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 140/100/H2 AA	1395	300	1000	200	500	81
PU 280/200/H2 AA	2790	600	2000	400	1000	194
PU 420/300/H2 AA	4185	900	3000	600	1500	286
PU 560/400/H2 AA	5580	1200	4000	800	2000	400
PU 700/500/H2 AA	6975	1500	5000	1000	2500	541
PU 840/600/H2 AA	8370	1800	6000	1200	3000	644
PU 1000/700/H2 AA	9765	2100	7000	1400	3500	858
PU 1100/800/H2 AA	11160	2400	8000	1600	4000	962
PU 1250/900/H2 AA	12555	2700	9000	1800	4500	1051
PU 1400/1000/H2 AA	13950	3000	10000	2000	5000	1347
PU 1535/1100/H2 AA	15345	3300	11000	2200	5500	1458
PU 1700/1200/H2 AA	16740	3600	12000	2400	6000	1573
PU 1800/1300/H2 AA	18135	3900	13000	2600	6500	1766
PU 1950/1400/H2 AA	19530	4200	14000	2800	7000	2044
PU 2100/1500/H2 AA	20925	4500	15000	3000	7500	2283
PU 2200/1600/H2 AA	22320	4800	16000	3200	8000	2410
PU 2400/1700/H2 AA	23715	5100	17000	3400	8500	2511
PU 2500/1800/H2 AA	25110	5400	18000	3600	9000	2726
PU 2650/1900/H2 AA	26505	5700	19000	3800	9500	3571
PU 2800/2000/H2 AA	27900	6000	20000	4000	10000	3650
PU 3100/2200/H2 AA	30690	6600	22000	4400	11000	4182
PU 3350/2400/H2 AA	33480	7200	24000	4800	12000	5008
PU 3600/2600/H2 AA	36270	7800	26000	5200	13000	5356
PU 3900/2800/H2 AA	39060	8400	28000	5600	14000	6815
PU 4200/3000/H2 AA	41850	9000	30000	6000	15000	7803

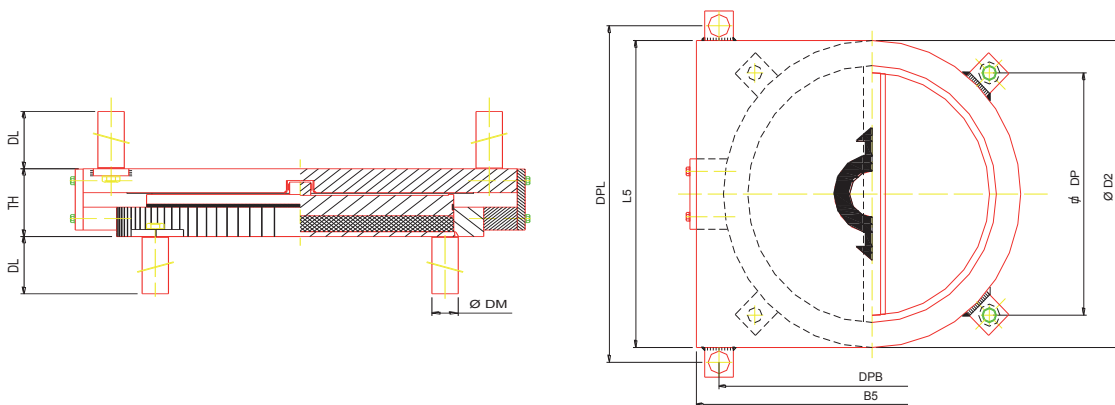
**Bearings have been designed with the following parameters :**

- Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)
- Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)
- Maximum Horizontal load is 20% of the Vertical load
- Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS
- Movement ± 100 mm
- Rotation 0,015 rad
- Other models are available under request



# Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot $\varnothing$ D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier $\varnothing$ (mm)	DM $\varnothing$ (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PU 140/100/H2 AA	313	92	495 x 313	501	40	200	405	373	264
PU 280/200/H2 AA	405	119	587 x 405	648	60	300	477	485	343
PU 420/300/H2 AA	488	137	660 x 488	781	60	300	550	568	402
PU 560/400/H2 AA	556	150	720 x 556	890	70	350	600	646	457
PU 700/500/H2 AA	616	168	772 x 616	986	80	400	642	716	506
PU 840/600/H2 AA	678	176	825 x 678	1085	80	400	695	778	550
PU 1000/700/H2 AA	730	193	870 x 730	1168	90	450	740	830	587
PU 1100/800/H2 AA	784	195	916 x 784	1254	90	450	786	884	625
PU 1250/900/H2 AA	824	202	950 x 824	1318	90	450	820	924	653
PU 1400/1000/H2 AA	856	228	975 x 856	1370	90	450	845	956	676
PU 1535/1100/H2 AA	898	230	1010 x 898	1437	90	450	880	998	706
PU 1700/1200/H2 AA	938	237	1045 x 938	1501	90	450	915	1038	734
PU 1800/1300/H2 AA	976	248	1077 x 976	1562	90	450	947	1076	761
PU 1950/1400/H2 AA	1.016	255	1114 x 1016	1626	90	450	984	1116	789
PU 2100/1500/H2 AA	1.072	268	1164 x 1072	1715	90	450	1034	1172	829
PU 2200/1600/H2 AA	1.102	274	1189 x 1102	1763	90	450	1059	1202	850
PU 2400/1700/H2 AA	1.128	275	1209 x 1128	1805	90	450	1079	1228	868
PU 2500/1800/H2 AA	1.164	281	1242 x 1164	1862	90	450	1112	1264	894
PU 2650/1900/H2 AA	1.198	323	1272 x 1198	1917	90	450	1142	1298	918
PU 2800/2000/H2 AA	1.224	329	1293 x 1224	1958	90	450	1163	1324	936
PU 3100/2200/H2 AA	1.282	342	1344 x 1282	2051	90	450	1214	1382	977
PU 3350/2400/H2 AA	1.388	351	1442 x 1388	2221	90	450	1312	1488	1052
PU 3600/2600/H2 AA	1.434	368	1479 x 1434	2294	90	450	1349	1534	1085
PU 3900/2800/H2 AA	1.594	381	1629 x 1594	2550	90	450	1499	1694	1198
PU 4200/3000/H2 AA	1.696	401	1726 x 1696	2714	90	450	1596	1796	1270



The dimensions given are indicative. Desings and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.

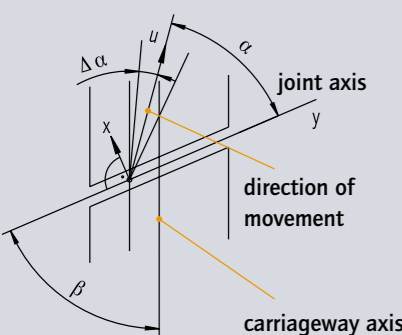
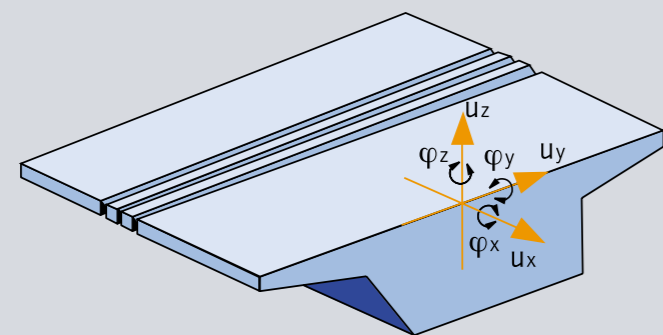
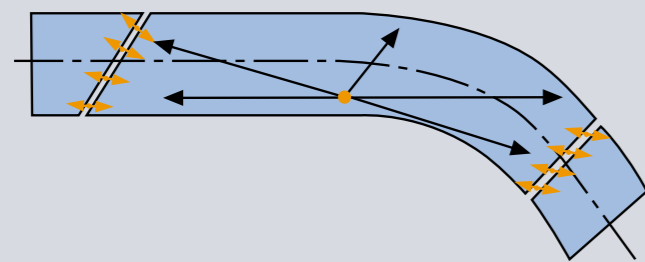


## Versatility

MAURER Swivel-Joint Expansion Joints can absorb all movements customary in bridge construction. The versatile mechanism of this type makes it suitable for variable skew angles along axes centred on a fixed point and also for complex hybrid movements and rotations about the spatial axes x, y and z.

The recess sizes given in the following pages will give the planner of the bridge structure some assistance for designing. The distribution of a support bar movement to each joint edge can be settled as per requirement or liking, other solutions than those shown below can be designed as well. All dimensions given are without obligation to the planner. For every project all dimensions will have to be determined case by case.

Geometrical restrictions which might be the consequence of the geometry of the boxes and support bars, can be changed by special design any time.



Due to the high standardisation expenditure resulting from Technical Test Specifications according to TL/TP-FÜ only applications of frequent use had been considered (please also refer to the appertaining documents). In Germany the admissible movement per joint gap in transverse direction to the joint-axis has been restricted to

65 mm. However, all expansion joints are designed to take movements of 80 mm. The following table shows the admissible movements for standard designs of the individual types.

type	weight [kg/m]	type	weight [kg/m]
DS160	270	DS720	930
DS240	350	DS800	1030
DS320	440	DS880	1140
DS400	530	DS960	1260
DS480	620	DS1040	1380
DS560	720	DS1120	1500
DS640	820	DS1200	1620

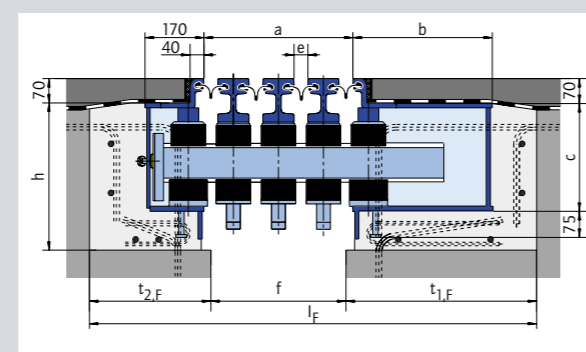
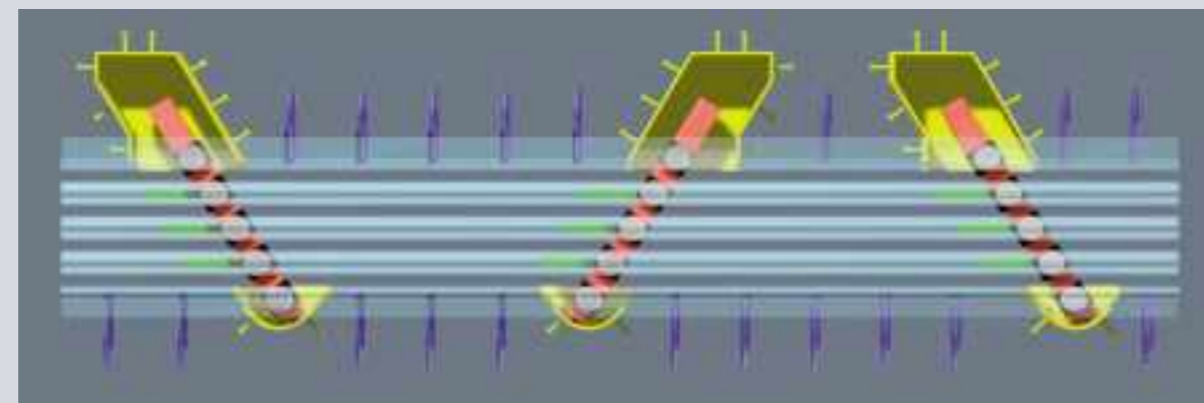
The given numbers of the weight of joints is only to calculate the size of cranes and lifting devices.

n	type	u <sub>x</sub> [mm]	u <sub>y</sub> * [mm]	u <sub>z</sub> * [mm]	α [°]	Δα	β [°]
2	DS160	130 (160)	± 80	± 10			
3	DS240	195 (240)	± 120	± 15			
4	DS320	260 (320)	± 160	± 20			
5	DS400	325 (400)	± 200	± 25			
6	DS480	390 (480)	± 240	± 30			
7	DS560	455 (560)	± 280	± 35			
8	DS640	520 (640)	± 320	± 40	90° ± 45°	any	any
9	DS720	585 (720)	± 360	± 40			
10	DS800	650 (800)	± 400	± 40			
11	DS880	715 (880)	± 440	± 40			
12	DS960	780 (960)	± 480	± 45			
13	DS1040	845 (1040)	± 520	± 45			
14	DS1120	910 (1120)	± 560	± 45			
15	DS1200	975 (1200)	± 600	± 45			

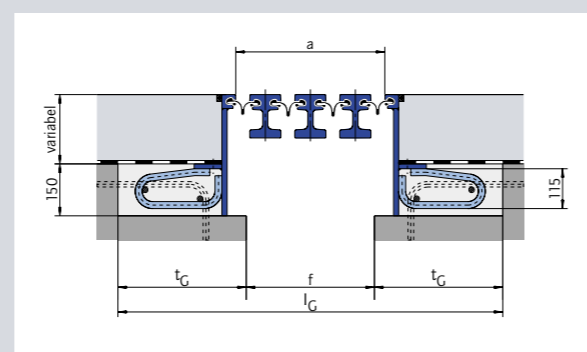
\* ) Values apply to standard design, bigger values are possible, too.

## Movement of support bars to one side only

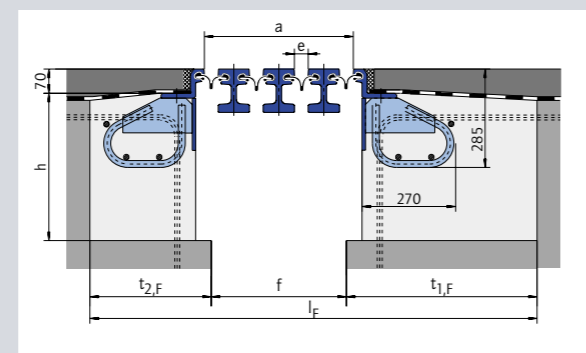
### Recess dimensions



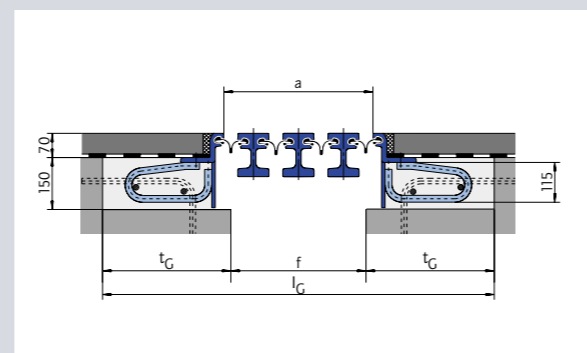
cross section through support box at carriageway



footway cross section - version 1



carriageway cross section at anchorage



footway cross section - version 2

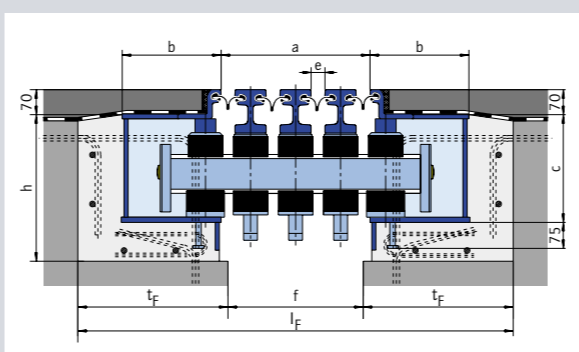
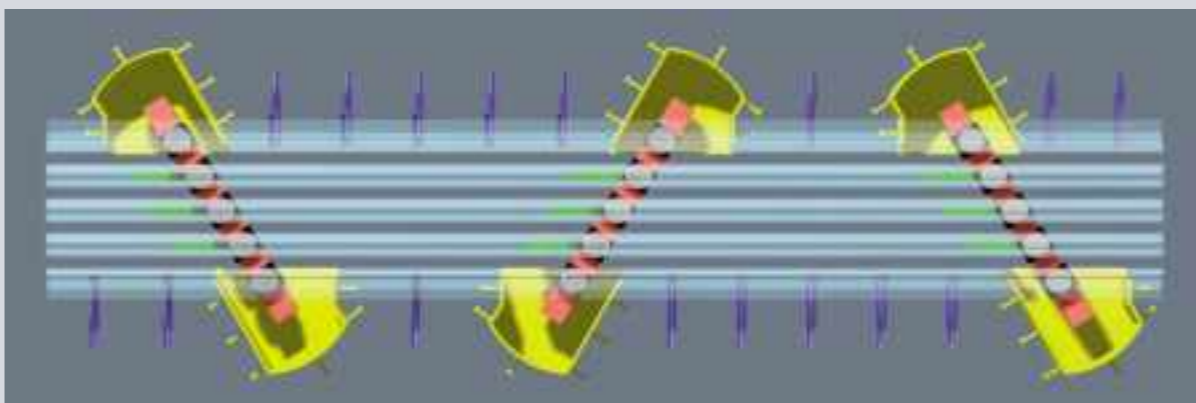
Presetting of gap dimension e = 30 mm											
MAURER exp. joint	structural dimensions			concrete recess dimensions			concrete gap dimensions				
n	type	a [mm]	b [mm]	c [mm]	h [mm]	t <sub>1,F</sub> [mm]	t <sub>2,F=t<sub>G</sub></sub> [mm]	f <sub>min</sub> [mm]	f <sub>max</sub> [mm]	l <sub>F</sub> [mm]	l <sub>G</sub> [mm]
2	DS160	150	260	290	420	400	350	115	130	865	815
3	DS240	270	310	300	430	450	380	225	250	1055	985
4	DS320	390	360	310	440	500	390	300	370	1190	1080
5	DS400	510	410	320	450	560	400	410	490	1370	1210
6	DS480	630	460	330	460	620	410	520	610	1550	1340
7	DS560	750	510	340	470	680	420	630	730	1730	1470
8	DS640	870	560	350	480	740	430	740	850	1910	1600
9	DS720	990	610	360	490	800	440	850	970	2090	1730
10	DS800	1110	660	370	500	860	450	960	1090	2270	1860
11	DS880	1230	710	380	510	920	460	1070	1210	2450	1990
12	DS960	1350	760	390	520	980	470	1180	1330	2630	2120
13	DS1040	1470	810	400	530	1040	480	1290	1450	2810	2250
14	DS1120	1590	860	410	540	1100	490	1400	1570	2990	2380
15	DS1200	1710	910	420	550	1160	500	1510	1690	3170	2510

For structures acc. to directives TL/TP-FÜ you must also observe the details given in the standard testing specifications

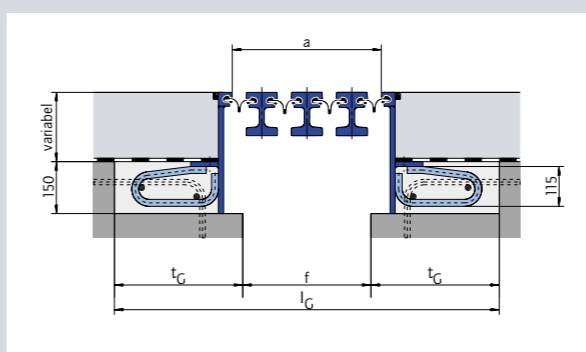
- All dimensions are rectangular to the joint axis.
- n = number of sealing elements
- a, f and l apply to a presetting dimension e = 30 mm for every joint gap and must be adjusted by n x Δe in case of deviating presetting dimension e.
- recesses for footway joints, restraints and tube openings as a rule require prior consent between the planner of the structure and the manufacturer of the expansion joint.
- Smaller recess dimensions are possible by special design of MAURER.

## Movement of support bars to both sides

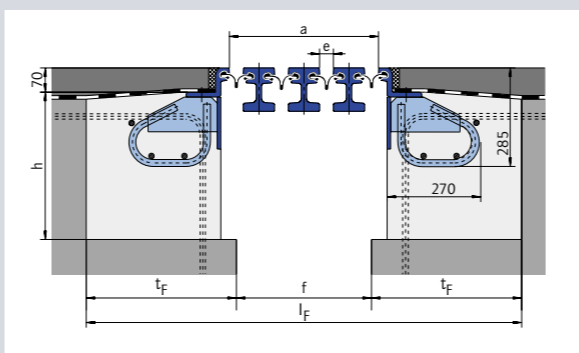
### Recess dimensions



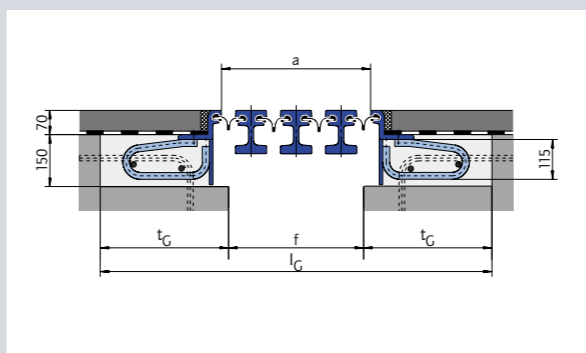
cross section through support box at carriageway



footway cross section - version 1



carriageway cross section at anchorage



footway cross section - version 2

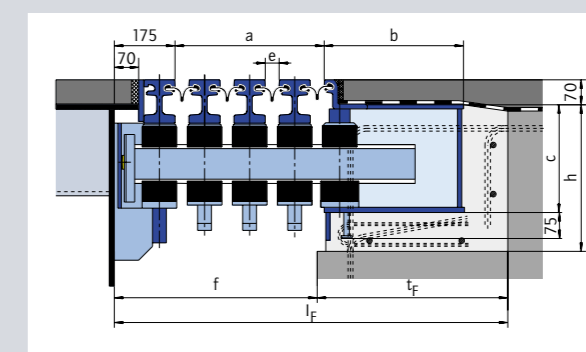
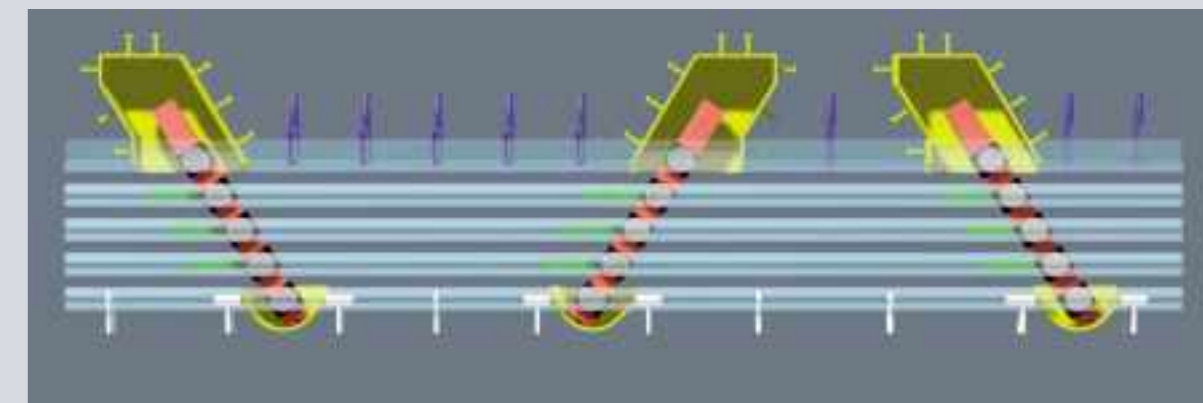
Presetting of gap dimension e = 30 mm											
MAURER exp. joint	design data			concrete-recess dimensions			concrete-gap dimensions				
n	type	a [mm]	b [mm]	c [mm]	h [mm]	t <sub>F</sub> [mm]	t <sub>G</sub> [mm]	f <sub>min</sub> [mm]	f <sub>max</sub> [mm]	l <sub>F</sub> [mm]	l <sub>G</sub> [mm]
2	DS160	150	215	290	420	350	350	115	130	815	815
3	DS240	270	255	300	430	395	380	225	250	1015	985
4	DS320	390	285	310	440	435	390	300	370	1170	1080
5	DS400	510	355	320	450	510	400	410	490	1430	1210
6	DS480	630	380	330	460	550	410	520	610	1620	1340
7	DS560	750	410	340	470	590	420	630	730	1810	1470
8	DS640	870	430	350	480	620	430	740	850	1980	1600
9	DS720	990	460	360	490	660	440	850	970	2170	1730
10	DS800	1110	490	370	500	690	450	960	1090	2340	1860
11	DS880	1230	515	380	510	730	460	1070	1210	2530	1990
12	DS960	1350	550	390	520	770	470	1180	1330	2720	2120
13	DS1040	1470	585	400	530	820	480	1290	1450	2930	2250
14	DS1120	1590	615	410	540	860	490	1400	1570	3120	2380
15	DS1200	1710	645	420	550	900	500	1510	1690	3310	2510

For structures acc. to directives TL/TP-FÜ you must also observe the details given in the standard testing specifications

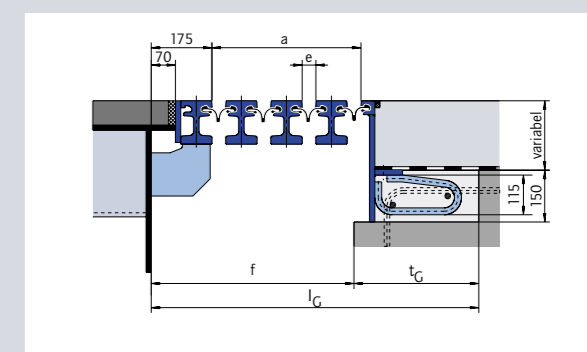
- All dimensions are rectangular to the joint axis.
- n = number of sealing elements
- a, f and l apply to a presetting dimension e = 30 mm for every joint gap and must be adjusted by n x Δe in case of deviating presetting dimension e.
- recesses for footway joints, restraints and tube openings as a rule require prior consent between the planner of the structure and the manufacturer of the expansion joint.
- Smaller recess dimensions are possible by special design of MAURER.

## Steel connection

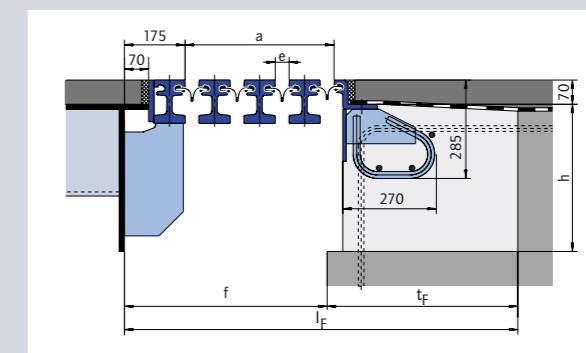
### Recess dimensions



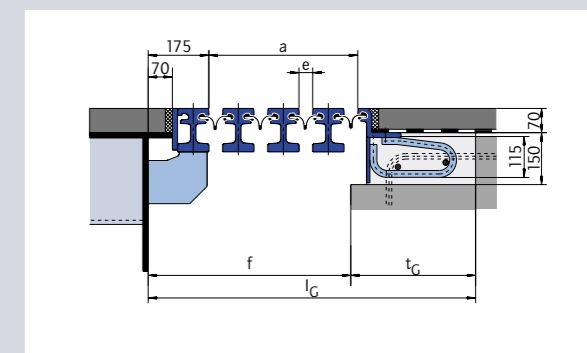
cross section through support box at carriageway



footway cross section - version 1



carriageway cross section at anchorage



footway cross section - version 2

Presetting of gap dimension e = 30 mm											
MAURER exp. joint	structural dimensions			concrete recess dimensions			concrete gap dimensions				
n	type	a [mm]	b [mm]	c [mm]	h [mm]	t <sub>F</sub> [mm]	t <sub>G</sub> [mm]	f <sub>min</sub> [mm]	f <sub>max</sub> [mm]	l <sub>F</sub> [mm]	l <sub>G</sub> [mm]
2	DS160	150	260	290	420	400	385	300	310	700	685
3	DS240	270	310	300	430	470	400	350	430	820	750
4	DS320	390	360	310	440	540	410	460	550	1000	870
5	DS400	510	410	320	450	610	425	570	670	1180	995
6	DS480	630	460	330	460	680	440	680	790	1360	1120
7	DS560	750	510	340	470	750	450	790	910	1540	1240
8	DS640	870	560	350	480	820	470	900	1030	1720	1370
9	DS720	990	610	360	490	890	480	1010	1150	1900	1490
10	DS800	1110	660	370	500	960	500	1120	1270	2080	1620
11	DS880	1230	710	380	510	1030	520	1230	1390	2260	1750
12	DS960	1350	760	390	520	1100	530	1340	1510	2440	1870
13	DS1040	1470	810	400	530	1170	550	1450	1630	2620	2000
14	DS1120	1590	860	410	540	1240	560	1560	1750	2800	2120
15	DS1200	1710	910	420	550	1310	570	1670	1870	2980	2240

For structures acc. to directives TL/TP-FÜ you must also observe the details given in the standard testing specifications

- All dimensions are rectangular to the joint axis.
- n = number of sealing elements
- a, f and l apply to a presetting dimension e = 30 mm for every joint gap and must be adjusted by n x Δe in case of deviating presetting dimension e.
- recesses for footway joints, restraints and tube openings as a rule require prior consent between the planner of the structure and the manufacturer of the expansion joint.
- Smaller recess dimensions are possible by special design of MAURER.



Vasco da Gama Bridge, Portugal  
with fuse box for  
earthquake movements  
built: 1997  
Cable-stayed bridge  
main span: 829 m  
type of joint:  
DS1440 59.00 lin. metres



Storebælt East Bridge, Denmark  
built: 1996  
Suspension bridge  
main span: 1624 m  
type of joint:  
DS2000 51.40 lin. metres  
DS1520 25.70 lin. metres  
DS1200 25.70 lin. metres  
DS960 25.70 lin. metres  
DS800 25.70 lin. metres



Höga Kusten Bridge, Sweden  
built: 1997  
suspension bridge  
main span: 1210 m  
type of joint:  
DS1840 36.80 lin. metres



Stura di Demonte, Italy  
built: 1999  
Composite steel bridge  
length of bridge: 2750 m  
type of joint:  
DS1200 24.50 lin. metres

# MAURER Swivel-Joist Expansion Joint



**Maurer Söhne Head Office**  
Frankfurter Ring 193, D-80807 München  
P.O. Box 44 01 45, 80750 München/Germany  
Phone ++49/89/32394-0  
Fax ++49/89/32394-306  
e-mail [ba@mchn.maurer-soehne.de](mailto:ba@mchn.maurer-soehne.de)  
Internet [www.maurer-soehne.de](http://www.maurer-soehne.de)

**Maurer Söhne Main Branch Office**  
Zum Holzplatz 2, D-44536 Lünen  
P.O. Box 63 40, D-44520 Lünen  
Phone ++49/2 31/ 4 34 01-0  
Fax ++49/2 31/4 34 01-11

**Maurer Söhne Subsidiary Plant**  
Kamenzer Str. 4-6, D-02994 Bernsdorf  
P.O. Box 55, D-02992 Bernsdorf  
Phone ++49/3 57 23/ 2 37-0  
Fax ++49/3 57 23/2 37-20

BA17D-5000-11.00

**MAURER SÖHNE**  
Innovations in steel



Since 1876

## BIODATA PENULIS



Memiliki nama lengkap Nabil Izza Abdullah yang akrab dipanggil Bilbod, lahir di Gresik, 30 Oktober 1997. Penulis merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Sebelumnya penulis telah mengenyam pendidikan di SD Negeri Pongangan, SMPN 1 Gresik, SMAN 1 Gresik. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS. Di jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang struktur.

Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif dalam bidang kompetisi, khususnya dalam desain jembatan dan bangunan tahan gempa. Penulis berhasil menorehkan juara dalam hal tersebut. Selain aktif dalam bidang kompetisi, penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh BEM-ITS yaitu ITS Expo tahun 2017, dan HMS-ITS dengan Civil Expo tahun 2018,2019.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Brantas Abipraya dalam proyek pembangunan Gedung Edutorium di Universitas Muhammadiyah Surakarta, pada bulan Juni-Agustus 2019. Penulis dapat dihubungi melalui email : [nabilbilbod@gmail.com](mailto:nabilbilbod@gmail.com)