



TUGAS AKHIR – RC09-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN
KALIPEPE DENGAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED
SYSTEM* DAN *PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL
BOX GIRDER***

M. AKBAR ALRASYIDI
NRP. 3115 105 026

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio, ST., MT., Ph. D.

Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC09-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN
KALIPEPE DENGAN *ASYMMETRIC CABLE
STAYED SYSTEM* DAN *PRESTRESSED CONCRETE
SEGMENTAL BOX GIRDER***

M. AKBAR ALRASYIDI

NRP. 3115 105 026

Dosen Pembimbing I:

Prof. Tavio, ST., MT., Ph. D.

Dosen Pembimbing II:

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN
KALIPEPE DENGAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED
SYSTEM* DAN *PRESTRESSED CONCRETE
SEGMENTAL BOX GIRDER***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

M. AKBAR ALRASYIDI

Nrp. 3115105026

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Tavo, ST., MT., Ph.D.

2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.



SURABAYA

JULI, 2017

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN
KALIPEPE DENGAN *ASYMMETRIC CABLE STAYED
SYSTEM* DAN *PRESTRESSED CONCRETE
SEGMENTAL BOX GIRDER***

Nama Mahasiswa : M. Akbar Alrasyidi
NRP : 3115 105 026
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prov. Tavio, ST., MT., Ph. D.
2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

Abstrak

Jembatan Kali Pepe merupakan bagian dari proyek jalan bebas hambatan Solo-Kertosono yang melintasi sungai Pepe. Dimana jembatan yang masih dalam tahap pengerjaan ini di desain menggunakan konstruksi PC I girder. Bentang bersih jembatan ini sepanjang 85,2 m yang dibagi menjadi 2 bagian sama panjang dengan 3 pilar penopang serta memiliki lebar jembatan selebar 12 m. Penggunaan gelagar beton prategang dengan pier di tengah menimbulkan kesan masif dan kokoh, namun kurang memiliki nilai estetika dan dapat mengurangi luas efektif penampang basah pada sungai.

Maka dalam penulisan tugas akhir ini Jembatan Kali Pepe akan direncanakan ulang sebagai jembatan cable stayed asimetris dengan menggunakan box girder beton prestressed segmental (PC SB girder) dengan bentang 135 m dan lebar 13,5m. Susunan kabel pada arah melintang berupa double planes system, sedangkan untuk arah memanjang berupa semi harp pattern. Desain lantai kendaraan berupa pelat beton bertulang dengan gelagar berupa box girder beton prestressed. Pylon (tiang) pada jembatan ini didesain menggunakan material beton bertulang.

Pada pengerjaan tugas akhir ini dibantu dengan software MIDAS CIVIL 2011, 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 menyusun gambar kerja. Permodelan struktur menggunakan fishbone model dengan pembebanan berdasarkan SNI 1725 2016 dan SNI 2833 2013. Staging analysis menggunakan metode demolishing procedure atau backward solution. Hasil yang diperoleh dari perencanaan ini berupa penulangan dan tendon prategang pada gelagar, dimensi kabel, penulangan angker, serta penulangan pylon dalam bentuk laporan dan gambar teknik.

Kata kunci : jembatan, asymmetric cable stayed, semi harp pattern, double plane system, prestressed concrete segmental box girder.

**STRUCTURE MODIFICATION DESIGN OF
KALIPEPE BRIDGE USING ASYMMETRIC CABLE
STAYED SYSTEM AND PRESTRESSED CONCRETE
SEGMENTAL BOX GIRDER**

Nama Mahasiswa : M. Akbar Alrasyidi
NRP : 3115 105 026
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prov. Tavio, ST., MT., Ph. D.
2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

Abstract

The Kali Pepe bridge is part of Solo-Kertosono highway project which crosses the Pepe river. Where the bridge that still in construction phase here was designed using PC I girder. The clear span of this bridge along 85,2 m that divided into 2 equal parts of length with 3 support pillars and having 12 m of width. The use of prestressed concrete with pier in the middle of the river make an impression of massive and sturdy, yet less of aesthetic value and could decrease the effective linier waterway of the river.

Accordingly, in this final task the Kali Pepe bridge is redesigned as asymmetric cable stayed bridge with prestressed concrete segmental box girder (PC SB girder) which its span along 135 m and its width 13,5m. Cable bridge configuration in transversal direction use double planes system while in longitudinal direction use semi harp pattern. The design of the deck bridge use prestressed concrete segmental box girder. While the pylon of this bridge is designed with reinforced concrete..

In this final task arrangement use many of computer progam as MIDAS CIVIL 2011, SAP 2000 dan AUTOCAD. This

planning phase is started from collecting data and study of literature, preliminary design, designing of secondary structure, designing of primary structure, modeling and analyzing the structure, controlling of aerodynamic stability, and arranging of engineering drawing. The structure modeling use the fishbone model with the loading case based on SNI 1725:2016 and SNI 2833:2013. The staging analysis use demolishing procedure method or backward solution. The result from this planning are girder reinforcing and prestressing, cable dimension, anchor reinforcing, pylon reinforcing as a report and engineering drawing.

Keyword : bridge, asymmetric cable stayed, semi harp pattern, double plane system, prestressed concrete segmental box girder.

KATA PENGANTAR

Pertama – tama penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatnya di dalam memberi kesehatan dan kekuatan kepada penulis guna menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusunan Tugas Akhir ini diajukan oleh penulis dalam rangka memenuhi persyaratan akademis pada program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Adapun topik dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah **Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan *Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder***

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna untuk itu segala saran, kritik serta masukan yang sifatnya membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, 18 Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | ii |
| ABSTRAK | iii |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | 1 |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan..... | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Manfaat..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Umum | 5 |
| 2.2 Tipe kabel | 6 |
| 2.3 Sistem kabel | 7 |
| 2.4 <i>Pylon</i> (tower)..... | 12 |
| 2.5 <i>Deck</i> (Lantai Jembatan) | 12 |
| 2.5.1 Precast Segmental Box Girder | 15 |
| 2.6 Metode Pelaksanaan | 17 |
| 2.6.1 <i>Staging method</i> | 18 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.6.2 | Push out method | 19 |
| 2.6.3 | Cantilever Method | 20 |
| BAB III METODOLOGI..... | | 23 |
| 3.1 | Diagram Alir Perencanaan Jembatan Kali Pepe..... | 23 |
| 3.2 | Pengumpulan Data dan Studi Literatur..... | 24 |
| 3.3 | Preliminary Desain | 25 |
| 3.3.1 | Susunan Kabel | 25 |
| 3.3.2 | Dimensi Kabel | 26 |
| 3.3.3 | Dimensi Struktur <i>Pylon</i> | 29 |
| 3.3.4 | Dimensi Struktur Gelagar..... | 29 |
| 3.4 | Perhitungan Gaya Prategang | 29 |
| 3.5 | Kehilangan Gaya Prategang..... | 30 |
| 3.6 | Pembebanan | 35 |
| 3.7 | Kontrol Stabilitas Aerodinamis | 45 |
| 3.8 | Desain angker..... | 52 |
| 3.9 | Metode Pelaksanaan..... | 53 |
| 3.10 | Permodelan dan Analisa Struktur | 54 |
| 3.11 | Menyusun Gambar Kerja | 54 |
| BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN..... | | 55 |
| 4.1 | Preliminary Desain | 55 |
| 4.1.1 | Data Perencanaan Modifikasi..... | 55 |
| 4.1.2 | Konfigurasi Susunan Kabel..... | 55 |
| 4.1.3 | Gelagar | 57 |
| 4.1.4 | <i>Pylon</i> | 58 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2 | Perhitungan Struktur Sekunder | 59 |
| 4.2.1 | Tiang dan Pipa Sandaran..... | 59 |
| 4.2.2 | Kerb | 65 |
| 4.2.3 | Trotoar..... | 67 |
| 4.3 | Permodelan Dan Analisa Struktur | 68 |
| 4.3.1 | Dimensi Gelagar | 68 |
| 4.3.2 | Dimensi Kabel | 69 |
| 4.3.3 | Dimensi Pylon | 77 |
| 4.3.4 | Analisa Pembebanan..... | 79 |
| 4.3.5 | Permodelan..... | 91 |
| 4.3.6 | Analisa Struktur..... | 92 |
| 4.4 | Staging Analysis..... | 95 |
| 4.4.1 | Pembebanan Staging Analysis | 95 |
| 4.4.2 | Tahapan Staging Analysis..... | 98 |
| 4.4.3 | Tuning Kabel Awal..... | 104 |
| 4.4.4 | Hasil staging analysis..... | 105 |
| 4.5 | Struktur Kabel | 108 |
| 4.5.1 | Data Perencanaan..... | 108 |
| 4.5.2 | Gaya <i>Stressing</i> Kabel | 109 |
| 4.5.3 | Analisa Penampang Kabel dengan A_{aktual} | 113 |
| 4.6 | Gelagar..... | 120 |
| 4.6.1 | Tegangan ijin bahan beton | 120 |
| 4.6.2 | Propertis penampang gelagar..... | 121 |
| 4.6.3 | Analisa penampang gelagar..... | 121 |

| | | |
|-----------------------|--|-----|
| 4.6.4 | Kontrol Stabilitas Aerodinamis | 164 |
| 4.7 | Pylon..... | 180 |
| 4.7.1 | Penampang <i>pylon</i> | 180 |
| 4.7.2 | Analisa penampang <i>pylon</i> | 181 |
| 4.7.3 | Analisa angkur pada <i>pylon</i> | 198 |
| BAB V PENUTUP | | 205 |
| 5.1 | Ringkasan..... | 205 |
| 5.2 | Saran..... | 206 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 207 |
| BIODATA PENULIS | | 209 |
| LAMPIRAN | | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1. 1. Kondisi Eksisting Jembatan Kali Pepe..... | 1 |
| Gambar 1. 2. Desain modifikasi struktur jembatan Kali Pepe | 2 |
| Gambar 2. 1. Tipe kabel (Soegihardjo, 2007) | 7 |
| Gambar 2. 2. Harp pattern (pola kecapi) | 9 |
| Gambar 2. 3. <i>Fan pattern</i> (pola kipas)..... | 9 |
| Gambar 2. 4. Semi Harp pattern (pola setengah kecapi)..... | 9 |
| Gambar 2. 5. <i>Asymmetric pattern</i> (pola tidak simetris) | 9 |
| Gambar 2. 6. pola sistem kabel dari sudut pandang 3dimensi..... | 10 |
| Gambar 2. 7. <i>Asymmetrical semi-harp with a supported</i> | 11 |
| Gambar 2. 8. Model <i>anchor block</i> dan gaya yang bekerja | 11 |
| Gambar 2. 9. Tipe bidang pylon (tiang) | 12 |
| Gambar 2. 10. Dek Kotak dari Baja dengan sistem | 13 |
| Gambar 2. 11. Dek Baja dengan sistem Balok Kembar, | 13 |
| Gambar 2. 12. Dek Komposit dengan Balok Kembar, Jembatan Industrial Ring Road, Bangkok | 14 |
| Gambar 2. 13. Dek Kotak Puntir Beton, Jembatan Sunshine Skyway, USA | 14 |
| Gambar 2. 14. Dek Balok Beton Kembar, | 15 |
| Gambar 2. 15. Segmen Jembatan Box Girder | 16 |
| Gambar 2. 16. Prosedur pelaksanaan <i>Staging Method</i> | 18 |
| Gambar 2. 17. Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out. | 20 |
| Gambar 2. 18. Metode pelaksanaan kantilever..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1. Diagram Alir Perencanaan | 23 |
| Gambar 3. 2 Tinggi optimum pylon | 26 |
| Gambar 3. 3. Reaksi gaya kabel | 27 |
| Gambar 3. 4. Gaya pada kabel..... | 28 |
| Gambar 3. 5. Beban lajur “D” | 36 |
| Gambar 3. 6. Beban Truk..... | 38 |
| Gambar 3. 7. Faktor beban dinamis untuk beban “T” | 38 |
| Gambar 3. 8. Koefisien CN..... | 48 |
| Gambar 3. 9. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther, 1999) | 49 |
| Gambar 3. 10. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan getaran (Walther, 1999) | 50 |
| Gambar 3. 11. Efek ayunan (Walther, 1999)..... | 50 |
| Gambar 3. 12. Kecepatan kritis teoritis efek ayunan | 51 |
| Gambar 3. 13 Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan pelaksanaan | 54 |
| | |
| Gambar 4. 1. Susunan kabel arah memanjang (satuan dalam meter) | 55 |
| Gambar 4. 2. Susunan kabel arah melintang (satuan dalam meter) | 56 |
| Gambar 4. 3. Dimensi gelagar box (satuan dalam meter) | 58 |
| Gambar 4. 4. Tiang sandaran (satuan dalam meter) | 59 |
| Gambar 4. 5. Profil sandaran (satuan dalam mm) | 60 |

| | |
|---|-----------|
| Gambar 4. 6. Penampang pipa sandaran | 61 |
| Gambar 4. 7. Sambungan las (satuan dalam mm) | 63 |
| Gambar 4. 8. Potongan trotoar dan kerb (satuan dalam mm) | 65 |
| Gambar 4. 9. Penampang melintang gelagar (satuan dalam meter) | 69 |
| Gambar 4. 10. Tatanan sistem kabel | 70 |
| Gambar 4. 11. Ilustrasi beban yang dipikul kabel | 71 |
| Gambar 4. 12. Dimensi Penampang Pylon (satuan dalam cm) ... | 79 |
| Gambar 4. 13. Grafik Response Spectrum MIDAS/Civil | 85 |
| Gambar 4. 14. Vibration mode shape pada mode 1 menunjukkan lentur arah X..... | 86 |
| Gambar 4. 15. Vibration mode shape pada mode 2 menunjukkan lentur arah Y | 87 |
| <i>Gambar 4. 16. Permodelan elemen jembatan</i> | <i>91</i> |
| Gambar 4. 17. Tampak memanjang dan melintang permodelan . | 92 |
| Gambar 4. 18. Contoh form traveler yang dipakai | 96 |
| Gambar 4. 19. Spesifikasi form traveler (dalam m)..... | 97 |
| Gambar 4. 20. Permodelan dan input beban pada form traveler . | 97 |
| Gambar 4. 21. Hasil analisa reaksi pada form traveler (dalam ton) | 98 |
| Gambar 4. 22. Penomoran kabel dan gelagar | 98 |
| Gambar 4. 23 Cycle 1 | 99 |
| Gambar 4. 24. Cycle 2 | 99 |
| Gambar 4. 25. Cycle 3 | 99 |
| Gambar 4. 26. Cycle 4 | 100 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4. 27. Cycle 5 | 100 |
| Gambar 4. 28. Cycle 6 | 100 |
| Gambar 4. 29. Cycle 7 | 101 |
| Gambar 4. 30. Cycle 8 | 101 |
| Gambar 4. 31. Cycle 9 | 101 |
| Gambar 4. 32. Cycle 10 | 102 |
| Gambar 4. 33. Cycle 11 | 102 |
| Gambar 4. 34. Cycle 12 | 102 |
| Gambar 4. 35. Cycle 13 | 103 |
| Gambar 4. 36. Cycle 14 | 103 |
| Gambar 4. 37. Cycle 15 | 103 |
| Gambar 4. 38. Cycle 16 | 104 |
| Gambar 4. 39. Tahap akhir <i>staging</i> | 104 |
| Gambar 4. 40. Hasil cable force tuning dengan beban mati..... | 105 |
| Gambar 4. 41. Penomoran elemen dek | 105 |
| Gambar 4. 42. Penomoran node dek..... | 106 |
| Gambar 4. 43. Tatanan sistem kabel..... | 109 |
| Gambar 4. 44. Hasil cable force tuning dengan beban mati..... | 111 |
| Gambar 4. 45. Detail angker VSL SSI 2000 yang digunakan ... | 116 |
| Gambar 4. 46. Notasi dimensi angkur | 116 |
| Gambar 4. 47. Model penampang gelagar (dalam m)..... | 121 |
| Gambar 4. 48. Posisi tendon atas (dalam m) | 123 |
| Gambar 4. 49. Posisi tendon bawah (dalam m)..... | 125 |
| Gambar 4. 50. Posisi kabel putus 1..... | 134 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4. 51. Permodelan untuk penulangan memanjang box | 143 |
| Gambar 4. 52. Penulangan blok ujung atas (dalam m) | 147 |
| Gambar 4. 53. Penulangan blok ujung bawah (dalam m) | 148 |
| Gambar 4. 54. Periksa blok ujung bawah (dalam m) | 149 |
| Gambar 4. 55. Periksa blok ujung bawah (dalam m) | 150 |
| Gambar 4. 56. Permodelan untuk penulangan melintang box | 151 |
| Gambar 4. 57. Rencana shear-key joint (dalam m) | 154 |
| Gambar 4. 58. Potongan A-A (dalam m) | 154 |
| Gambar 4. 59. Detail angker VSL SSI 2000 yang digunakan | 157 |
| Gambar 4. 60. Notasi dimensi angkur | 158 |
| Gambar 4. 61. Asumsi perletakan jembatan | 161 |
| Gambar 4. 62. Dimensi pot bearing | 162 |
| Gambar 4. 63. Jenis expansion joint yang digunakan | 163 |
| Gambar 4. 64. Detail expansion joint yang digunakan | 163 |
| Gambar 4. 65. mode frekwensi lentur (fB) | 167 |
| Gambar 4. 66. mode frekwensi torsi (fT) | 168 |
| Gambar 4. 67. Macam penampang deck | 172 |
| Gambar 4. 68. Koefisien CN | 172 |
| Gambar 4. 69. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther, 1999) | 174 |
| Gambar 4. 70. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan getaran (Walther, 1999) | 175 |
| Gambar 4. 71. Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$ | 176 |
| Gambar 4. 72. Grafik efek flutter $T_{bending}=1,26$ dan $T_{torsion}=0,53$ | 176 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4. 73. Kecepatan kritis teoritis untuk efek ayunan | 178 |
| Gambar 4. 74. Grafik koefisien koreksi | 179 |
| Gambar 4. 75. Dimensi Penampang Pylon (satuan dalam cm) . | 181 |
| Gambar 4. 76. Section properties penampang kolom | 182 |
| Gambar 4. 77. Hasil analisa kolom pada program bantu spColumn | 186 |
| Gambar 4. 78. Desain penulangan kolom | 190 |
| Gambar 4. 79. Section properties penampang lower cross beam | 191 |
| Gambar 4. 80. Hasil analisa lower cross beam pada program bantu spColumn..... | 192 |
| Gambar 4. 81. Desain penulangan lower cross beam | 194 |
| Gambar 4. 82. Section properties penampang upper cross beam | 195 |
| Gambar 4. 83. Hasil analisa upper cross beam pada program bantu spColumn..... | 196 |
| Gambar 4. 84. Desain penulangan upper cross beam | 198 |
| Gambar 4. 85. Detail angker VSL SSI 2000 yang digunakan... | 199 |
| Gambar 4. 86. Notasi dimensi angkur | 200 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 1. Nilai Koefisien Wobble dan koefisien kelengkungan | 31 |
| Tabel 3. 2. Nilai Koefisien Faktor Susut | 33 |
| Tabel 3. 3. Nilai Kre dan J | 33 |
| Tabel 3. 4. Nilai C..... | 34 |
| Tabel 3. 5. faktor beban untuk beban lajur “D” | 37 |
| Tabel 3. 6. Faktor beban untuk beban “T” | 38 |
| Tabel 3. 7. Faktor beban akibat susut dan rangkai | 39 |
| Tabel 3. 8. Faktor beban akibat pengaruh prategang | 40 |
| Tabel 3. 9. Nilai V_0 dan Z_0 | 42 |
| Tabel 3. 10. Tekanan angin dasar | 42 |
| Tabel 3. 11. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan | 43 |
| | |
| Tabel 4. 1. Jenis Kabel dan Anker | 56 |
| Tabel 4. 2. Luas trotoar terhadap beban nominal | 67 |
| Tabel 4. 3. Jenis Kabel dan Anker | 69 |
| Tabel 4. 4. Kebutuhan jumlah kabel | 74 |
| Tabel 4. 5. Nilai modulus elastisitas ekuivalen kabel | 76 |
| Tabel 4. 6. Gaya Aksial pada Pylon..... | 77 |
| Tabel 4. 7. Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur | 82 |
| Tabel 4. 8. Temperatur jembatan rata-rata nominal | 82 |
| Tabel 4. 9. Nilai V_0 dan Z_0 | 83 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4. 10. Tekanan angin dasar | 84 |
| Tabel 4. 11. Konfigurasi pembebanan LL..... | 91 |
| Tabel 4. 12. Periode struktur tiap mode shape | 92 |
| Tabel 4. 13. Modal Participation masses (%)..... | 93 |
| Tabel 4. 14. Hasil output gaya dalam dek | 93 |
| Tabel 4. 15. Hasil output gaya dalam pylon..... | 94 |
| Tabel 4. 16. Hasil output gaya kabel..... | 94 |
| Tabel 4. 17. Konfigurasi pembebanan untuk staging analysis | 95 |
| Tabel 4. 18. Spesifikasi Form Traveler Tipe Overhead Triangle | 96 |
| Tabel 4. 19. Hasil output gaya dalam dek pada staging analysis | 105 |
| Tabel 4. 20. Hasil output displacement dek pada <i>staging analysis</i> | 106 |
| Tabel 4. 21. Hasil output gaya dalam pylon pada staging analysis | 107 |
| Tabel 4. 22. Hasil output gaya kabel pada staging analysis | 107 |
| Tabel 4. 23. Jenis Kabel dan Anker | 108 |
| Tabel 4. 24. Kebutuhan preliminary jumlah kabel | 109 |
| Tabel 4. 25. Gaya tarik awal kabel | 111 |
| Tabel 4. 26. Kebutuhan jumlah kabel akibat gaya tarik awal.... | 112 |
| Tabel 4. 27. Gaya maksimum tiap kabel..... | 112 |
| Tabel 4. 28. Kebutuhan jumlah kabel akibat gaya tarik maksimum | 113 |
| Tabel 4. 29. Hasil analisa gaya tarik dari A_{aktual} | 114 |
| Tabel 4. 30. Kontrol kemampuan kabel dari AS_{aktual} | 115 |

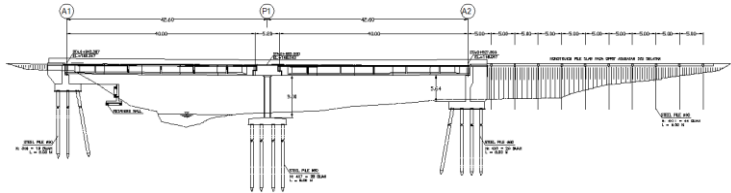
| | |
|---|-----|
| Tabel 4. 31. Gaya tarik A_{aktual} pada blok angkur..... | 116 |
| Tabel 4. 32. Spesifikasi angker VSL SSI 2000 yang digunakan | 117 |
| Tabel 4. 33. Kontrol tegangan beton saat <i>stressing</i> pada kabel di blok angkur..... | 118 |
| Tabel 4. 34. Gaya tarik A_{aktual} pada gelagar | 157 |
| Tabel 4. 35. Spesifikasi angker VSL SSI 2000 yang digunakan | 158 |
| Tabel 4. 36. Kontrol tegangan beton saat <i>stressing</i> pada kabel di gelagar..... | 159 |
| Tabel 4. 37. Spesifikasi pot bearing..... | 162 |
| Tabel 4. 38. Dimensi dan spesifikasi expansion joint | 164 |
| Tabel 4. 39. nilai f_B dan f_T | 169 |
| Tabel 4. 40. Rekapitulasi nilai ϵ | 177 |
| Tabel 4. 41. Gaya tarik dari A_{aktual} pada <i>pylon</i> | 199 |
| Tabel 4. 42. Spesifikasi angker VSL SSI 2000 yang digunakan | 200 |
| Tabel 4. 43. Kontrol tegangan beton saat <i>stressing</i> pada kabel di <i>pylon</i> | 202 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

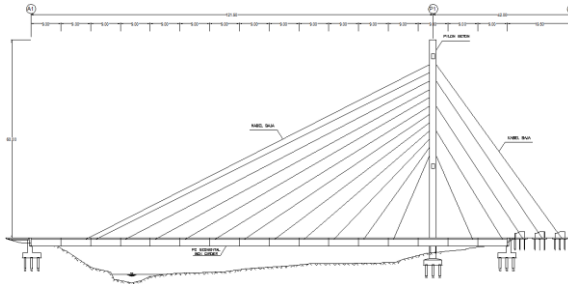
Jembatan Kali Pepe merupakan bagian dari proyek jalan bebas hambatan Solo-Kertosono yang melintasi sungai Pepe. Dimana jembatan yang masih dalam tahap pengerjaan ini di desain menggunakan konstruksi PC I girder. Bentang bersih jembatan ini sepanjang 85,2 m yang dibagi menjadi 2 bagian sama panjang dengan 3 pilar penopang serta memiliki lebar jembatan selebar 12 m. Selain itu terdapat konstruksi *pile slab*, untuk mencegah kelongsoran dari timbunan tinggi, di sisi selatan jembatan sepanjang 50 m dari *abutment*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1. 1. Kondisi Eksisting Jembatan Kali Pepe

Penggunaan gelagar beton prategang dengan *pier* di tengah menimbulkan kesan masif dan kokoh, namun kurang memiliki nilai estetika dan dapat mengurangi luas efektif penampang basah pada sungai. Maka sebaiknya perlu adanya modifikasi pada konstruksi jembatan.

Dalam tugas akhir ini jembatan Kali Pepe akan direncanakan ulang sebagai jembatan cable stayed asimetris dengan menggunakan *box girder* beton *prestressed segmental* (PC SB girder) sesuai Gambar 1.2.



Gambar 1. 2. Desain modifikasi struktur jembatan Kali Pepe

Modifikasi ini dipilih karena jembatan *cable stayed* merupakan tipe jembatan bentang panjang dengan tingkat estetika tinggi yang didapat dari susunan pilar, kabel, dan dek jembatan (Yuskar dan Andi, 2005).

Namun juga mempertahankan kesan kokoh dari penggunaan *prestressed concrete segmental box girder* yang memiliki kekakuan torsi yang cukup untuk menahan momen lentur yang besar. Penggunaan tendon prategang sendiri cukup dipasang secara *partial* karena telah terdapat gaya tekan horisontal pada dek yang ditimbulkan tarikan dari kabel (Leonhardt, 1987). Salah satu tujuan lain penggunaan *prestressed concrete segmental box girder* adalah untuk mendapatkan dimensi yang sama dari gelagar sehingga lebih ekonomis untuk jembatan bentang panjang skala besar (Strasky, 1993).

Pemilihan bentuk asimetris sendiri pada modifikasi ini selain mengejar nilai estetika yang lebih tinggi daripada bentuk simetris, juga berdasarkan alasan teoritis berupa pengurangan gaya vertikal pada amgkur dengan cara mengurangi kelandaian kabel sehingga sudut optimum kabel yaitu 45° tercapai (Walther, 1999)

Perkembangan jembatan *cable stayed* sendiri dimulai sejak tahun 1950an ditandai dengan dibangunnya jembatan Stromsund, Swedia dengan bentang utama 182,6m. Sedangkan *cable stayed concrete bridge* pertama yaitu

jembatan Maracaibo dibangun pada 1962 (Gimsing, 1999). Jembatan Brotonne, Paris dengan bentang 320m pada tahun 1977 menjadi yang pertama menggunakan sistem *cable stayed prestressed concrete segmental box girder* yang dilanjutkan dengan jembatan Sunshine Skyway, Florida dengan bentang 360m pada tahun 1987 dan menjadi yang terpanjang di Amerika Utara (Muller, 2006). Dan di abad 21 ini, 7 dari 10 jembatan *cable stayed* terpanjang berada di Asia yaitu Cina dan Jepang (Gimsing, 1999).

Maka dengan adanya modifikasi ini diharapkan ruang bebas yang lebar untuk luas efektif penampang basah pada sungai dan nilai estetika yang tinggi dapat tercapai. Serta menjadi pemicu bagi kita untuk ke depannya dalam mendesain jembatan *cable stayed* di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, permasalahan yang ditinjau dalam tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana merencanakan modifikasi struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder*
2. Bagaimana memodelkan modifikasi struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder* dengan program bantu
3. Bagaimana mengontrol modifikasi struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder*
4. Bagaimana menghasilkan laporan perhitungan struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder*
5. Bagaimana menuangkan hasil desain tersebut ke dalam bentuk gambar teknik

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah

1. Merencanakan modifikasi struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder*
2. Memodelkan modifikasi struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder* dengan progam bantu
3. Mengontrol modifikasi struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder*
4. Menghasilkan laporan perhitungan struktur jembatan Kali Pepe ini sebagai jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *PC SB girder*
5. Menghasilkan gambar teknik sesuai hasil desain

1.4 Batasan Masalah

Didasari adanya keterbatasan waktu dan kemampuan dalam menyusun tugas akhir ini, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut

1. Tidak meninjau analisa biaya konstruksi dan waktu pelaksanaan
2. Tidak meninjau aspek hidrologi sungai Pepe
3. Tidak merencanakan perkerasan dan drainase jalan
4. Tidak merencanakan struktur bawah

1.5 Manfaat

1. Sebagai referensi dalam mendesain jembatan *cable stayed* asimetris dengan menggunakan *prestressed concrete segmental box girder*
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan merupakan prasarana transportasi yang digunakan oleh manusia untuk melewati rintangan dan menuju ke suatu tempat di seberang rintangan tersebut. Manusia mulai menggunakan jembatan sejak zaman purba yaitu berupa jembatan alami seperti pohon tumbang yang melintasi rintangan (jembatan balok sederhana) (Ma'arif, 2012). Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi struktur jembatan terus mengalami kemajuan yang pesat.

Pada abad ke-11 sampai dengan 16, jembatan pelengkung masih menjadi desain andalan. Baru kemudian pada tahun 1776 di Inggris untuk kali pertama jembatan besi dibangun, (Jembatan Coalbrookdale yang melintasi Sungai Severn) dengan desain yang berbeda berbentuk setengah lingkaran. Pada abad pertengahan ini jembatan besi yang dibangun pada umumnya masih menggunakan prinsip *arc bridge* (jembatan berbentuk lengkung)(Ma'arif, 2012). Kemudian pada abad ke-18 masuk pada era baru dalam perencanaan jembatan, yaitu era jembatan gantung. Jembatan jenis ini kali pertama diperkenalkan pada tahun 1825 di Inggris (Jembatan Menai Straits). Pada mulanya penggantung yang digunakan berupa rantai besi, kemudian mengalami perkembangan menjadi baja batangan, dan yang terbaru menggunakan *wire steel* (kabel baja). Penggunaan kabel baja ini digunakan pada *suspension bridge* (jembatan kabel suspensi), pertama kali diterapkan pada jembatan Brooklyn, New York, (1883), kemudian diikuti dengan Golden Gate, San Francisco (1937) (Ma'arif, 2012).






Di akhir abad ini banyak diterapkan sistem jembatan baru yang merupakan perkembangan dari *suspension bridge* yaitu *cable stayed bridge* (jembatan kabel tetap). Sistem ini menjadi sangat populer dalam desain jembatan karena efektif dan efisien, jembatan ini tergolong jembatan bentang menengah dan panjang, bangunan atas berupa balok elastis yang menerus yang didukung oleh kabel, yang terhubung dengan *pylon* (tiang). Sistem struktur dari jembatan ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu, *deck* (lantai jembatan), tiang, dan kabel. Hubungan dari ketiga komponen tersebut menjadikan perilaku struktur dari jembatan *cable stayed* efektif untuk struktur bentang panjang dan sebagai penambah kesan *estetika* (keindahan).

2.2 Tipe kabel

Beberapa jenis kabel yang berbeda digunakan pada jembatan *cable stayed*, bentuk dan konfigurasinya tergantung pada susunannya. Dalam satu helai biasanya terdiri dari tujuh kawat, dengan diameter antara 3 sampai 7 mm. Kabel merupakan bagian yang paling penting dalam desain jembatan *cable stayed*, karena berfungsi menyalurkan beban mati dari struktur atas (lantai jembatan) menuju ke *pylon* (tiang) (Walther, 1999). Biasanya kabel yang digunakan berupa kabel prategang yang ditempatkan pada lantai jembatan. Kabel prategang dipilih guna mengurangi penyimpangan vertikal dari lantai jembatan dan penyimpangan lateral dari tiang.

Ada empat jenis kabel yang umum digunakan pada konstruksi jembatan *cable stayed*, antara lain (Soegihardjo, 2007) :

- *Parallel-bar cables* (kabel batang paralel)
- *Parallel-wire cables* (kabel kawat paralel)
- *Stranded cables* (kabel strand)
- *Locked-coil cables* (kabel terbungkus coil)

| Type of cable |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| | Coupled bars 7 \varnothing 36 Steel 835/1030 | Uncoupled bars 26 \varnothing 16 | Parallel wires 128 \varnothing 7 | Strands 27 \varnothing 15 | Locked-coil cables |
| Structure | Bars \varnothing 26-5, 32, 36 mm | Bars \varnothing 16 mm | Wires \varnothing 6, 7 mm | Strands \varnothing 0.5, 0.4, 0.7 in of 7 twisted wires | Wires with different profiles \varnothing 2.9-7 mm |
| 0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²) | 835 1080 | 1350 | 1470 | 1570 ~ 1670 | --- |
| Ultimate tensile strength, β_t (N/mm ²) | 1030 1230 | 1500 | 1670 | 1770 ~ 1870 | 1000 ~ 1300 |
| Fatigue* $\Delta\sigma$ (N/mm ²) σ_{max}/β_t | 80 0.60 | --- | 350 0.45 | 300 ~ 320 0.5 ~ 0.45 | 120 ~ 150 ~ 0.45 |
| Modulus of elasticity, E (N/mm ²) | 210000 | 210000 | 205000 | 190000 ~ 200000 | 160000 ~ 165000 |
| Failure load (kN) | 7339 | 7624 | 7487 | 7634 | 7310 |

Gambar 2. 1. Tipe kabel (Soegihardjo, 2007)

2.3 Sistem kabel

Sistem jembatan *cable stayed* berdasarkan penempatan susunan kabelnya memiliki beberapa variasi. Susunan kabel merupakan pokok persoalan dalam desain jembatan *cable stayed*. Tidak hanya berefek pada kekuatan struktur jembatan tetapi juga metode pelaksanaan dan biaya. Susunan kabel dari jembatan *cable stayed* dari sudut pandang 2 dimensi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1) *Harp pattern* (pola kecap)

Pada pola susunan *harp* (kecap), susunan kabelnya dibuat saling berdekatan dan sejajar dengan meletakkannya pada titik yang berbeda pada tiang seperti pada Gambar 2.2, jika ditinjau dari parameter biaya, pola susunan *cable stayed* seperti ini tidak efisien untuk jembatan bentang panjang. Hal ini dikarenakan membutuhkan banyak baja untuk kabelnya, sehingga memberi tekanan lebih pada lantai jembatan, dan mengakibatkan momen lengkung pada tiang. Penyusunan kabel yang sejajar memberikan

penampilan yang menarik untuk susunan *harp* (kecapi) (Walther et al 1999).

2) *Fan pattern* (pola kipas)

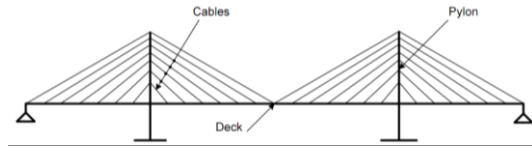
Ada beberapa literatur yang menyebutkan pola ini dengan pola *radial* (melingkar), namun disini disebut pola *fan* (kipas). Susunan pola ini, semua kabel dihubungkan pada satu titik di puncak tiang seperti pada Gambar 2.3. Secara relatif, tinggi kemiringan dari kabel menghasilkan potongan melintang yang lebih kecil dibandingkan dengan pola *harp* (kecapi). Selain itu, gaya horizontal kabel pada lantai jembatan pada susunan ini lebih kecil dari tipe *harp* (kecapi) (Walther et al., 1999).

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

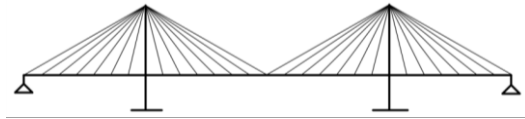
Beberapa jembatan *cable stayed* yang modern di dunia telah dibangun menggunakan pola *semi harp* guna efisiensi. Pola ini merupakan modifikasi dari pola *harp* dan *fan*. Seperti pada Gambar 2.4. pada susunan pola ini, kabel dihubungkan pada bagian atas tiang yang lebih tinggi dengan saling berdekatan (Walther et al., 1999).

4) *Asymmetric pattern* (pola tidak simetris)

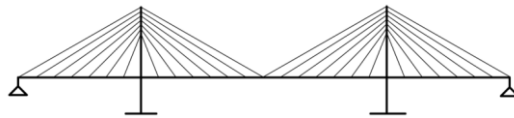
Akibat kondisi peta bumi dan jarak ruang memanjang seringkali mengharuskan untuk mendesain jembatan melewati rintangan dengan satu bentang, tanpa memungkinkan untuk menyeimbangkan struktur dengan bagian belakang yang menonjol Gambar 2.5. Pada kasus ini akan sangat membantu jika mengadopsi tali kekang dari jembatan tipe penggantung, dengan ciri pemusatan dari jangkar kabel. Pilihan dari landaian pada bagian belakang tali tergantung dari kondisi geologi dan geoteknikal (Walther et al., 1999).



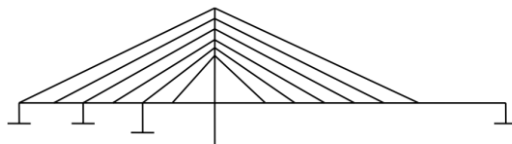
Gambar 2. 2. Harp pattern (pola kecapi)



Gambar 2. 3. *Fan pattern* (pola kipas)



Gambar 2. 4. Semi Harp pattern (pola setengah kecapi)



Gambar 2. 5. Asymmetric pattern (pola tidak simetris)

Sedangkan susunan kabel dari jembatan *cable stayed* dari sudut pandang 3 dimensi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a) *Two vertical planes system*

Pola ini memiliki dua alternatif *layout* yaitu kabel diangkurkan di sisi terluar dari struktur dek atau dapat di letakkan di sisi dalam dari struktur dek (M.S. Troitsky,1988).

b) *Two inclined planes system*

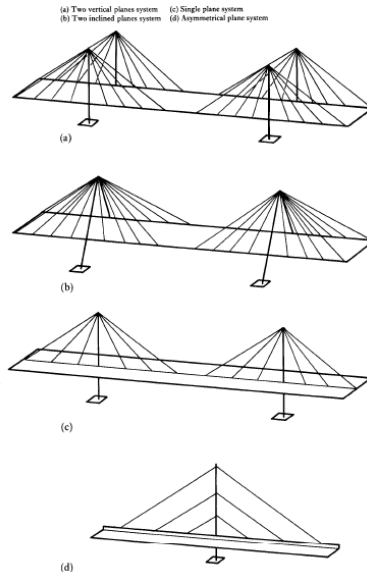
Sistem ini pertama kali digunakan pada jembatan Severin di Cologne, Jerman. Dimana semua kabel dari kedua sisi terluar dek mengarah pada titik di ujung atas tower berbentuk A. (M.S. Troitsky, 1988).

c) *Single plane system*

Dalam pola ini kabel-kabel diletakan sepanjang arah longitudinal jembatan pada tengah bentang dari struktur dek sehingga hanya membutuhkan *single tower* (M.S. Troitsky,1988).

d) *Asymmetric plane system*

Sistem ini hanya menggunakan salah satu sisi dari sisi terluar dek untuk meletakkan kabel dan tower dari jembatan (M.S. Troitsky,1988).

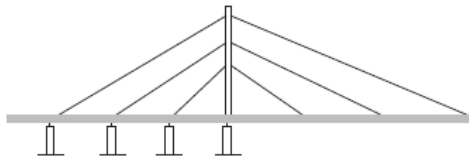


Gambar 2. 6. pola sistem kabel dari sudut pandang 3dimensi

2.3.1 Asymmetric semi-harp pattern

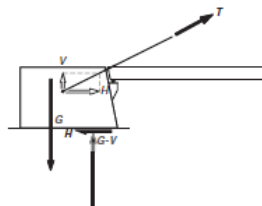
Sistem ini memiliki dua bentang yaitu *main span* dan *side span*. Dimana pada ujung *side span* terdapat *anchor block* guna menyeimbangkan *pylon* akibat tarikan kabel pada sisi *main span*. Pada sistem ini diharapkan dapat menggunakan penyangga sementara untuk mengatasi ketidakseimbangan beban mati saat pelaksanaan serta menjaga elevasi lantai kendaraan yang direncanakan.

Serta menggunakan *anchor block* dengan berat sendiri yang cukup besar untuk melawan komponen vertikal dari gaya kabel dan memberikan tekanan yang cukup pada pondasi untuk mencegah pergeseran akibat komponen horisontal dari gaya kabel. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2. 7. *Asymmetrical semi-harp with a supported side span*

(Dikutip dari : Gimsing, Neils J., dan Christos T. Georgakis. 2012)

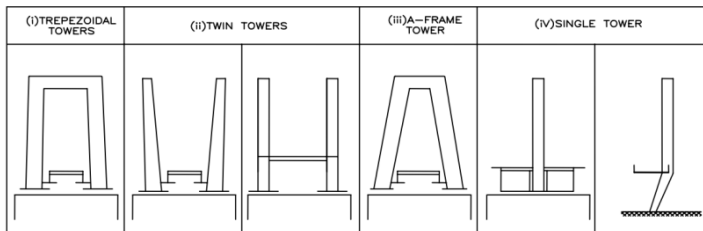


Gambar 2. 8. Model *anchor block* dan gaya yang bekerja

(Dikutip dari : Gimsing, Neils J., dan Christos T. Georgakis. 2012)

2.4 Pylon (tower)

Pylon (tower) jembatan *cable stayed* berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur. Tower dapat dibuat berongga maupun padat dari konstruksi baja maupun beton. Ada beberapa bentuk tower antara lain seperti, *single pylon* (tower tunggal), *twin pylon* (tower kembar), *A-Frame pylon* (tower berbentuk A), dan portal. Bentuk-bentuk tersebut dipilih berdasarkan susunan kabel.



Gambar 2. 9. Tipe bidang pylon (tiang)
(Dikutip dari : Troitsky, 1988)

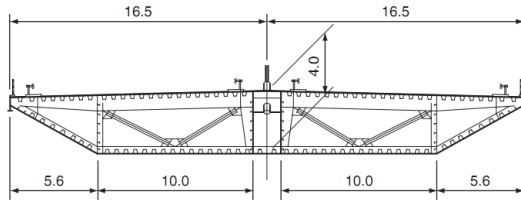
2.5 Deck (Lantai Jembatan)

Lantai jembatan merupakan jalan untuk kendaraan di permukaan jembatan *cable stayed*. Bahannya dapat terbuat dari material yang berbeda seperti baja, beton atau komposit baja-beton. Berat dari lantai jembatan mempunyai pengaruh yang signifikan pada kebutuhan kabel, tiang, dan pondasi. Berikut penjelasan lebih lanjut dari jenis lantai jembatan :

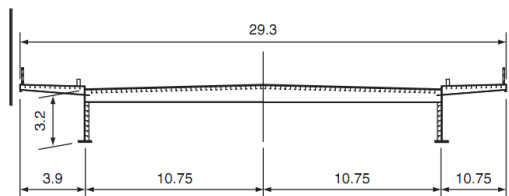
- 1) Lantai jembatan terbuat dari baja

Keunggulan dari lantai jembatan jenis ini adalah berat sendiri lantai yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan yang terbuat dari beton. Hal ini memungkinkan untuk mendesain lantai jembatan lebih lebar untuk digunakan pada jembatan *cable stayed*

bentang panjang (Juvani, 2012). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.10 dan 2.11 berikut



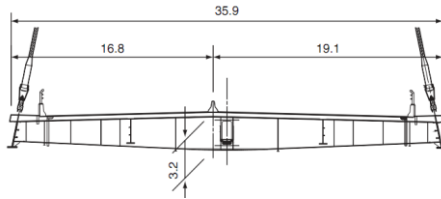
Gambar 2. 10. Dek Kotak dari Baja dengan sistem Multi-Cell Torsi, Jembatan Rama IX, Bangkok (Dikutip dari : ICE Manual of Bridge Engineering, 2008)



Gambar 2. 11. Dek Baja dengan sistem Balok Kembar, Jembatan Knie, Jerman (Dikutip dari : ICE Manual of Bridge Engineering, 2008)

2) Lantai jembatan terbuat dari komposit

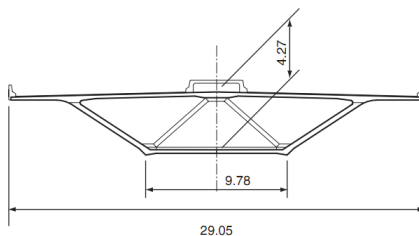
Lantai komposit merupakan struktur yang terdiri dari balok baja dan plat beton yang dikombinasikan. Pelat beton dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place* diatas elemen baja (balok baja). Berat sendiri dari lantai jembatan jenis ini lebih ringan jika dibandingkan dengan lantai jembatan yang terbuat dari beton. Elemen beton mempunyai pengaruh besar terhadap penambahan gaya normal pada lantai jembatan (Juvani, 2012). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.12 berikut :



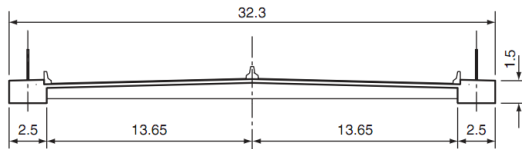
Gambar 2. 12. Dek Komposit dengan Balok Kembar, Jembatan Industrial Ring Road, Bangkok
(Dikutip dari : ICE Manual of Bridge Engineering, 2008)

3) Lantai jembatan terbuat dari beton

Lantai jembatan jenis ini dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place*, dikarenakan berat sendiri yang cukup besar lantai jenis ini cocok untuk bentang menengah dan panjang. Lantai ini dapat berupa beton bertulang maupun beton prategang. Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan lantai jembatan jenis ini tergolong murah, namun berat sendiri pada lantai jembatan mengakibatkan adanya tambahan beban mati pada jembatan. Hal ini menjadikan perlu untuk memperbesar dimensi dari kabel, tiang, dan pengangkeran pada struktur jembatan (Juvani, 2012). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.13 dan 2.14 berikut :



Gambar 2. 13. Dek Kotak Puntir Beton, Jembatan Sunshine Skyway, USA
(Dikutip dari : ICE Manual of Bridge Engineering, 2008)



Gambar 2. 14. Dek Balok Beton Kembar,
Jembatan Dames Point, USA
(Dikutip dari : ICE Manual of Bridge Engineering, 2008)

2.5.1 Precast Segmental Box Girder

Jembatan dengan *deck* berupa *box girder* adalah salah satu pilihan tipe jembatan yang dapat menampung bentang panjang, jembatan dengan tipe ini dapat menampung bentang antara 25 m – 300 m (Benaim, 2008). Sedangkan konstruksi segmental didefinisikan sebagai metode dimana beban utama yang mendukung anggota dengan cara ditekan bersamaan (Walter dan Muller, 1982).

Pemilihan tipe *box girder* sebagai konstruksi tipe segmental dikarenakan memiliki beberapa keuntungan dibandingkan bentuk lain. Bentuk kotak memiliki efisiensi *structural* tinggi yang dapat meminimalkan gaya *prestress* yang dibutuhkan untuk menahan momen lentur yang diberikan dan kekuatan puntir yang besar dengan kembali pusat beban hidup eksentrik, meminimalkan prategang yang diperlukan (Benaim, 2008).

A. Bentuk Jembatan

Jembatan *precast segmental box girder* memiliki beberapa bentuk sebagai tampak memanjang. Bentuk memanjang dibagi atas tampak yaitu (Walter dan Muller, 1982) :

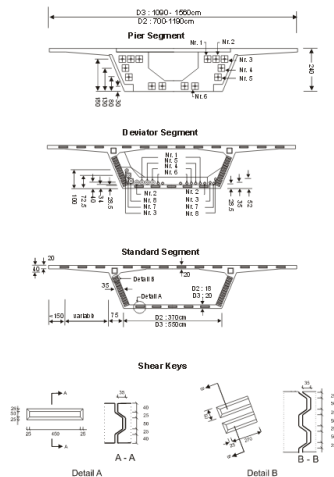
a) *Constant depth*

- b) *Semiconstant depth*
- c) *Straight haunches*
- d) *Variable depth*

Jembatan segmental dibangun seperti struktur bentang tunggal untuk menghindari sambungan kabel *post tension*. Adanya eksternal *post tension* maka diperlukan tiga macam segmen yang berbeda, yaitu :

- a) *Pier segment*, bagian ini terletak di atas abutment dan memerlukan diafragma yang kokoh untuk dapat memperkaku *box girder* serta sebagai bidang pengankuran dari tendon pratekan.
- b) *Deviator segment*, bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.
- c) *Standart segment*, bagian yang memiliki dimensi standar dari *box girder* yang digunakan.

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.15 di bawah ini



Gambar 2. 15. Segmen Jembatan Box Girder
(Dikutip dari : Jurnal Profesor Dr.-Ing. G. Rombach,2002)

B. Dimensi Penampang

Dalam penentuan dimensi *box girder* ada tiga kondisi yang menentukan pada ketebalan badan *box girder* yaitu (Walter dan Muller, 1982) :

- a) Gaya geser dan momen torsi harus tetap pada batas limit yang diperbolehkan.
- b) Beton harus dipasang dengan benar, terutama dimana tendon yang di badan akan diletakkan.
- c) Angkur tendon ketika berada pada badan harus mendistribusikan beban pratekan yang tinggi yang terkonsentrasikan pada angkur.

Pada penentuan ketebalan minimal *slab* atau sayap atas direkomendasikan tidak kurang dari 175 mm untuk menanggulangi kemungkinan fleksibilitas yang cukup pada penempatan tendon (Walter dan Muller, 1982).

C. Desain Tendon

Tendon pada jembatan *box girder* memiliki peranan utama sebagai penopang setiap segmen dalam jembatan. Tendon diklasifikasikan menjadi dua macam dalam buku *Prestressed Concrete Segmental Bridge*, yaitu :

- a) *Cantilever* tendon, terletak pada area momen negative yang di *jacking* tiap segmen nya.
- b) *Continuity* tendon, bekerja untuk menyediakan gaya *prestressing* di area momen positif.

2.6 Metode Pelaksanaan

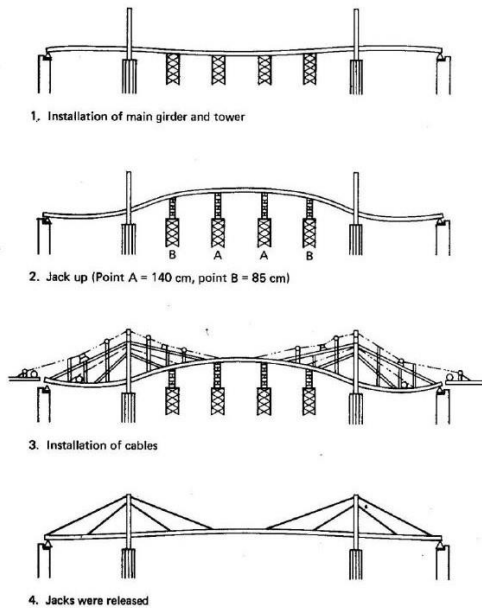
Ada tiga cara yang umum dipakai untuk *stiffening girder* (Soegihardjo, 2007), yaitu :

1. *Staging method*,

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

2.6.1 *Staging method*

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



Gambar 2. 16. Prosedur pelaksanaan *Staging Method*
 . (Soegihardjo, 2007)

Urutan pelaksanaannya menggunakan *staging method* adalah :

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

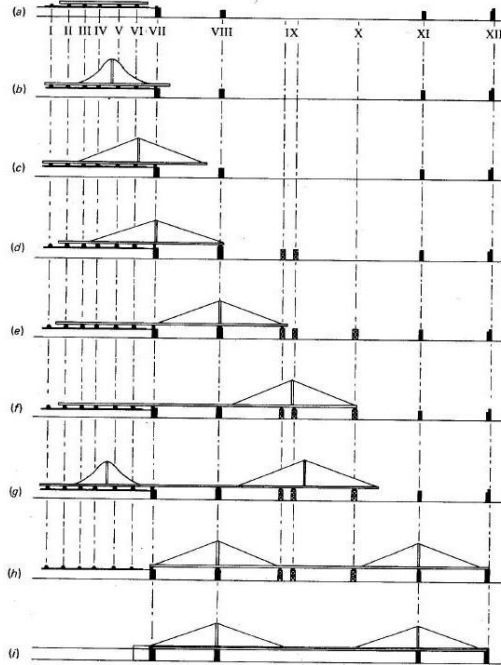
2.6.2 Push out method

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.

Pylon (dengan kabelnya) saat didorong maju, duduk di atas gelagar; setelah sampai ke tempat *pylon* yang direncanakan, *pylon* dihubungkan dengan pilarnya. Berat

yang dapat didorong kedepan mencapai 1500 ton. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.17.

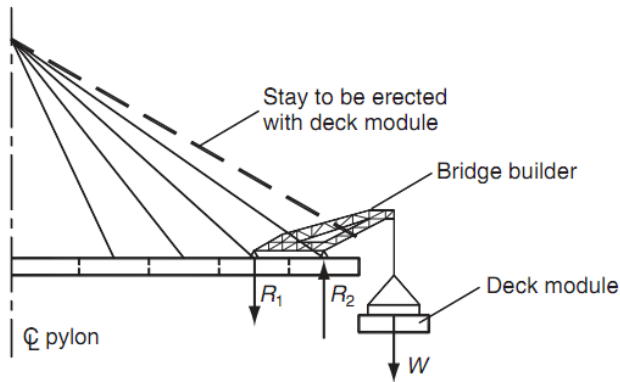


Gambar 2. 17. Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out.
(Soegihardjo, 2007)

2.6.3 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*. 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. 18. Metode pelaksanaan kantilever
(Parke and Huson, 2008).

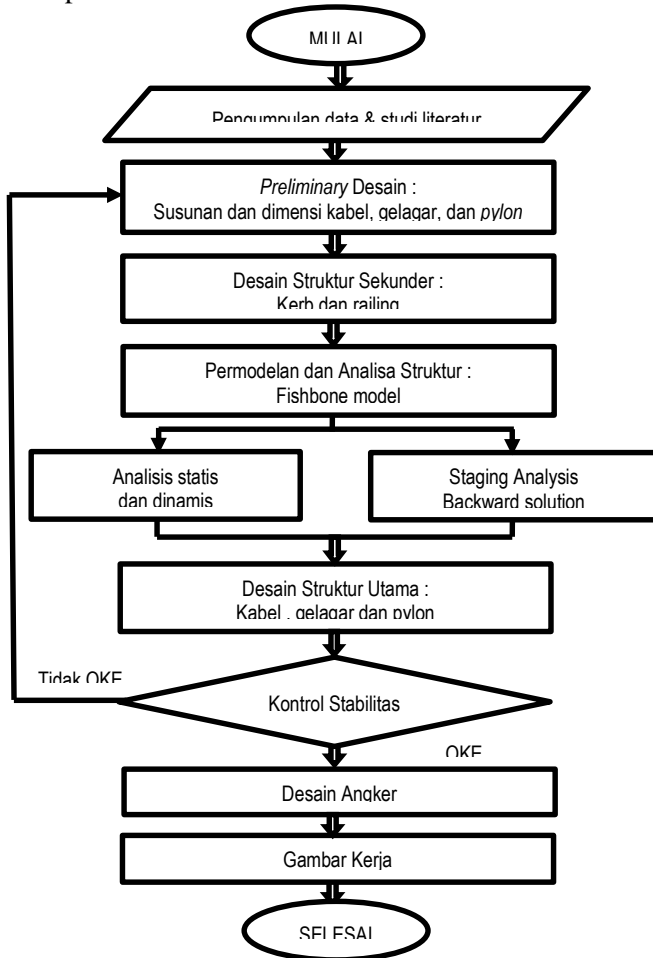
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Perencanaan Jembatan Kali Pepe

Berikut adalah diagram alir perencanaan Jembatan Kali Pepe



Gambar 3. 1. Diagram Alir Perencanaan

3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Dalam studi literatur penulis menggunakan beberapa referensi terkait, berupa jurnal, modul kuliah, buku, peraturan, maupun artikel di internet. Untuk lebih jelasnya berikut rinciannya :

Data perencanaan yang didapatkan antara lain :

1. Nama dan lokasi : Jembatan Kali Pepe Solo-Kertosono
2. Bentang pada kondisi *existing*: 80 m (2@40 m)
3. Lebar pada kondisi *existing*: 12 m
4. Jumlah abutment *existing*: 2 buah
5. Jumlah pilar *existing*: 1 buah
6. Jenis pondasi *existing*: tiang pancang baja Ø 60

Literatur yang digunakan :

1. E-Book - *Cable Supported Bridges Concept and Design, Third Edition (2012)* - Niels J. Gimsing, Christos T. Georgakis(auth.)
2. E-Book - *Cable Stayed Bridges-Thomas Telford Publishing (1999)* - Rene Walther B. Houriet W. Isler P.Mota
3. E-Book - *Cable-Stayed Bridges Theory and Design 2nd Edition(1988)*- M. S. Troitsky
4. E-Book - *Cable Supported Bridges Concept and Design (1983)* - Niels J. Gimsing
5. PCI Bridge Design Manual
6. AASHTO 2012

Sedangkan peraturan-peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. SNI 1725-2016 tentang “Pembebanan untuk Jembatan”.

2. Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel”.
3. SNI T-12-2004 tentang “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”

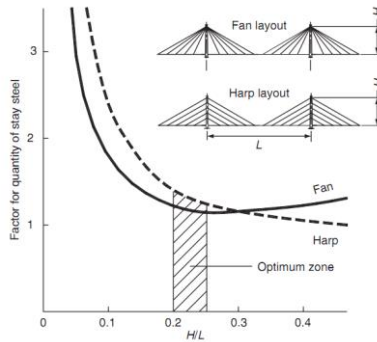
3.3 Preliminary Desain

3.3.1 Susunan Kabel

Susunan kabel untuk arah melintang berupa *double plane system*, sedangkan untuk susunan arah memanjang berupa *semi-harp pattern* yang merupakan pengembangan dari fan pattern dan *harp pattern*.

Susunan ini lebih menguntungkan karena desain *pylon* menjadi tidak terlalu tinggi dan juga pemasangan kabel pada *pylon* tidak serumit sistem *fan* karena terdapat ruang yang cukup untuk pengangkuran dengan jarak antara 1,5m – 2,5m (Parke and Hewson, 2008). Berikut penjelasan untuk desain :

- Jarak kabel pada gelagar :
Jika berupa gelagar baja maka jaraknya (15m s.d. 25m) (Walther dkk, 1999)
Jika berupa gelagar beton maka jaraknya (5m s.d. 10m) (Walther dkk, 1999)
- Tinggi *Pylon* (h)
Perencanaan untuk tinggi *pylon* dapat dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang *deck* (L) dengan range nilai 0,2 – 0,25 (Parke and Hewson, 2008), lihat Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Tinggi optimum pylon

3.3.2 Dimensi Kabel

Kabel digunakan dalam satu helai terdiri dari 7 kawat, untuk dimensi awal kabel dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut :

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

dengan pengertian :

$N_{g,i}$: gaya kabel utama

$R_{g,i}$: reaksi perletakan bentang sederhana akibat berat sendiri dan beban tetap

α_i : sudut kemiringan kabel terhadap sumbu memanjang jembatan

$$\sigma_g = \sigma_{ijin} [g / (g+q)]$$

dengan pengertian :

σ_g : tegangan ijin kabel akibat berat sendiri dan beban tetap

g : berat sendiri dan beban tetap

q : beban hidup merata

σ_{ijin} : tegangan ijin kabel akibat beban total = 0,45

$\sigma_{putus\ kabel}$

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

dengan pengertian :

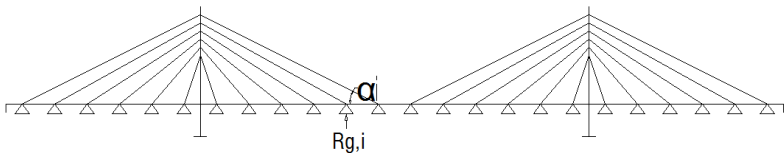
A_i : luas kabel utama

α : fraksi beban yang dipikul oleh kabel ($0 < \alpha < 1$),
1 bila kabel sangat kaku,

0 bila gelagar sangat kaku

$N_{g,i}$: gaya kabel utama

Ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3. Reaksi gaya kabel

Alternatif lain *preliminary* gaya pada kabel dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$P_{mi} = (W_{DL} + W_{LL}) / \sin \alpha$$

$$F_h = (W_{DL} + W_{LL}) / \tan \alpha$$

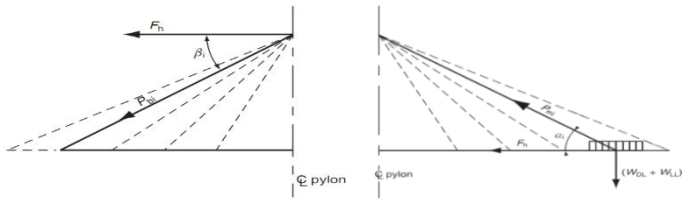
$$P_{bi} = F_h / \cos \beta_1$$

$$P_{mod} = p + q(z - z_a)$$

$$q = \text{berat linier dari kabel}$$

$$(z - z_a) = \text{beda elevasi dari anker}$$

Ilustrasi ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4. Gaya pada kabel
(Parke and Hewson, 2008)

Analisa jembatan *cable stayed* didasarkan pada analisa elastisitas baja. Asumsi awal yang digunakan adalah ketika menerima beban mati kabel tetap akan terlihat melengkung, oleh karena lengkungan akibat beban mati modulus elastis efektif (E_{eff}) mempunyai nilai yang lebih kecil dari modulus elastic kabel baja (E_0). Jika kabel disimulasikan sebagai elemen sebenarnya dalam komputer maka akan didapat nilai ($E_{eff} < E_0$), hal ini seharusnya digunakan terutama untuk kondisi kabel dengan bentang yang sangat panjang. Nilai (E_{eff}) selain dipengaruhi oleh panjang dan gaya juga oleh berat sendiri kabel. Modulus elastis efektif dapat direncanakan dengan dengan formula berikut (Walther dkk, 1999).

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

Dimana :

E_{eff} : efektif modulus elastis (N/mm^2)

E_0 : modulus elastis dari material kabel tetap (N/mm^2)

γ : berat jenis dari material kabel (N/mm^3)

L_h : panjang kabel yang direncanakan (jarak titik gantung kabel) (mm)

σ : tegangan tarik dalam kabel (N/mm²)

3.3.3 Dimensi Struktur *Pylon*

Dimensi struktur *pylon* dapat dihitung dengan persamaan berikut $A_{\text{perlu}} = \Sigma Pmi/fc'$

3.3.4 Dimensi Struktur Gelagar

A. Tafsiran tinggi gelagar box

Berdasarkan (AASHTO,2012) rasio bentang dengan tinggi yang efisien untuk bentang menerus dapat digunakan:

$$h = 0,04L$$

B. Ketebalan minimum *web* gelagar box

-300 mm jika terdapat saluran untuk penempatan *post tensioning* tendon di badan box

-350 mm jika terdapat anker tendon yang ditempatkan di badan box

C. Ketebalan minimum *top flens* gelagar box

-175 mm untuk lebar antar badan box < 3 m

-200 mm untuk lebar antar badan box 3 m – 4,5 m

-250 mm untuk lebar antar badan box 4,5 m – 7,5 m

3.4 Perhitungan Gaya Prategang

Berdasarkan SNI T-12-2004 kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dilakukan transfer ($f'ci$), dinyatakan dalam satuan MPa adalah

$$f'ci = 0,65 f'c$$

A. Tegangan ijin beton saat penyaluran gaya prategang

- Tegangan tekan, $\sigma_{ci} = 0,6 f'ci$

- Tegangan tarik, $\sigma_{ti} = 0,25\sqrt{f'ci}$
- B. Tegangan ijin beton sesaat setelah kehilangan gaya prategang
- Tegangan tekan, $\sigma_{ci} = 0,45 f'ci$
 - Tegangan tarik, $\sigma_{ti} = 0,5\sqrt{f'ci}$
- C. Merencanakan gaya prategang
- $\sigma_{ci} = -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o.e.y}{I} + \frac{M.y}{I}$
 - $\sigma_{ti} = -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o.e.y}{I} - \frac{M.y}{I}$

3.5 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang disebabkan oleh beberapa factor, antara lain (Lin dan Burn, 1996) :

- A. Kehilangan langsung (*Immediety Loss*), yaitu kehilangan gaya prategang yang terjadi setelah peralihan gaya prategang yang meliputi :
- a. Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis

$$ES = K_{ES} \cdot E_s \cdot \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

Dimana, f_{cir} = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang diberikan
 E_s = modulus elastisitas tendon prategang
 E_{ci} = modulus elastisitas beton
 K_{ES} = 1,0 untuk struktur pratarik dan 0,5 untuk struktur pasca Tarik

- b. Kehilangan prategang akibat gesekan kabel

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -K \cdot L - \mu \cdot \alpha$$

dimana, F_1 = tegangan tarik satuan pada ujung pendongkrakan

F_2 = tegangan tarik satuan pada jarak L

K = koefisien Wobble

μ = koefisien kelengkungan

α = sudut kelengkungan

L = panjang sampai titik yang ditinjau

Tabel 3. 1. Nilai Koefisien Wobble dan koefisien kelengkungan

| TIPE TENDON | K tiap meter | μ |
|---|---------------|-----------|
| Tendon dengan selubung logam flexible | | |
| -tendon kawat | 0,0033-0,0049 | 0,15-0,25 |
| -strand dengan untaian 7 kawat | 0,0016-0,0066 | 0,15-0,25 |
| -baja mutu tinggi | 0,0003-0,002 | 0,08-0,3 |
| Tendon pada selubung logam kaku | | |
| -strand dengan untaian 7 kawat | 0,0007 | 0,15-0,25 |
| Tendon yang diminyaki terlebih dahulu | | |
| -tendon kawat / strand dengan untaian 7 kawat | 0,001-0,0066 | 0,05-0,15 |
| Tendon yang diberi lapisan mastic | | |
| -tendon kawat / strand dengan untaian 7 kawat | 0,0033-0,0066 | 0,05-0,15 |

- c. Kehilangan prategang akibat slip ankur

$$ANC = \Delta_{fs} = \frac{\Delta_{\alpha} \cdot E_s}{L}$$

dimana, Δ_{α} = deformasi pengankuran

E_s = modulus elastisitas ankur

L = panjang total kabel

- B. Kehilangan tak langsung (*Time Dependent Loss*), yaitu kehilangan gaya prategang yang bergantung pada fungsi waktu yang meliputi :

- a. Kehilangan prategang akibat rangkai beton (*creep*)

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

dimana, K_{cr} = 2,0 untuk struktur pratarik dan 1,6 untuk struktur pasca tarik

f_{cds} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

f_{cir} = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang diberikan

E_c = modulus elastisitas beton

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

- b. Kehilangan prategang akibat susut beton (*shrinkage*)

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot \left(1 - 0,06 \cdot \frac{V}{S}\right) \cdot (100 - RH)$$

dimana, K_{sh} = koefisien faktor susut

V = volume beton

S = luas selimut yang berhubungan dengan udara

RH = kelembaban udara

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

Tabel 3. 2. Nilai Koefisien Faktor Susut

| waktu setelah perawatan s/d penerapan prategang (hari) | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 | 30 | 60 |
|--|------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Ksh | 0,92 | | 0,85 | 0,80 | 0,77 | 0,73 | 0,64 | 0,58 | 0,45 |

- c. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja (*relaxation*)

$$RE = [K_{re} - J. (SH + CR + ES)]. C$$

dimana, K_{re} , J , dan C berdasarkan tabel berikut

Tabel 3. 3. Nilai Kre dan J

| Tipe Tendon | Kre | J |
|---|-----|-------|
| Strand / kawat stress relieved derajat 1860Mpa | 138 | 0,15 |
| Strand / kawat stress relieved derajat 1720Mpa | 128 | 0,14 |
| Kawat stress relieved derajat 1655Mpa atau 1620Mpa | 121 | 0,13 |
| Strand relaksasi rendah derajat 1860Mpa | 35 | 0,04 |
| Kawat relaksasi rendah derajat 1720Mpa | 32 | 0,037 |
| Kawat relaksasi rendah derajat 1655Mpa atau 1620Mpa | 30 | 0,035 |
| Batang stress relieved derajat 1000Mpa atau 1100Mpa | 41 | 0,05 |

Tabel 3. 4. Nilai C

| Fpi/fpu | Strand/kawat stress relieved | Batang stress relieved atau strand/ kawat relaksasi rendah |
|---------|------------------------------|--|
| 0,8 | - | 1,28 |
| 0,79 | - | 1,22 |
| 0,78 | - | 1,16 |
| 0,77 | - | 1,11 |
| 0,76 | - | 1,05 |
| 0,75 | 1,45 | 1,00 |
| 0,74 | 1,36 | 0,95 |
| 0,73 | 1,27 | 0,90 |
| 0,72 | 1,18 | 0,85 |
| 0,71 | 1,09 | 0,80 |
| 0,70 | 1 | 0,75 |
| 0,69 | 0,94 | 0,70 |
| 0,68 | 0,89 | 0,66 |
| 0,67 | 0,83 | 0,61 |
| 0,66 | 0,78 | 0,57 |
| 0,65 | 0,73 | 0,53 |
| 0,64 | 0,68 | 0,49 |
| 0,63 | 0,63 | 0,45 |

| F_{pi}/f_{pu} | Strand/kawat stress relieved | Batang stress relieved atau strand/ kawat relaksasi rendah |
|-----------------|------------------------------|--|
| 0,62 | 0,58 | 0,41 |
| 0,61 | 0,53 | 0,37 |
| 0,60 | 0,49 | 0,33 |

3.6 Pembebanan

Analisis jembatan *cable stayed* terdiri dari analisis statik dan dinamik, hal ini dimaksudkan untuk menentukan variasi gaya pada elemen pendukung beban (gelagar, *pylon*, dan kabel), sedangkan analisis dinamis digunakan untuk menentukan kestabilan struktur.

3.6.1 Menentukan Pembebanan Statis

Beban statis terdiri dari :

1. Beban tetap

a) Berat sendiri

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

Sedangkan faktor beban untuk berat sendiri dari beberapa bahan mengacu **SNI 1725-2016 Pasal 7.2 tabel 3**.

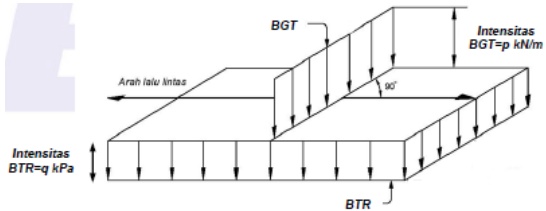
b) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada struktur yang merupakan elemen non struktural,

dan besarnya dapat berubah seiring dengan bertambahnya umur struktur. Faktor beban untuk beban mati tambahan mengacu pada **SNI 1725-2016 Pasal 7.3 tabel 4**.

2. Beban Lalu lintas
 - a) Beban lajur “D”

Beban lajur “D” menurut **SNI 1725-2016 Pasal 8.3** terdiri dari beban tersebar merata (UDL) yang digabung dengan beban garis (KEL), lihat Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3. 5. Beban lajur “D”

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

$$L \leq 30\text{m} : q = 9.0 \text{ kPa}$$

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

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

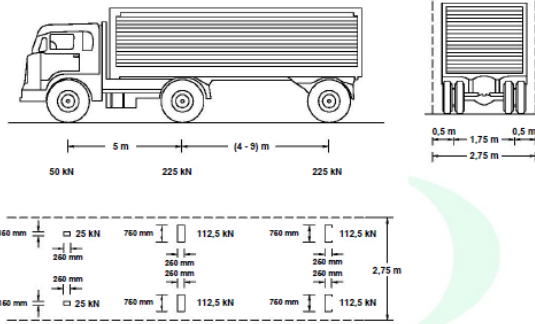
Tabel 3. 5. faktor beban untuk beban lajur “D”

| Tipe beban | jembatan | Faktor beban | |
|------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | | Keadaan batas layan | Keadaan ultimit |
| Transien | beton | 1,00 | 1,80 |
| | Box girder baja | 1,00 | 2,00 |

b) Beban truk “T”

Pembebanan truk “T” menurut **SNI 1725-2016 Pasal 8.4** terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada Gambar 3.6.

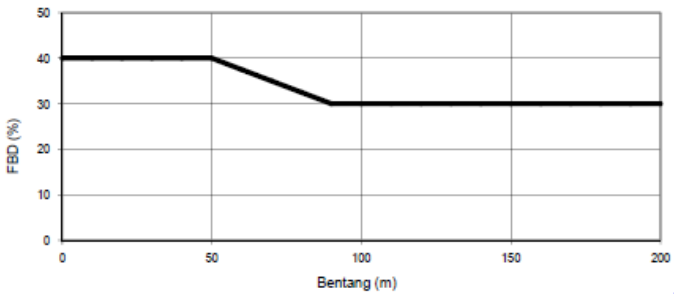
Berat sendiri dari masing-masing as disebar menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai . jarak antara dua as tersebut antara 4.0 m sampai dengan 9.0m, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.



Gambar 3. 6. Beban Truk

Tabel 3. 6. Faktor beban untuk beban “T”

| Tipe beban | jembatan | Faktor beban | |
|------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | | Keadaan batas layan | Keadaan ultimit |
| Transien | beton | 1,00 | 1,80 |
| | Box girder baja | 1,00 | 2,00 |



Gambar 3. 7. Faktor beban dinamis untuk beban “T”

3. Beban lingkungan

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

a) Pengaruh susut dan rangkai

Pengaruh ini menurut **SNI 1725-2016 Pasal 9.3.2** dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkai dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkai dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 3. 7. Faktor beban akibat susut dan rangkai

| Tipe beban | Faktor beban | |
|------------|---------------------|-----------------|
| | Keadaan batas layan | Keadaan ultimit |
| Tetap | 1,0 | 0,5 |

b) Pengaruh prategang

Menurut **SNI 1725-2016 Pasal 9.3.3** prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit. Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 3. 8. Faktor beban akibat pengaruh prategang

| Tipe beban | Faktor beban | |
|------------|---------------------|-----------------|
| | Keadaan batas layan | Keadaan ultimit |
| Tetap | 1,0 | 1,0 |

c) Beban angin

- Tekanan angin horizontal.

Tekanan angin menurut **SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1** yang ditentukan untuk angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan berikut:

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

Dengan,

V_{DZ} : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_{10} : kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

- V_B : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
- Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin rencana dihitung ($Z > 10000$ mm)
- V_0 : kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 3.10, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada tabel 2.18 (mm)

V_{10} diperoleh dari:

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

Tabel 3. 9. Nilai V0 dan Z0

| Kondisi | Lahan terbuka | Sub urban | Kota |
|----------------------------|---------------|-----------|------|
| V ₀ (km/jam) | 13,2 | 17,6 | 19,3 |
| Z ₀ (mm) | 70 | 1000 | 2500 |

- Beban angin pada struktur (EWs)

Tekanan angin rencana (MPa) dapat ditetapkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dengan,

P_B : tekanan angin dasar
seperti ditentukan dalam
tabel 3.10

Tabel 3. 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 |

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

- Gaya angin pada kendaraan (EW_1)

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan. Komponen beban angin yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil sesuai dalam tabel 3.11 di mana sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 3. 11. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan

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

d) Pengaruh gempa.

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

Beban gempa diambil sebagai beban horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Dengan,

E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : koefisien respons gempa elastis

R_d : faktor modifikasi respons

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

Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang

diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 meter di bawah struktur jembatan.

Atau dapat juga direncanakan dengan metode *response spectrum* dengan periode ulang tertentu sesuai RSNI 2833-2013 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.

3.7 Kontrol Stabilitas Aerodinamis

Perilaku aerodinamis akibat angin terhadap jembatan *cable 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.

3.7.1 Frekwensi alami

Menurut Walther, 1999 hal ini dapat dihitung dengan frekwensi lentur balok (f_B) dan frekwensi alam akibat torsi (f_T) yang didekati menggunakan persamaan berikut ini :

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

$$f_T = \frac{\bar{b}}{2r} f_B$$

Dimana :

f_B = frekwensi alami lentur balok (Hz)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 9,81 kg/cm^2

V_{maks} = deformasi statis maksimum akibat berat sendiri
(m)

f_T = frekwensi alami torsi (Hz)

\bar{b} = jarak kabel arah melintang (m)

r = jari-jari girasi penampang lantai kendaraan (m)

Akan tetapi pada program bantu MIDAS CIVIL nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) maupun frekwensi alami torsi (f_T) dapat dicari dengan menggunakan *modal* melalui tahapan *mode* pada menu *result – vibration mode shapes*, dengan syarat yang dipakai adalah nilai pada *mode* yang sesuai persamaan berikut $f_T/f_B \approx 2,5$ (Mathivat).

3.7.2 Efek vortex-shedding

Menurut Walther, 1999 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).

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11})$$

Dimana :

S = angka *Strouhal*

f_B = frekwensi alami lentur balok

h = tinggi lantai kendaraan

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

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

$$Re = \frac{VB}{\bar{\nu}} \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.10)}$$

Dimana :

Re = angka *Reynold*

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

B = lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$ = viskositas kinematik udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{dt}$)

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

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} Ch \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.13)}$$

Dimana :

F_o = gaya angkat

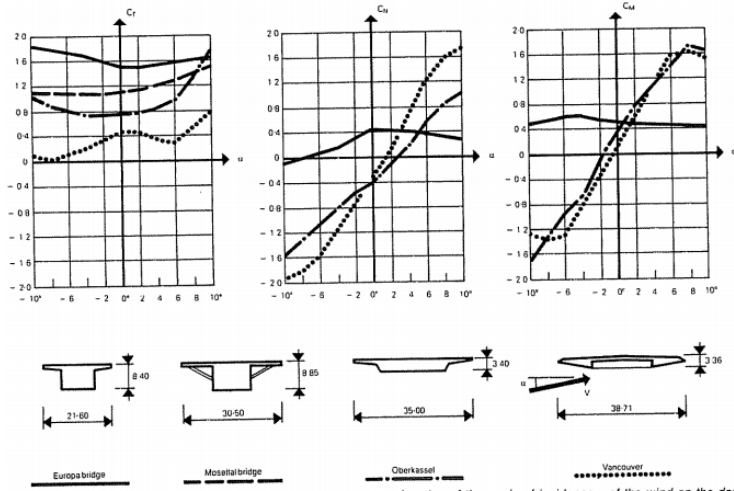
ρ = berat volume udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

C = koefisien gaya angkat lantai kendaraan

h = tinggi lantai kendaraan

Besarnya nilai koefisien C dapat dicari dari grafik berikut ini, lihat Gambar 3.8



Gambar 3. 8. Koefisien CN

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

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

dimana :

v = amplitudo osilasi

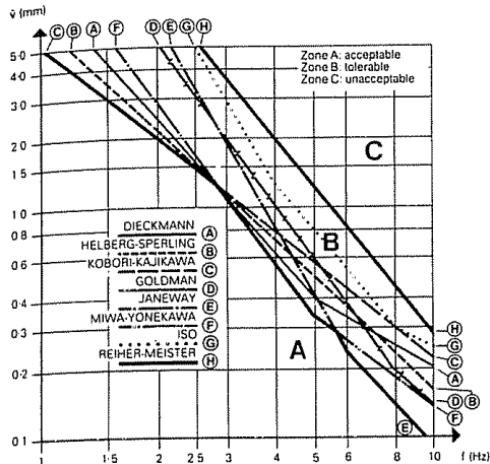
δ = penurunan logaritmik (koefisien peredaman)

Fo = gaya angkat

v_{max} = deformasi statis maksimum karena berat sendiri

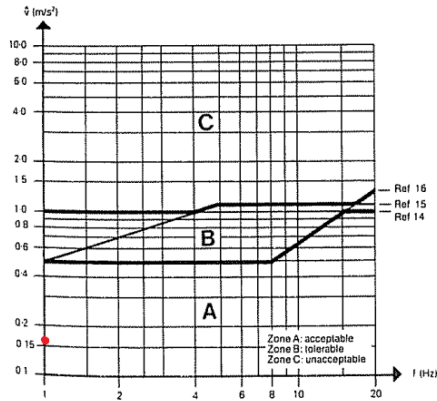
m = berat sendiri lantai kendaraan per meter panjang

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 3.9).



Gambar 3. 9. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther, 1999)

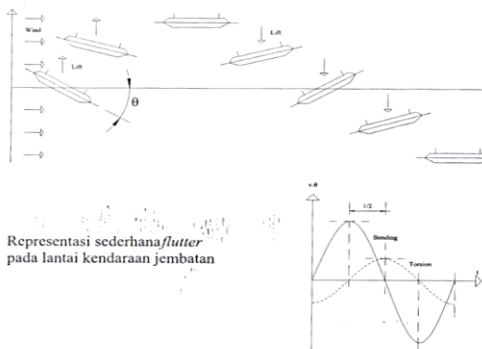
Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\ddot{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \ddot{v} dan f_B pada grafik terkait (untuk lebih jelasnya lihat Gambar 3.10).



Gambar 3. 10. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan getaran (Walther, 1999)

3.7.3 Efek ayunan (*Flutter*)

Efek ayunan menurut Walther, 1999 pada kecepatan kritis (V_{kritis}) menimbulkan lenturan dan torsi. Berikut ini adalah ilustrasi lantai kendaraan yang mengalami *flutter*:



Representasi sederhana *flutter* pada lantai kendaraan jembatan

Gambar 3. 11. Efek ayunan (Walther, 1999)

- a. Yang harus dihindari amplitudo akibat lentur dan torsi tidak terjadi bersamaan, yang ideal berjarak

$$t = \frac{\pi}{2} = 1,57 \text{ detik}$$

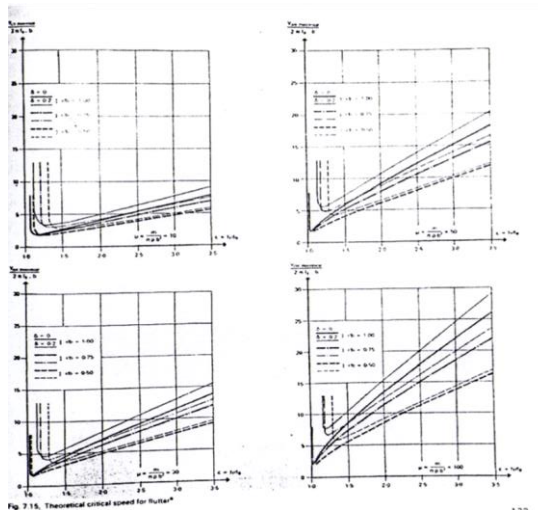
- b. Kecepatan kritis teoritis, $V_{\text{kritis teoritis}}$ metode KLOEPEL

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

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

dapat dicari secara grafis tergantung dari 3 besaran

$$\mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2} ; \quad \varepsilon = \frac{f_T}{f_B} ; \quad \frac{\delta}{b}$$



Gambar 3. 12. Kecepatan kritis teoritis efek ayunan

(Walther, 1999)

c. Kecepatan kritis aktual, $V_{\text{kritis teoritis}}$

Pada kenyataannya lebih kecil dari teoritisnya dihitung dari kecepatan kritis teoritis berdasarkan koreksi sudut datang angin terhadap arah horisontal yang rata-rata α^0 , η :

$$V_{\text{kritis teoritis}} = \frac{\eta(\alpha = \pm \alpha^0)}{\eta(\alpha = 0^0)} V_{\text{kritis-teoritis}}$$

$$\frac{\eta(\alpha = \pm \alpha^0)}{\eta(\alpha = 0^0)} \rightarrow \text{atau } \eta, \text{ koefisien koreksi}$$

3.8 Desain angker

Analisa ini meliputi cek tegangan pada beton pada saat pemberian gaya tarik (*stressing*) yang dapat dihitung berdasarkan buku “Desain Praktis Beton Prategang” Andri Budiadi, 2008 sebagai berikut.

- Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari, dengan kuat tekan beton diperkirakan 85% f_c .

$$f_c = 85\% \times f_c$$

$$f_{cp} = 0,8.f_c \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p}} - 0,2$$

Dimana :

$$A_{p'} = H \times H$$

$$A_p = (A \times A) - \text{Area } \emptyset D$$

- Tegangan di bawah pelat anker :

$$f_t = \frac{P}{A_p}$$

- Kontrol :

$$f_{cp} > f_t$$

3.9 Metode Pelaksanaan

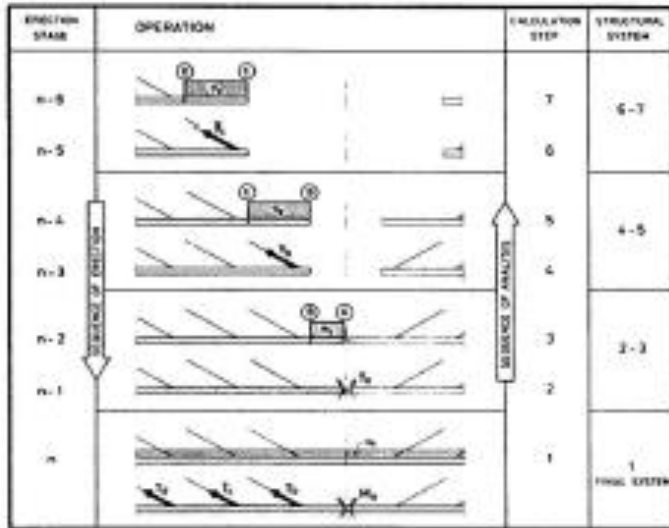
Metode pelaksanaan/*Staging Analysis* konstruksi jembatan *cable stayed* ini didesain dengan *cantilever method* dan dipengaruhi langsung oleh beban *form traveler*.

Metode analisis struktur dibuat dengan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution*.

Dimulai dari keadaan final jembatan dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai pada keadaan awal pada metode pelaksanaan.

Semua tahapan tersebut di-input-kan kedalam program bantu MIDAS/Civil sehingga didapat hasil gaya per tahapan analisa.

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan pelaksanaan
(Gimsing, 1983)

3.10 Permodelan dan Analisa Struktur

Permodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

3.11 Menyusun Gambar Kerja

Penyelesaian perencanaan berupa gambar kerja menggunakan program bantu AutoCAD.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Desain

4.1.1 Data Perencanaan Modifikasi

- Nama jembatan : Jembatan Kalipepe
- Lokasi : Tol Solo-Kertosono
- Panjang total : 144 m
- Bentang tengah : 121,5 m
- Bentang tepi : 22,5 m
- Lebar total : 12,6 m
- Lebar lajur : 8,1 m (2/2UD)

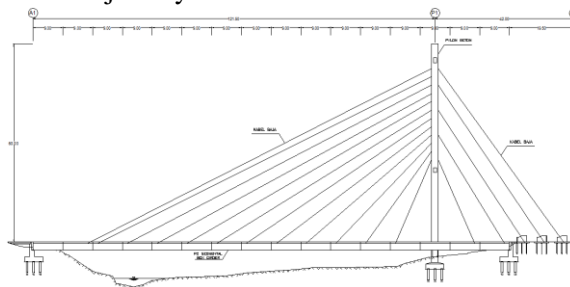
4.1.2 Konfigurasi Susunan Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa *Double Planes System*, sedangkan untuk arah memanjang berupa *Semi Harp Pattern*.

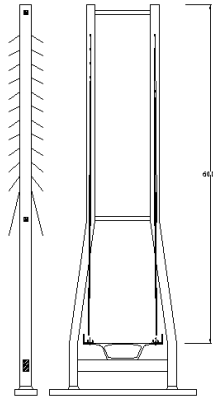
Jarak kabel pada gelagar menurut Whalter dkk. (1999) :

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

Pada desain ini dipakai jarak kabel pada gelagar 9 m.
Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4. 1. Susunan kabel arah memanjang (satuan dalam meter)



Gambar 4. 2. Susunan kabel arah melintang (satuan dalam meter)

Jenis Kabel dan Anker

Menurut RSNI T-03-2005 Pasal 12.6 kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm^2 .

Ada dua jenis kabel paralel *VSL 7-wire strand* yang dapat digunakan untuk jembatan kabel, lihat Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Jenis Kabel dan Anker

| Standard | ASTM A 416-06 Grade 270 | Euronorme 138-3 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| \varnothing (mm) | 15,2 | 15,7 |
| A_s (mm^2) | 140 | 150 |
| f_u ($f_{ijin}=0,45f_u$)(Mpa) | 1860 (837) | 1770 (797) |
| Ukuran anker | 7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand | |

Dalam desain ini digunakan kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270 dengan f_{ijin} sebesar $0,45f_u$ (Gimsing, 1983).

4.1.3 Gelagar

- Bentuk : *box trapezoidal single cell*
- Material : beton pratekan
- Mutu beton : $f_c' 80$

1. Dimensi Gelagar

A. Tafsiran tinggi gelagar box

Berdasarkan (AASHTO,2012) rasio bentang dengan tinggi yang efisien untuk bentang menerus dapat digunakan:

$$h = 0,04L$$

B. Ketebalan minimum *web* gelagar box

-300 mm jika terdapat saluran untuk penempatan *post tensioning* tendon di badan box

-350 mm jika terdapat angker tendon yang ditempatkan di badan box

C. Ketebalan minimum *top flens* gelagar box

-175 mm untuk lebar antar badan box < 3 m

-200 mm untuk lebar antar badan box 3 m – $4,5$ m

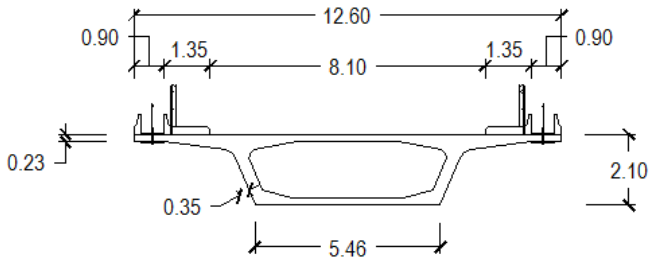
-250 mm untuk lebar antar badan box $4,5$ m– $7,5$ m

Sedangkan menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Construction & Design of Cable- Stayed Bridges*”, bahwa perbandingan tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara $1/40$ – $1/100$.

Dalam tugas akhir ini, tinggi *box girder* direncanakan menggunakan perbandingan $1/60$ L dengan tebal *flens* 225 mm dan tebal *web* 350 mm.

$$h = 1/60 \times 121,5 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.3.



Gambar 4. 3. Dimensi gelagar box (satuan dalam meter)

4.1.4 Pylon

- Bentuk : *twin tower*
- Material : beton bertulang
- Mutu beton : $f_c' 50$
- Mutu tulangan : $f_y 400$ Mpa

Tinggi *pylon* (h), menurut Parke dan Huson (2008) dapat diperkirakan dengan perbandingan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang utama (L) pada jembatan *cable stayed* simetris dengan kisaran nilai 0,2 – 0,25.

Namun dalam desain ini dikarenakan menggunakan *cable stayed asymmetric system*, maka panjang bentang yang dipikul 1 *pylon* menjadi 2 kalinya jembatan *cable stayed* simetris. Sehingga nilai perbandingan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang utama (L) dapat dikali 2 menjadi 0,4 – 0,5.

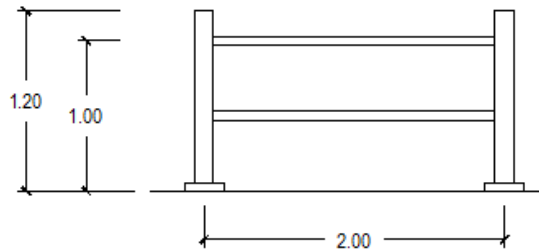
$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan } (H/L) &= 0,5 \\
 L &= 121,5 \text{ m} \\
 \text{Maka diperoleh } H &= 121,5 \text{ m} \times 0,5 \\
 &= 60,75 \text{ m} \approx 60 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.2 Perhitungan Struktur Sekunder

Struktur sekunder pada jembatan ini terdiri dari tiang sandaran, pipa sandaran, kerb dan trotoar. Hasil perhitungan struktur sekunder berlaku sebagai beban saat menganalisa struktur utama.

4.2.1 Tiang dan Pipa Sandaran

Berdasarkan pada RSNI T-02-2005 pasal 12.5, beban yang bekerja pada sandaran adalah berupa gaya horizontal dan vertikal sebesar $w = 0,75 \text{ kN/m}$ dan bekerja pada ketinggian 100 cm dari lantai trotoar. Sandaran menggunakan profil pipa dengan diameter 60,5 mm, lihat Gambar 4.4.



Gambar 4. 4. Tiang sandaran (satuan dalam meter)

Data perencanaan sandaran :

Panjang total jembatan = 144 m

Jarak tiang sandaran = 2 m

Material yang digunakan :

1. Tiang sandaran BJ 37 :

f_u = 370 MPa

f_y = 240 MPa

2. Pipa sandaran :

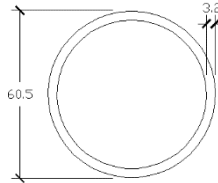
Diameter luar (d_0) = 60,5 mm

Berat pipa (q) = 3,3 kg/m

Tebal pipa (t) = 3,2 mm

Mutu baja = BJ 41

Berikut ilustrasi profil pipa sandaran dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5. Profil sandaran (satuan dalam mm)

A. Perhitungan Momen pada Pipa Sandaran

1) Akibat berat sendiri pipa sandaran

$$\begin{aligned} M_{VD} &= (1/8).q.l^2 \\ &= (1/8). 3,3 . 2^2 \\ &= 1,65 \text{ kgm} = 0,0165 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2) Akibat beban vertikal

$$\begin{aligned} M_{VL} &= (1/8).w.l^2 \\ &= (1/8). 0,75 . 2^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_V &= M_{VD} + M_{VL} \\ &= 0,0165 + 0,375 \\ &= 0,3915 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3) Akibat beban horizontal

$$\begin{aligned} M_H &= (1/8).w.l^2 \\ &= (1/8). 0,75 . 2^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen resultan (M_R)

$$\begin{aligned} M_R &= \sqrt{M_H^2 + M_V^2} \\ &= \sqrt{0,3915^2 + 0,375^2} \\ &= 0,55 \text{ kNm} \end{aligned}$$

B. Cek Kekuatan Profil Pipa Sandaran

1) Batas kelangsingan profil

$$\lambda = \frac{d_o}{t} = \frac{60,5}{3} = 20,17$$

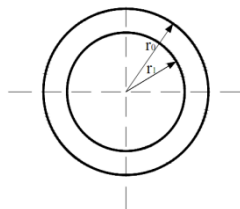
$$\lambda_p = \frac{14800}{f_y} = \frac{14800}{250} = 59,2$$

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

$$Z_x = \frac{4}{3} (r_o^3 - r_i^3) = \frac{4}{3} (30,25^3 - 27,95^3) = 7794,71 \text{ mm}^3$$

Ilustrasi penampang pipa sandaran, lihat Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Penampang pipa sandaran

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y &&= 7794,71 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\ &&&= 1948677,5 \text{ Nmm} \\ &&&= 1,95 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1,95 = 1,755 \text{ kNm} > M_R = 0,55 \text{ kNm}$$

Maka profil dapat digunakan.

C. Perencanaan Tiang Sandaran

Direncanakan tiang sandaran menggunakan baja profil WF 125.60.6.8 dengan spesifikasi :

$$d = 125 \text{ mm} \quad tw = 6,0 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll}
 bf & = 60 \text{ mm} & tf & = 8,0 \text{ mm} \\
 r & = 9 \text{ mm} & w & = 13,22 \text{ kg/m} \\
 I_x & = 413 \text{ cm}^4 & I_y & = 29 \text{ cm}^4
 \end{array}$$

Sifat mekanis baja struktural

$$\begin{array}{ll}
 BJ & = 37 \\
 f_u & = 370 \text{ MPa} \\
 f_y & = 240 \text{ MPa}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Beban horizontal} & = 2 \text{ m. } 0,75 \text{ kN/m} \\
 & = 1,5 \text{ kN}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Tinggi tiang sandaran} & = 1,2 \text{ m} \\
 \text{Momen yang terjadi} & = 1,2 \text{ m. } 1,5 \text{ kN} \\
 & = 1,8 \text{ kNm}
 \end{array}$$

Cek tegangan yang terjadi pada tiang sandaran

$$\sigma_u < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_u = \frac{M}{w}$$

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{I_x}{y} \\
 &= \frac{413}{6,25}
 \end{aligned}$$

$$= 66,08 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_u = \frac{18000}{66,08}$$

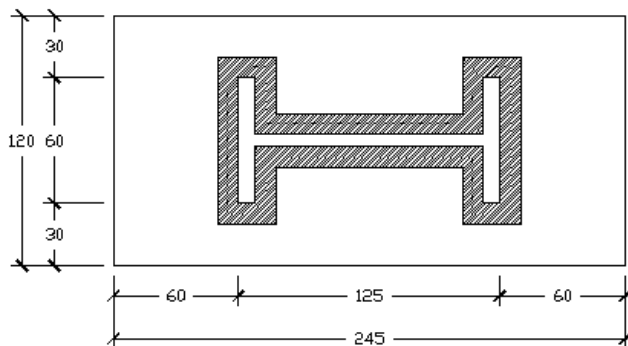
$$= 272,4 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 2400 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{OK}$$

D. Perencanaan Sambungan Las Tiang Sandaran

$$\begin{aligned}
 q_{\text{eff tiang}} &= 0,707 \frac{f_u}{F_{E60}} t_w \\
 &= 0,707 \frac{3700}{60.70,33} 0,6 \\
 &= 0,372 \text{ cm} \\
 &= 3,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{pelat}} &= 1,41 \frac{f_u}{F_{E60}} t_p \\
 &= 1,41 \frac{3700}{60.70,33} 0,8 \\
 &= 0,989 \text{ cm} \\
 &= 9,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berikut gambar sambungan las tiang sandaran, Gambar 4.7.



Gambar 4. 7. Sambungan las (satuan dalam mm)

Dicoba $t_e = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 A &= (4,6\text{cm} + 2.11,3\text{cm} + 4.2,7\text{cm} + 2.6\text{cm}).1\text{cm} \\
 &= 63 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_x = 66 \text{ cm}^3$$

Menghitung gaya yang terjadi

$$\begin{aligned} H_{ux} &= H_{uy} \\ f_{hx} &= f_{hy} \\ &= H_{ux}/A \\ &= (0,75 \text{ kg/cm} \cdot 200 \text{ cm}) / 63 \text{ cm}^2 \\ &= 2,38 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{ux} &= P_{uy} \\ f_{vx} &= f_{vy} \\ &= P_{ux}/A \\ &= (0,75 \text{ kg/cm} \cdot 200 \text{ cm}) / 63 \text{ cm}^2 \\ &= 2,38 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= f_z \\ &= M_{ux}/S_x \\ &= (200 \text{ cm} \cdot 0,75 \text{ kg/cm} \cdot 120 \text{ cm}) / 66 \text{ cm}^3 \\ &= 272,72 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_0 &= \sqrt{\left(\sqrt{(f_{hx}^2 + f_{hy}^2)}\right)^2 + (f_{ux} + f_{uy})^2} \\ &= \sqrt{\left(\sqrt{2,38^2 + 2,38^2}\right)^2 + (2,38 + 2,38)^2} \\ &= 5,83 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{tot} &= \sqrt{f_0^2 + f_z^2} \\ &= \sqrt{272,2^2 + 5,83^2} \\ &= 272,8 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

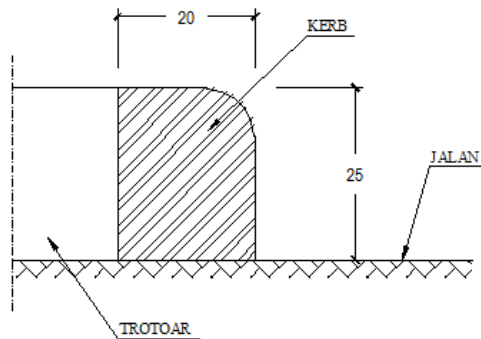
$$\begin{aligned} \phi f_n &= 0,75 \cdot \text{tw} \cdot F_{E60} \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 60 \cdot 70,33 \\ &= 1898,91 \text{ kg/cm}^2 > f_{tot} = 272,8 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 te_{\text{perlu}} &= f_{\text{tot}} / \phi f_n \\
 &= \frac{272,8}{1898,91} \\
 &= 0,15 \text{ cm} \approx 0,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{\text{perlu}} &= te_{\text{perlu}} / 0,707 \\
 &= 0,2 / 0,707 \\
 &= 0,28 \text{ cm} \\
 &= 2,8 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Kerb

Kerb merupakan balok trotoar yang terletak di sisi luar dari trotoar. Pada puncak kerb bekerja gaya hoisantal sebesar 500 kg. Dimensi kerb direncanakan dengan lebar 20 cm dan tebal 25 cm, lihat Gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Potongan trotoar dan kerb (satuan dalam mm)

- Jumlah kerb : 2 buah (kiri-kanan)
- Material : beton bertulang
- Mutu beton : $f_c' 30 \text{ Mpa}$
- Mutu tulangan : $f_y 240 \text{ Mpa}$

- Diameter tul. : 12 mm

Penulangan Lentur

- $\phi = 0,8$
- $\beta_1 = 0,85$
- $$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{240}{0,85 \cdot 30}$$

$$= 9,41$$
- $$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{240}$$

$$= 0,006$$
- $$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{240} \times \frac{600}{600 + 240}$$

$$= 0,064$$
- $$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0645$$

$$= 0,048$$
- $$d = 200 - 20 - (1/2 \cdot 12)$$

$$= 174 \text{ mm}$$
- $b = 1000 \text{ mm}$
- Mu = gaya horizontal H x tebal kerb
= 500 kg x 25 cm

- $$= 12500 \text{ kgcm}$$
- $$\bullet \text{ Mn} = \text{Mu} / \phi$$

$$= 1,25 \cdot 10^6 \text{ N.mm} / 0,8$$

$$= 1,56 \cdot 10^8 \text{ N.mm}$$
- $$\bullet \text{ Rn} = \text{Mn} / b \cdot d^2$$

$$= 1,56 \cdot 10^8 \text{ N.mm} / 1000 \text{ mm} \times (174 \text{ mm})^2$$

$$= 0,052$$
- $$\bullet \rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,41} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 0,052}{240}} \right)$$

$$= 0,0002$$

Karena $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$, maka yang digunakan $\rho \text{ min}$

$$\text{As perlu} = \rho_{\text{min}} \times b \times d$$

$$= 0,006 \times 1000 \text{ mm} \times 174 \text{ mm}$$

$$= 1015 \text{ mm}^2$$

Dipasang 10Ø12 dengan As 1130,4 mm²
 Dipasang sengkang minimum Ø8-200 mm

4.2.3 Trotoar

Sesuai dengan RSNI T-02-2005, semua trotoar harus direncanakan untuk memikul beban nominal yang berdasarkan luasannya. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 4.2

Tabel 4. 2. Luas trotoar terhadap beban nominal

| Luas | Beban Nominal (kPa) |
|----------------------------|---------------------|
| $A < 10 \text{ m}^2$ | 5 |
| $10 < A < 100 \text{ m}^2$ | 5,33-A/30 |
| $A \geq 100 \text{ m}^2$ | 2 |

Direncanakan

- Panjang total jembatan = 144 m
- Jarak antar tiang sandaran = 2m
- Lebar trotoar = 1 m
- Tinggi trotoar = 0,25 m
- Luas trotoar = 144 m x 1 m = 144 m²

Berat nominal = 2 kPa
 = 200 kg/m² x 2 m
 = 400 kg/m

Berat sendiri = 1m x 0,25 m x 2 m x 2400 kg/m³
 = 1200 kg/m

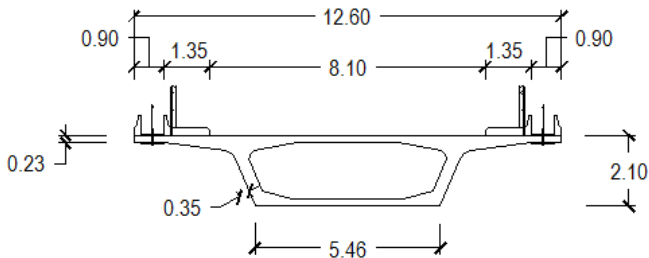
4.3 Permodelan Dan Analisa Struktur

Dalam analisa struktur jembatan *cable stayed* ini menggunakan program bantu MIDAS CIVIL. Beban yang bekerja pada desain ini berupa beban statik, dinamik, dan *staging analysis*.

Beban yang termasuk beban statik antara lain adalah beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin. Untuk beban dinamik adalah beban gempa dengan analisa *response spectrum*. Sedangkan untuk beban *staging analysis* berupa beban yang bekerja diatas jembatan pada waktu pelaksanaan (pendirian) jembatan.

4.3.1 Dimensi Gelagar

Berdasarkan bab sebelumnya, digunakan gelagar berupa box girder trapezoidal dengan mengacu pada standar PCI. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Penampang melintang gelagar (satuan dalam meter)

4.3.2 Dimensi Kabel

Menurut RSNI T-03-2005 Pasal 12.6 kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm^2 .

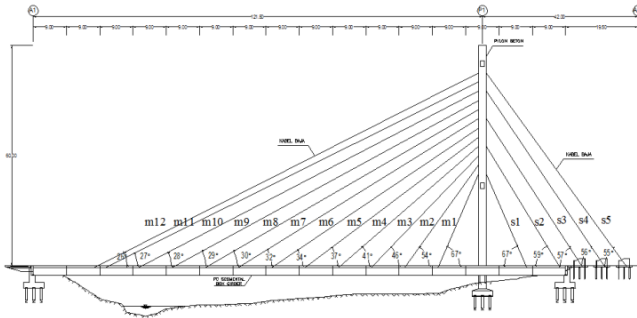
Ada dua jenis kabel paralel *VSL 7-wire strand* yang dapat digunakan untuk jembatan kabel, lihat Tabel 4.2 :

Tabel 4. 3. Jenis Kabel dan Anker

| Standard | ASTM A 416-06 Grade 270 | Euronorme 138-3 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| \emptyset (mm) | 15,2 | 15,7 |
| A_s (mm ²) | 140 | 150 |
| f_u ($f_{ijin}=0,45f_u$)(Mpa) | 1860 (837) | 1770 (797) |
| Ukuran anker | 7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand | |

Dalam perencanaan ini digunakan kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270 dengan f_{ijin} sebesar $0,45f_u$ (Gimsing, 1983).

Kabel bentang tepi diberi simbol “s” dan bentang tengah diberi simbol “m”. Penomoran kabel dimulai dari kabel yang terdekat dengan *pylon*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.10.



Gambar 4. 10. Tatanan sistem kabel

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

$$Asc = \frac{(W\lambda + P)\cos\theta}{(0,45f_u)\sin 2\theta/2 - \gamma.a}$$

Dimana :

- Asc : Luas penampang kabel
- W : Beban mati dan hidup merata
- P : Beban terpusat
- λ : Jarak antar angker kabel pada gelagar
- θ : Sudut kabel terhadap horisontal
- γ : Berat jenis kabel (77.01 kN/m^3)
- f_u : Tegangan putus kabel (1860 Mpa)
- a : jarak mendatar dari *pylon* ke angker kabel pada gelagar (*girder*)

Menghitung jumlah kabel. (Gimsing, 1983)

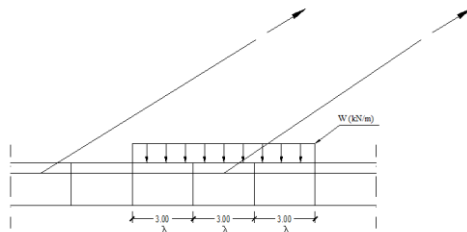
$$n = \frac{Asc}{As}$$

dimana :

As : Luas penampang kabel

Perhitungan beban yang dipikul kabel ($W\lambda + P$)

Beban yang dipikul meliputi beban hidup, beban mati, dan beban tambahan lain seperti beban air hujan dan beban pejalan kaki pada trotoar. Dimana jarak antar kabel didesain 9 m, sehingga satu kabel memikul beban-beban di atas selebar 9 m. Serta karena didesain 2 kabel yang menopang gelagar, yaitu pada sisi kanan dan kiri gelagar, maka perhitungan beban yang dipikul dikalikan $\frac{1}{2}$ nya. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.11.



Gambar 4. 11. Ilustrasi beban yang dipikul kabel

Berat sendiri gelagar

$$\begin{aligned} q &= A \times B_j \text{ beton} \times \lambda \\ &= 6,455 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 9 \text{ m} \\ &= 1394,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 0,5 \times q \times LF \\ &= 0,5 \times 1394,3 \times 1,2 \dots \text{ SNI 1725-2016} \\ &= 836,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan

Berat aspal

$$\begin{aligned} q_u &= 0,5 \times \text{tebal aspal} \times b_j \text{ aspal} \times \text{lebar jalan} \times \lambda \times LF \\ &= 0,5 \times 0,05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 8,1 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 2 \end{aligned}$$

$$= 80,2 \text{ kN} \dots \text{ SNI 1725-2016}$$

Berat air hujan 2 cm

$$\begin{aligned} q_u &= 0,5 \times \text{tinggi air hujan} \times \text{bj air} \times \text{lebar jalan} \times \lambda \times \text{LF} \\ &= 0,5 \times 0,02 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 8,1 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 2 \\ &= 14,6 \text{ kN} \dots \text{ RSNI T-02-2005} \end{aligned}$$

Berat railing dan kerb

$$\begin{aligned} q &= 1,4 \text{ kN/m} \\ q_u &= q \times \lambda \times \text{LF} \dots \text{ RSNI T-02-2005} \\ &= 1,4 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m} \times 2 \\ &= 25,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat trotoar pejalan kaki

$$\begin{aligned} q &= 16 \text{ kN/m} \\ q_u &= q \times \lambda \times \text{LF} \dots \text{ RSNI T-02-2005} \\ &= 16 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m} \times 1,8 \\ &= 259,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DL} &= \text{berat sendiri} + \text{beban mati tambahan} \\ &= 836,6 \text{ kN} + 80,2 \text{ kN} + 14,6 \text{ kN} + 25,2 \text{ kN} + 259,2 \text{ kN} \\ &= 1215,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban hidup

Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kN/m}^2 \dots \text{ SNI 1725-2016} \\ &= 9 \times (0,5 + 15/144) \\ &= 5,44 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{LL1} &= 0,5 \times \text{BTR} \times \text{lebar jalan} \times \lambda \times \text{LF} \\ &= 0,5 \times 5,44 \text{ kN/m}^2 \times 8,1 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 1,8 \\ &= 356,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Garis Terpusat (BGT)

$$\text{BGT} = 49 \text{ kN/m} \dots \text{ SNI 1725-2016}$$

$$W_{LL2} = 0,5 \times \text{BGT} \times (1 + \text{FBD}) \times \text{lebar jalan} \times \text{LF}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \times 49 \text{ kN/m} \times (1+30\%) \times 8,1 \text{ m} \times 1,8 \\
 &= 464,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{LL} &= W_{LL1} + W_{LL2} \\
 &= 356,9 \text{ kN} + 464,4 \text{ kN} \\
 &= 821,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (W\lambda + P) &= W_{LL} + W_{DL} \\
 &= 821,3 \text{ kN} + 1215,8 \text{ kN} \\
 &= 2037,1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kabel

Kabel m2, $a = 20 \text{ m}$, $\theta = 54^\circ$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ijin} &= 0,45 \times 1860 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 837 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 837000 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$Asc = \frac{(2037,1) \times \cos 54}{837000 \times \sin (2 \times 54) / 2 - 77,01 \times 20}$$

$$Asc = 0,003 \text{ m}^2$$

$$Asc = 3015 \text{ mm}^2$$

Digunakan kabel tipe I θ 15,2 mm ; $As = 140 \text{ mm}^2$

$$\text{jumlah kabel perlu (n)} = \frac{Asc}{As} = \frac{2996}{140} = 21,5 = 22 \text{ kabel}$$

Perhitungan selanjutnya akan di tabelkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4. Kebutuhan jumlah kabel

| No | θ | $W\lambda + P$ | a_i | Asc | n perlu | n pasang |
|-----|--------------|----------------|-------|-------------------|---------|----------|
| | ($^\circ$) | (kN) | (m) | (m ²) | (kabel) | (kabel) |
| m1 | 67 | 3347.60 | 11 | 0.0043 | 31.0359 | 32 |
| m2 | 54 | 2037.10 | 20 | 0.0030 | 21.5374 | 22 |
| m3 | 46 | 2037.10 | 29 | 0.0034 | 24.4687 | 25 |
| m4 | 41 | 2037.10 | 38 | 0.0038 | 26.7999 | 27 |
| m5 | 37 | 2037.10 | 47 | 0.0041 | 29.2373 | 30 |
| m6 | 34 | 2037.10 | 56 | 0.0044 | 31.7228 | 32 |
| m7 | 32 | 2037.10 | 65 | 0.0047 | 33.2794 | 34 |
| m8 | 30 | 2037.10 | 74 | 0.0049 | 35.3281 | 36 |
| m9 | 29 | 2037.10 | 83 | 0.0051 | 36.6774 | 37 |
| m10 | 28 | 2037.10 | 92 | 0.0053 | 38.0994 | 39 |
| m11 | 27 | 1512.92 | 101 | 0.0041 | 29.4104 | 30 |
| m12 | 26 | 4725.24 | 104 | 0.0134 | 95.3974 | 96 |
| s1 | 67 | 3347.60 | 11 | 0.0043 | 31.0359 | 32 |
| s2 | 59 | 6111.30 | 20 | 0.0087 | 61.8943 | 62 |
| s3 | 57 | 6111.30 | 26 | 0.0088 | 62.6829 | 63 |
| s4 | 56 | 6111.30 | 32 | 0.0089 | 63.8997 | 64 |
| s5 | 55 | 6238.16 | 38 | 0.0091 | 65.0463 | 66 |

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan (melengkung) akibat berat sendiri. Namun dalam analisa dianggap lurus dengan memberikan faktor koreksi pada E (Modulus Elastisitas) dengan persamaan sebagai berikut (H-J Ernst)

$$E_{eff} = \frac{E_o}{1 + \frac{(\gamma \cdot L)^2}{12\sigma^3} \cdot E_o}$$

Dimana :

- E_{eff} = modulus elastisitas ekivalen
 E_0 = modulus elastisitas kabel
 = $2 \cdot 10^5$ MPa
 γ = berat jenis kabel
 = 77 kN/m^3
 = $77 \cdot 10^{-6} \text{ N/mm}^3$
 L = jarak titik gantung kabel (mm)
 σ = tegangan tarik kabel
 = $0,45 \cdot f_u$
 = 837 N/mm^2

Perhitungan modulus elastisitas ekivalen kabel

Kabel m2, $L = 34,41 \text{ m}$, $\theta = 54^\circ$

$$E_{eff} = \frac{200000}{1 + \frac{(77 \cdot 10^{-6} \times 34410)^2}{12 \times 837^3} \times 200000}$$

$$E_{eff} = 199960 \text{ MPa}$$

Perhitungan nilai modulus elastisitas efektif ekivalen selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5. Nilai modulus elastisitas ekivalen kabel

| No | θ | L | Eeq |
|-----|----------------|--------|-----------|
| | ($^{\circ}$) | (m) | (MPa) |
| m1 | 67 | 27.77 | 199974.01 |
| m2 | 54 | 34.41 | 199960.10 |
| m3 | 46 | 42.09 | 199940.31 |
| m4 | 41 | 50.33 | 199914.66 |
| m5 | 37 | 58.9 | 199883.14 |
| m6 | 34 | 67.68 | 199845.73 |
| m7 | 32 | 76.59 | 199802.49 |
| m8 | 30 | 85.59 | 199753.40 |
| m9 | 29 | 94.65 | 199698.51 |
| m10 | 28 | 103.77 | 199637.72 |
| m11 | 27 | 112.92 | 199571.16 |
| m12 | 27 | 116.73 | 199541.80 |
| s1 | 67 | 27.77 | 199974.01 |
| s2 | 59 | 38.59 | 199949.82 |
| s3 | 57 | 47.76 | 199923.15 |
| s4 | 56 | 57.36 | 199889.17 |
| s5 | 55 | 66.9 | 199849.27 |

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa koreksi modulus elastisitas yang terjadi sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Hal ini berarti lendutan yang terjadi akibat berat sendiri kabel sangat kecil, sehingga dapat dianggap sebagai kabel lurus.

4.3.3 Dimensi Pylon

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

- 1) Material *pylon* = beton bertulang
- 2) f'_c = 50 Mpa
- 3) f_y = 400 Mpa

Besarnya gaya yang terjadi pada *pylon* akibat kabel dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6. Gaya Aksial pada Pylon

| No | θ | T |
|------------|----------------|-----------|
| | ($^{\circ}$) | (kN) |
| m1 | 67 | 6695.20 |
| m2 | 54 | 4074.20 |
| m3 | 46 | 4074.20 |
| m4 | 41 | 4074.20 |
| m5 | 37 | 4074.20 |
| m6 | 34 | 4074.20 |
| m7 | 32 | 4074.20 |
| m8 | 30 | 4074.20 |
| m9 | 29 | 4074.20 |
| m10 | 28 | 4074.20 |
| m11 | 27 | 3025.84 |
| m12 | 26 | 9450.48 |
| s1 | 67 | 6695.20 |
| s2 | 59 | 12222.60 |
| s3 | 57 | 12222.60 |
| s4 | 56 | 12222.60 |
| s5 | 55 | 12476.32 |
| ΣT | = | 111678.64 |

Dimensi *pylon* :

$$A = \frac{\sum T}{f_c'}$$

Untuk mengantisipasi momen yang timbul pada *pylon*, maka f_c' yang digunakan dalam prelim ini dikalikan dengan 30%.

$$\begin{aligned} &= \frac{106368 \times 10^3}{0,3 \times 50} \\ &= 7091200 \text{ mm}^2 \\ &= 70912 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang direncanakan :

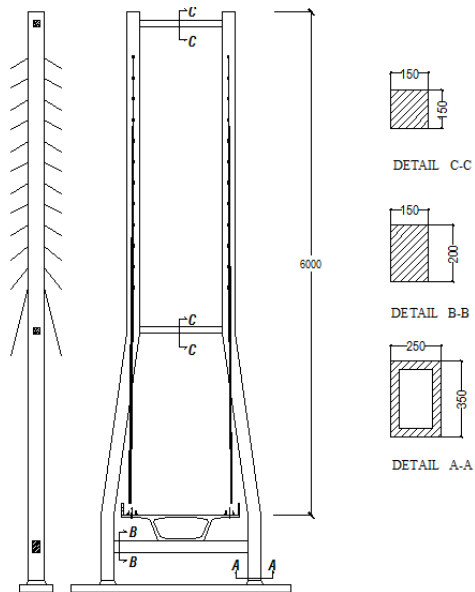
$$\begin{aligned} A &= b \cdot (1,5 \cdot b) \\ &= 1,5 \cdot b^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{\frac{A}{1,5}} \\ &= \sqrt{\frac{67095,33}{1,5}} \\ &= 222,8 \text{ cm} \approx 250 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= 1,5 \cdot 222,8 \text{ cm} \\ &= 334,2 \text{ cm} \approx 350 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka digunakan dimensi *pylon* $b = 250 \text{ cm}$ dan $h = 350 \text{ cm}$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.12.



Gambar 4. 12. Dimensi Penampang Pylon (satuan dalam cm)

4.3.4 Analisa Pembebanan

A. Beban Mati (DL)

Terdiri dari berat sendiri gelagar dan beban mati tambahan.

Berat sendiri gelagar

$$\begin{aligned} q &= A \times B_j \text{ beton} \\ &= 6,455 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 \dots \text{SNI 1725-2016} \\ &= 155 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Sedangkan beban mati tambahan terdiri dari :

Berat aspal

$$\begin{aligned} q_u &= \text{tebal aspal} \times b_j \text{ aspal} \times \text{lebar jalan} \\ &= 0,05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 8,1 \text{ m} \dots \text{SNI 1725-2016} \\ &= 8,91 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berat air hujan 2 cm

$$\begin{aligned} q_u &= \text{tinggi air hujan} \times \text{bj air} \times \text{lebar jalan} \\ &= 0,02 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 8,1 \text{ m} \dots \text{RSNI T-02-2005} \\ &= 1,62 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berat railing dan kerb

$$q = 1,4 \text{ kN/m}$$

Berat trotoar pejalan kaki

$$q = 16 \text{ kN/m} \dots \text{RSNI T-02-2005}$$

B. Beban Hidup (LL)

Terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT).

Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kN/m}^2 \dots \text{SNI 1725-2016} \\ &= 9 \times (0,5 + 15/144) \\ &= 5,44 \text{ kN/m}^2 \\ q_u &= 5,44 \text{ kN/m}^2 \times \text{lebar jalan} \\ &= 5,44 \text{ kN/m}^2 \times 8,1 \text{ m} \\ &= 44,1 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban Garis Terpusat (BGT)

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= 49 \text{ kN/m} \dots \text{SNI 1725-2016} \\ q_u &= \text{BGT} \times (1 + \text{FBD}) \times \text{lebar jalan} \\ &= 49 \text{ kN/m} \times (1 + 30\%) \times 8,1 \text{ m} \\ &= 516 \text{ kN} \end{aligned}$$

C. Beban Rem (TB)

Berdasarkan SNI 1725-2016 gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain

$$\begin{aligned} q_u &= 0,25 \times 225 \text{ kN} \\ &= 56,25 \text{ Kn} \end{aligned}$$

- 5% dari berat truk rencana ditambah beban BTR

$$q_u = 0,05 \times (500 \text{ kN} + (44,1 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}))$$

$$= 58 \text{ kN}$$

Maka diambil beban rem sebesar 58 kN yang di tempatkan di semua lajur rencana untuk bekerja secara horisontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

D. Beban Temperatur (EUn)

Berdasarkan SNI 1725-2016 besar rentang simpangan kibat beban temperatur harus didesain dari:

$$\Delta T = \alpha \cdot L(T_{\max} - T_{\min})$$

Dengan,

L : panjang komponen jembatan (mm)

α : koefisien muai temperature (mm/mm/°C),
ditentukan pada tabel 4.7

T_{max} : temperatur jembatan rata-rata maksimum,
ditentukan pada tabel 4.8

T_{min} : temperatur jembatan rata-rata minimum,
ditentukan pada tabel 4.8

Maka,

$$\Delta T = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 144 \cdot 10^3 (40^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) = 39,6^\circ\text{C}$$

Tabel 4. 7. Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

| <i>Bahan</i> | <i>Nilai koefisien, α</i> | <i>Modulus Elastisitas (MPa)</i> |
|--------------------|---|----------------------------------|
| <i>Baja</i> | 12×10^{-6} | 200.000 |
| <i>Beton</i> | | |
| -kuat tekan <30MPa | 10×10^{-6} | $4700\sqrt{f_c}$ |
| -kuat tekan >30MPa | 11×10^{-6} | |

Tabel 4. 8. Temperatur jembatan rata-rata nominal

| Tipe bangunan atas | Tmin | Tmax |
|--|------|------|
| Lantai beton di atas gelagar/ box beton | 15°C | 40°C |
| Lantai beton di atas gelagar, box, atau rangka baja | 15°C | 40°C |
| Lantai pelat baja di atas gelagar, box, atau rangka baja | 15°C | 45°C |

E. Beban Angin (EW)

Pada perencanaan ini arah angin diasumsikan bekerja tegak lurus terhadap jembatan maupun kendaraan yang lewat di atasnya dan dihitung berdasarkan SNI 1725-2016.

Menentukan kecepatan angin rencana

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan berikut:

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

Dengan,

V_{DZ} : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, (km/jam)

- V_{10} : kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- V_B : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
- Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin rencana dihitung ($Z > 10000$ mm)
- V_0 : kecepatan gesekan angin, yang meruakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 6.7, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan
- Z_0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meterologi, ditentukan pada Tabel 4.9.
- V_{10} diperoleh dari:
- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
 - Survei angin pada lokasi jembatan.
 - Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 4. 9. Nilai V_0 dan Z_0

| Kondisi | Lahan terbuka | Sub urban | Kota |
|----------------|---------------|-----------|------|
| V_0 (km/jam) | 13,2 | 17,6 | 19,3 |
| Z_0 (mm) | 70 | 1000 | 2500 |

Karena jembatan terletak di daerah sub urban, maka:

$$V_{DZ} = 2,5 \times 17,6 \left(\frac{90}{90}\right) \ln\left(\frac{11000}{1000}\right) = 105,5 \text{ km/jam}$$

Beban angin pada struktur (EWs)

Tekanan angin rencana (MPa) dapat ditetapkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dengan,

P_B : tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam Tabel 4.10

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 |

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

$$P_D = 0,0024 \left(\frac{105,5}{90} \right)^2 = 0,0033 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{EWs} &= P_D \times \text{tinggi gelagar} \\ &= 0,0033 \text{ N/mm}^2 \times 2100 \text{ mm} \\ &= 6,925 \text{ N/mm} \approx 6,925 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Karena EWs rencana lebih besar dari 4,4 kN/m, maka diambil EWs rencana yang sebesar 6,925 kN/m.

Gaya angin pada kendaraan (EW_1)

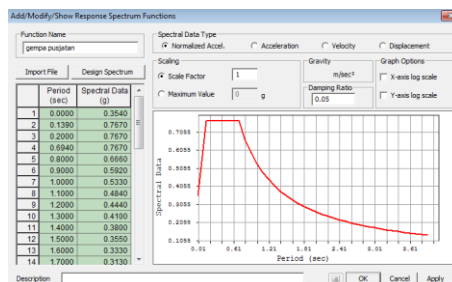
Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.

F. Beban Gempa (EQ)

Untuk pembebanan gempa pada desain jembatan ini digunakan metode *response spectrum* dengan program bantu MIDAS/Civil. Berdasarkan RSNI 2833-201X, dapat dilihat posisi kota Solo dalam peta gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun memiliki data sebagai berikut:

- Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) : 0,3g
- Percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_s) : 0,6g
- Percepatan 1 detik di batuan dasar (S_1) : 0,3g

Berdasarkan data di atas dan data tanah yang diperoleh, maka didapatkan kelas situs tanah D yaitu tanah sedang. Parameter tersebut diinputkan ke dalam program bantu MIDAS/Civil untuk mendapatkan grafik *response spectrum*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.13

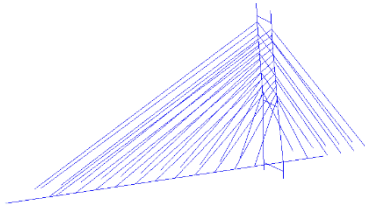


Gambar 4. 13. Grafik Response Spectrum MIDAS/Civil

1. Menghitung Koefisien Respons Gempa Elastik (C_{sm})

Nilai koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) dihitung berdasarkan RSNI 2833-201X Ps. 5.4.2.

Arah X (Longitudinal)



Gambar 4. 14. Vibration mode shape pada mode 1 menunjukkan lentur arah X

Diketahui :

$$T_{\text{output MIDAS}} = 1,26 \text{ sec (mode 1)}$$

$$T_0 = 0,139 \text{ sec}$$

$$T_s = 0,694 \text{ sec}$$

Sehingga $T_{\text{output MIDAS}} > T_s$, maka digunakan persamaan ke 3 pada RSNI 2833-201X Ps. 5.4.2.

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} = \frac{0,533}{1,26} = 0,423$$

Maka dapat dihitung gaya geser dasar seismik (V) berdasarkan RSNI 2833-201X Ps. 5.1 dengan persamaan berikut :

$$V_{\text{statik}} = \frac{C_{sm}}{R} \times Wt$$

Dimana :

C_{sm} = koefisien respons gempa elastik pada moda getar

W_t = berat total struktur

R = faktor modifikasi respons = 1,5 (keepakatanan komisi keselamatan jembatan dan terowongan jalan)

Nilai W_t (berat total struktur) didapat dari jumlah reaksi perletakan arah vertikal pada MIDAS, didapat :

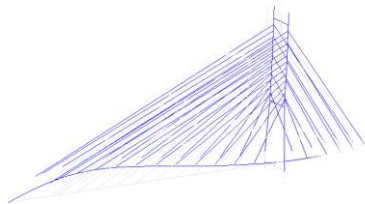
$$W_t = 43397,68 \text{ kN}$$

Sehingga

$$V_{\text{statik}} = \frac{0,423}{1,5} \times 43397,68 = 12238,15 \text{ kN}$$

$$0,85 V_{\text{statik}} = 0,85 \times 12238,15 = 10402,43 \text{ kN}$$

Arah Y (Transversal)



Gambar 4. 15. Vibration mode shape pada mode 2 menunjukkan lentur arah Y

Diketahui :

$$T_{\text{output MIDAS}} = 1,19 \text{ sec (mode 2)}$$

$$T_0 = 0,139 \text{ sec}$$

$$T_s = 0,694 \text{ sec}$$

Sehingga $T_{\text{output MIDAS}} > T_s$, maka digunakan persamaan ke 3 pada RSNI 2833-201X Ps. 5.4.2.

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} = \frac{0,533}{1,19} = 0,45$$

Maka dapat dihitung gaya geser dasar seismik (V) berdasarkan RSNI 2833-201X Ps. 5.1 dengan persamaan berikut :

$$V_{\text{statik}} = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Dimana :

C_{sm} = koefisien respons gempa elastik pada moda getar

W_t = berat total struktur

R = faktor modifikasi respons = 3 (kesepakatan komisi keselamatan jembatan dan terowongan jalan)

Nilai W_t (berat total struktur) didapat dari jumlah reaksi perletakan arah vertikal pada MIDAS, didapat :

$$W_t = 43397,68 \text{ kN}$$

Sehingga

$$V_{\text{statik}} = \frac{0,45}{3} \times 43397,68 = 6479,26 \text{ kN}$$

$$0,85 V_{\text{statik}} = 0,85 \times 6479,26 = 5507,37 \text{ kN}$$

2. Kontrol Pengaruh Gempa

Arah X (Longitudinal)

Pada bangunan atas jembatan pengaruh gempa harus direduksi, untuk gempa pada struktur jembatan arah X memiliki faktor modifikasi respons (R) yang lebih kecil dari gempa pada struktur jembatan arah Y, hal ini terjadi karena pada arah longitudinal tidak boleh ada struktur yang leleh.

Pada arah X diambil nilai $R = R_{\text{statik}} = 1,5$, sehingga pada respons spektrum MIDAS nilai *scale factor* diubah menjadi = 0,66.

Kemudian dicari nilai V_{dinamik} akibat gempa arah X dengan menjumlah semua reaksi geser arah X pada semua perletakan

Didapat nilai V_{dinamik} arah X = 9693,7 kN

Dikarenakan *base shear* dari perhitungan dinamis lebih kecil daripada perhitungan statis, maka gaya gempa yang ada harus dikalikan dengan faktor skala agar besarnya *base shear* gempa dinamis minimal sebesar 85% *base shear* perhitungan statik. Besarnya faktor skala untuk gempa arah x sebesar $0,85 \times 12238,15 / 9693,7 = 1,07 \approx 1,1$

Sehingga terkontrol OK karena V_{dinamik} arah X $> 0,85 V_{\text{statik}}$

Arah Y (Transversal)

Pada bangunan atas jembatan pengaruh gempa harus dire-duksi, untuk gempa pada struktur jembatan arah Y memiliki faktor modifikasi respons (R) yang lebih besar dari gempa pada struktur jembatan arah X, hal ini terjadi karena pada arah transversal boleh ada struktur yang leleh, seperti balok pengaku pada *pylon*.

Pada arah Y diambil nilai $R = 3$, sehingga pada respons spektrum MIDAS nilai *scale factor* diubah menjadi $1/3 = 0,333$.

Kemudian dicari nilai V_{dinamik} akibat gempa arah Y dengan menjumlah semua reaksi geser arah Y pada semua perletakan

Didapat nilai V_{dinamik} arah Y = 3557,65 kN

Dikarenakan *base shear* dari perhitungan dinamis lebih kecil daripada perhitungan statis, maka gaya gempa yang ada harus dikalikan dengan faktor skala agar besarnya *base shear* gempa dinamis minimal sebesar 85% *base shear* perhitungan statik. Besarnya faktor skala untuk gempa arah y sebesar $0,85 \times 6479,26 / 3557,65 = 1,54 \approx 1,6$

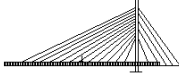
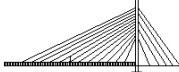
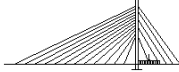
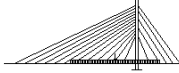
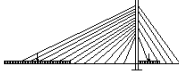
Sehingga terkontrol OK karena $V_{\text{dinamik}} \text{ arah } Y > 0,85 V_{\text{statik}}$

G. Kombinasi Pembebanan

- Kuat 1 = $1,2DL+2SDL+1,8LL_i+1,8TB_i+1,2EUn$
- Kuat 3 = $1,2DL+2SDL+1,4EW_s+1,2EUn$
- Ekstrem1 = $1,2DL+2SDL+0,5LL_i+0,5TB_i+EQ_x+0,3EQ_y$
- Ekstrem2 = $1,2DL+2SDL+0,5LL_i+0,5TB_i+0,3EQ_x+EQ_y$
- Layan1 = $DL+SDL+LL_i+TB_i+0,3EW_s+EW_{L_i}+1,2EUn$
- Layan 2 = $DL+SDL+1,3LL_i+1,3TB_i+1,2EUn$
- Layan 4 = $DL+SDL+0,7EW_s+1,2EUn$

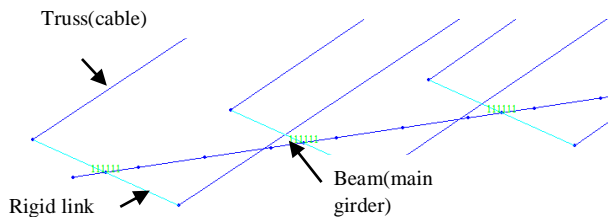
Untuk *Load Factor* masing-masing beban mengacu pada SNI 1725-2016 dan RSNI 2833-201X, sedangkan untuk konfigurasi pembebanan LL dan EW_L mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11. Konfigurasi pembebanan LL

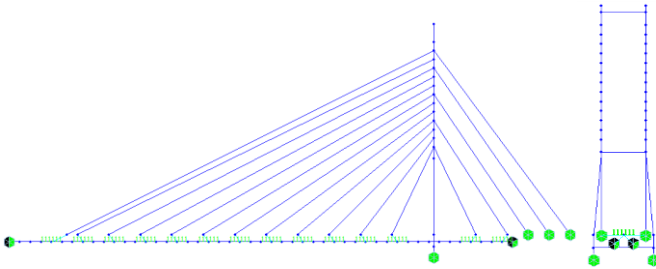
| KONFIGURASI | GAMBAR |
|-------------|---|
| 1 |  |
| 2 |  |
| 3 |  |
| 4 |  |
| 5 |  |

4.3.5 Permodelan

Permodelan dilakukan dengan program bantu MIDAS/Civil dalam model 3D. Dimana elemen kabel dimodelkan sebagai elemen *truss* yang dihubungkan dengan *rigid link support*, sedangkan *main girder* dimodelkan sebagai elemen *beam*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4. 16. Permodelan elemen jembatan



Gambar 4. 17. Tampak memanjang dan melintang permodelan

4.3.6 Analisa Struktur

Dari analisa dinamis struktur didapatkan hasil tiap mode yang dapat ditabelkan di bawah ini.

Tabel 4. 12. Periode struktur tiap mode shape

| Mode No | Frequency | | Period | Mode No | Frequency | | Period |
|---------|-----------|-------------|----------|---------|-----------|-------------|----------|
| | (rad/sec) | (cycle/sec) | (sec) | | (rad/sec) | (cycle/sec) | (sec) |
| 1 | 4.962312 | 0.789776 | 1.266181 | 21 | 49.48777 | 7.876223 | 0.126964 |
| 2 | 5.26588 | 0.838091 | 1.193188 | 22 | 58.31704 | 9.281445 | 0.107742 |
| 3 | 5.497243 | 0.874913 | 1.14297 | 23 | 59.61199 | 9.487543 | 0.105401 |
| 4 | 11.50204 | 1.830607 | 0.546267 | 24 | 61.59237 | 9.80273 | 0.102012 |
| 5 | 13.03088 | 2.07393 | 0.482176 | 25 | 61.61826 | 9.806851 | 0.10197 |
| 6 | 17.112 | 2.72346 | 0.36718 | 26 | 69.36905 | 11.040426 | 0.090576 |
| 7 | 17.7203 | 2.820273 | 0.354576 | 27 | 76.43621 | 12.1652 | 0.082202 |
| 8 | 18.87984 | 3.00482 | 0.332799 | 28 | 76.71627 | 12.209774 | 0.081902 |
| 9 | 20.80406 | 3.311069 | 0.302017 | 29 | 77.98658 | 12.41195 | 0.080568 |
| 10 | 22.99514 | 3.659791 | 0.27324 | 30 | 79.63332 | 12.674037 | 0.078901 |
| 11 | 24.59078 | 3.913744 | 0.25551 | 31 | 86.38763 | 13.749018 | 0.072732 |
| 12 | 25.36407 | 4.036816 | 0.24772 | 32 | 86.48849 | 13.765071 | 0.072648 |
| 13 | 30.77709 | 4.898325 | 0.204151 | 33 | 91.43167 | 14.551801 | 0.06872 |
| 14 | 34.32735 | 5.463367 | 0.183037 | 34 | 92.88207 | 14.78264 | 0.067647 |
| 15 | 35.69425 | 5.680917 | 0.176028 | 35 | 95.4061 | 15.184353 | 0.065857 |
| 16 | 36.62735 | 5.829424 | 0.171544 | 36 | 104.2861 | 16.597651 | 0.060249 |
| 17 | 38.87708 | 6.187479 | 0.161617 | 37 | 106.6659 | 16.976401 | 0.058905 |
| 18 | 42.07993 | 6.697229 | 0.149315 | 38 | 107.3231 | 17.081001 | 0.058545 |
| 19 | 48.16023 | 7.664938 | 0.130464 | 39 | 112.1111 | 17.843039 | 0.056044 |
| 20 | 48.32927 | 7.691842 | 0.130008 | 40 | 112.9387 | 17.974751 | 0.055634 |

Tabel 4. 13. Modal Participation masses (%)

| Mode No | TRAN-X | | TRAN-Y | | Mode No | TRAN-X | | TRAN-Y | |
|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|
| | MASS(%) | SUM(%) | MASS(%) | SUM(%) | | MASS(%) | SUM(%) | MASS(%) | SUM(%) |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 29.82 | 29.82 | 11 | 0.00 | 31.74 | 0.45 | 82.31 |
| 2 | 1.21 | 1.21 | 0.00 | 29.82 | 12 | 33.50 | 65.23 | 0.00 | 82.31 |
| 3 | 0.00 | 1.21 | 45.17 | 74.99 | 13 | 0.00 | 65.23 | 0.01 | 82.32 |
| 4 | 0.00 | 1.21 | 0.00 | 74.99 | 14 | 0.00 | 65.24 | 0.00 | 82.32 |
| 5 | 6.68 | 7.89 | 0.00 | 74.99 | 15 | 0.34 | 65.57 | 0.00 | 82.32 |
| 6 | 0.00 | 7.89 | 6.87 | 81.86 | 16 | 0.00 | 65.57 | 0.07 | 82.39 |
| 7 | 23.56 | 31.45 | 0.00 | 81.86 | 17 | 15.92 | 81.49 | 0.00 | 82.39 |
| 8 | 0.15 | 31.60 | 0.00 | 81.86 | 18 | 0.00 | 81.49 | 3.40 | 85.78 |
| 9 | 0.00 | 31.60 | 0.00 | 81.86 | 19 | 0.00 | 81.49 | 2.65 | 88.43 |
| 10 | 0.14 | 31.74 | 0.00 | 81.86 | 20 | 0.00 | 81.49 | 1.02 | 89.45 |
| Mode No | TRAN-X | | TRAN-Y | | Mode No | TRAN-X | | TRAN-Y | |
| | MASS(%) | SUM(%) | MASS(%) | SUM(%) | | MASS(%) | SUM(%) | MASS(%) | SUM(%) |
| 21 | 2.59 | 84.08 | 0.00 | 89.45 | 31 | 0.00 | 86.79 | 0.99 | 90.49 |
| 22 | 2.04 | 86.12 | 0.00 | 89.45 | 32 | 0.00 | 86.79 | 0.00 | 90.49 |
| 23 | 0.00 | 86.12 | 0.00 | 89.45 | 33 | 0.00 | 86.79 | 1.50 | 91.99 |
| 24 | 0.26 | 86.38 | 0.00 | 89.45 | 34 | 0.16 | 86.95 | 0.00 | 91.99 |
| 25 | 0.00 | 86.38 | 0.00 | 89.45 | 35 | 0.00 | 86.95 | 0.01 | 92.00 |
| 26 | 0.40 | 86.77 | 0.00 | 89.45 | 36 | 0.00 | 86.95 | 0.00 | 92.00 |
| 27 | 0.00 | 86.77 | 0.02 | 89.48 | 37 | 0.00 | 86.95 | 0.84 | 92.84 |
| 28 | 0.01 | 86.79 | 0.00 | 89.48 | 38 | 2.70 | 89.65 | 0.00 | 92.84 |
| 29 | 0.00 | 86.79 | 0.03 | 89.51 | 39 | 0.00 | 89.65 | 0.00 | 92.84 |
| 30 | 0.00 | 86.79 | 0.00 | 89.51 | 40 | 2.42 | 92.07 | 0.00 | 92.84 |

Dari analisa statis dan dinamis terhadap struktur didapatkan gaya dalam tiap elemen yang dapat ditabelkan di bawah ini.

Tabel 4. 14. Hasil output gaya dalam dek

| Load | Axial | Shear-y | Shear-z | Torsion | Moment-y | Moment-z |
|-------------|----------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|
| | (kN) | (kN) | (kN) | (kN·m) | (kN·m) | (kN·m) |
| ekstrem 1-2 | 31759.25 | 650.27 | 635.50 | 707.70 | 105558.23 | 14363.71 |
| ekstrem 2-3 | 23371.50 | 2425.00 | -5456.11 | 3333.69 | 31963.88 | 6.64 |
| kuat 1-2 | 0.00 | -14.66 | -15893.39 | -20.04 | -46573.58 | -43.97 |
| ekstrem 2-3 | -9545.94 | 1820.69 | -2253.13 | 3689.52 | -12548.06 | 66745.22 |
| kuat 1-5 | 24289.03 | -9.97 | -1687.12 | -331.66 | 158571.69 | 93.01 |
| ekstrem 2-4 | 5945.69 | 111.55 | 2906.82 | 1230.55 | 5445.91 | 100779.31 |

Tabel 4. 15. Hasil output gaya dalam pylon

| Elem | Load | Axial | Shear-y | Shear-z | Torsion | Moment-y | Moment-z |
|-------|-------------|-----------|----------|----------|----------|------------|----------|
| | | (kN) | (kN) | (kN) | (kN-m) | (kN-m) | (kN-m) |
| kolom | kuat 1-1 | -49659.68 | 501.95 | 4217.32 | 5734.11 | -108821.71 | -6486.31 |
| | ekstrem 2-1 | -39674.31 | 5267.52 | 3312.69 | 5279.35 | -52336.81 | 22344.36 |
| | kuat 1-2 | -8859.89 | 81.23 | -6767.93 | -951.52 | 39711.85 | -130.65 |
| | kuat 1-2 | -47443.78 | -3857.33 | 4128.88 | -6812.40 | -94884.89 | 7906.00 |
| | kuat 1-2 | -49246.09 | 499.68 | 4198.44 | 5686.62 | -108838.95 | -6436.00 |
| | ekstrem 2-1 | -39987.52 | -2158.11 | 3296.81 | -3386.68 | -59980.38 | 29180.26 |
| balok | kuat 1-1 | -3808.71 | -23.30 | 335.93 | 72.74 | -162.34 | 1358.79 |
| | ekstrem 2-3 | -73.49 | 251.47 | 2033.23 | 236.11 | 13118.27 | 1971.93 |
| | ekstrem 2-3 | -3349.47 | 196.94 | 3388.87 | 95.50 | 16865.26 | 2002.26 |
| | ekstrem 2-3 | -73.49 | 251.47 | 2033.23 | 236.11 | 13118.27 | 1971.93 |
| | ekstrem 2-1 | -3597.75 | 190.17 | 3378.35 | 115.75 | 16948.34 | 2118.36 |
| | ekstrem 2-2 | -3588.69 | 189.37 | 3379.02 | 117.57 | 16943.63 | 2119.16 |

Tabel 4. 16. Hasil output gaya kabel

| Kabel | Gaya |
|-------|-------------|
| m12 | 6692.12 kN |
| m11 | 9734.31 kN |
| m10 | 13015.19 kN |
| m9 | 10153.82 kN |
| m8 | 7880.63 kN |
| m7 | 6572.06 kN |
| m6 | 6864.06 kN |
| m5 | 7760.78 kN |
| m4 | 7455.06 kN |
| m3 | 6599.34 kN |
| m2 | 6349.39 kN |
| m1 | 6483.56 kN |
| s1 | 5422.42 kN |
| s2 | 11835.35 kN |
| s3 | 10211.87 kN |
| s4 | 12236.17 kN |
| s5 | 14010.40 kN |

4.4 Staging Analysis

Metode pelaksanaan/*Staging Analysis* konstruksi jembatan *cabre stayed* ini didesain dengan *cantilever method* dan dipengaruhi langsung oleh beban *form traveler* dengan *forward method*. Urutan pekerjaannya sebagai berikut:

1. Pengecoran *pylon* dan blok angkur dengan metode *cor in situ*
2. Pemasangan gelagar dimulai dari *pylon* dengan bantuan *crane* dan penyangga sementara
3. Pemasangan gelagar dan kabel dilakukan secara *balance* terlebih dahulu ke arah *main span* dan *side span* hingga sisi *side span* terpasang seluruhnya dengan bantuan *form traveller*
4. Pemasangan gelagar dan kabel dilanjutkan ke arah *main span* dengan bantuan *form traveller* hingga selesai
5. Beban yang bekerja saat pelaksanaan hanya berat gelagar dan *form traveller*, sedangkan beban servis baru bekerja saat pelaksanaan selesai

Sedangkan untuk metode analisisnya dilakukan dengan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution*. Dimulai dari keadaan final jembatan dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai pada keadaan awal pada metode pelaksanaan. Semua tahapan tersebut di-input-kan kedalam program bantu MIDAS/Civil sehingga didapat hasil gaya per tahapan analisa.

4.4.1 Pembebanan Staging Analysis

Pada saat pelaksanaan *staging analysis* beban *deck* jembatan akan dipikul oleh *form traveler* yang kemudian akan disalurkan pada jembatan. Untuk konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut ini.

Tabel 4. 17. Konfigurasi pembebanan untuk staging analysis

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

Beban yang dipikul selama tahap pelaksanaan adalah:

- Berat sendiri gelagar per segmen (3m)

$$\begin{aligned}
 q_u &= A \times B_j \text{ beton} \times \lambda \times LF \dots \text{SNI 1725-2016} \\
 &= 6,455 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 3 \text{ m} \times 1,2 \\
 &= 560 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Beban *form traveler* tipe *overhead triangle* berdasarkan produk Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1000 \text{ kN} \times LF \dots \text{SNI 1725-2016} \\
 &= 1000 \text{ kN} \times 1,25 \\
 &= 1250 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Total beban per segmen saat *staging* sebesar 1810 kN

Spesifikasi *form traveler* yang akan digunakan dalam *staging analysis* mengikuti spesifikasi Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd. yang dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.18.

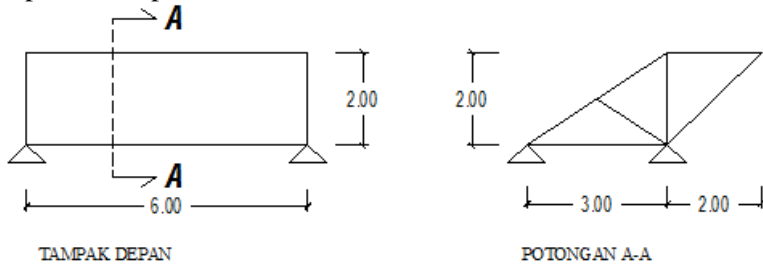
Tabel 4. 18. Spesifikasi Form Traveler Tipe Overhead Triangle

| Description | Specification |
|---------------------|-----------------------------------|
| Model | Shuangpeng |
| Capacity | ≤ 130 ton |
| Segmen Length | ≤ 5m |
| Deck Width | ≤ 35 m |
| Bridge Type | Balanced Cantilever or Cable Stay |
| Launching Mechanism | Mechanical or Hydraulic |

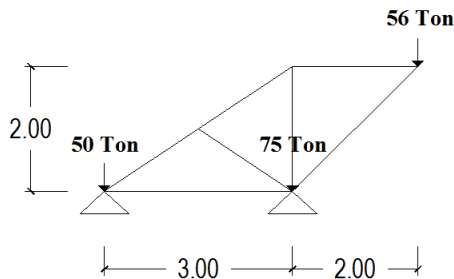


Gambar 4. 18. Contoh form traveler yang dipakai

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 V14.2.2. Berikut ilustrasi analisa yang dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan 4.20.



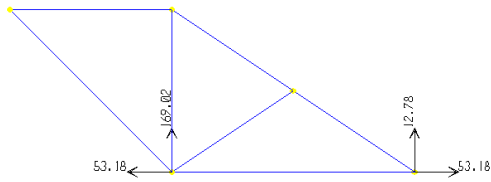
Gambar 4. 19. Spesifikasi form traveler (dalam m)



Gambar 4. 20. Permodelan dan input beban pada form traveler

Dalam permodelan dan input beban pada *form traveler* ini, berat sendiri profil baja diabaikan, sehingga beban yang dianalisa hanya sebesar 1810 kN dari perhitungan sebelumnya, yang meliputi berat sendiri *form traveler* dan berat *deck* per segmen pengangkutan (dengan panjang segmen 3m).

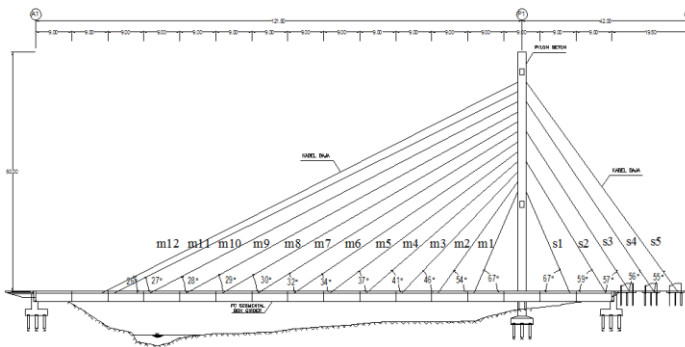
Dari analisa menggunakan SAP 2000 V14.2.2 didapatkan hasil analisa untuk reaksi dari *form traveler* akibat beban rencana yang akan diinputkan ke program MIDAS/CIVIL sebagai beban pelaksanaan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21. Hasil analisa reaksi pada form traveler (dalam ton)

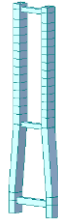
4.4.2 Tahapan Staging Analysis

Berikut adalah urutan pelaksanaan *staging analysis* dengan program bantu MIDAS/Civil. Dimana urutan pelaksanaan di lapangan sama dengan urutan analisisnya, namun pelaksanaan di lapangan menggunakan *forward method* sedangkan analisisnya menggunakan *backward solution*. Sebelumnya dilakukan penomoran terlebih dahulu terhadap kabel dan gelagar. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.22.



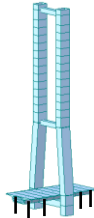
Gambar 4. 22. Penomoran kabel dan gelagar

1. Pembangunan jembatan dimulai dari struktur *pylon*.



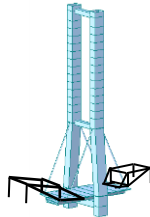
Gambar 4. 23 Cycle 1

2. Pemasangan gelagar g_0 dan g_1 menggunakan *crane* dan disangga di atas perancah sementara.



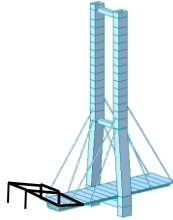
Gambar 4. 24. Cycle 2

3. Pemasangan kabel m_1 dan s_1



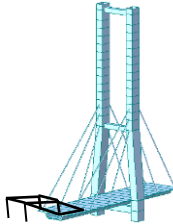
Gambar 4. 25. Cycle 3

4. Pemasangan gelagar g2 dan kabel m2 serta s2



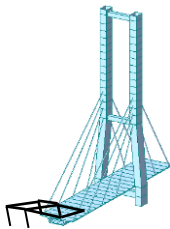
Gambar 4. 26. Cycle 4

5. Pemasangan gelagar g3 dan kabel m3



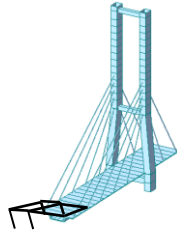
Gambar 4. 27. Cycle 5

6. Pemasangan gelagar g4 dan kabel m4



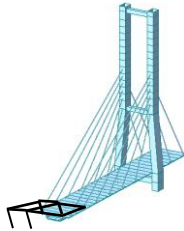
Gambar 4. 28. Cycle 6

7. Pemasangan gelagar g5 dan kabel m5



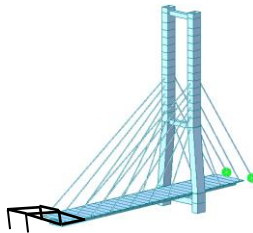
Gambar 4. 29. Cycle 7

8. Pemasangan gelagar g6 dan kabel m6



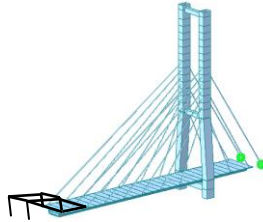
Gambar 4. 30. Cycle 8

9. Pemasangan kabel s3



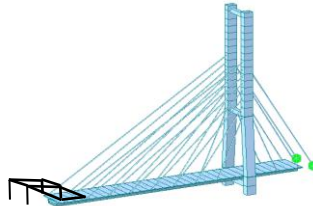
Gambar 4. 31. Cycle 9

10. Pemasangan gelagar g7 dan kabel m7



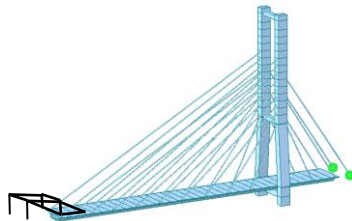
Gambar 4. 32. Cycle 10

11. Pemasangan gelagar g8 dan kabel m8



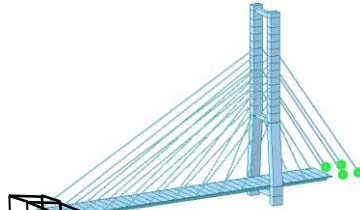
Gambar 4. 33. Cycle 11

12. Pemasangan gelagar g9 dan kabel m9



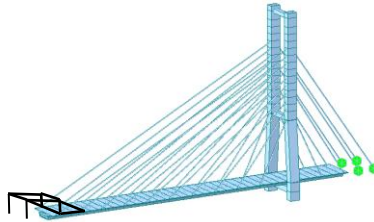
Gambar 4. 34. Cycle 12

13. Pemasangan kabel s4



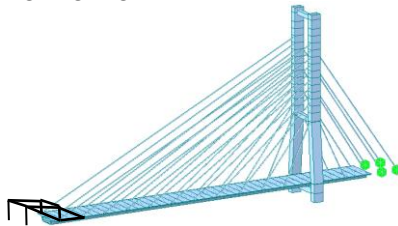
Gambar 4. 35. Cycle 13

14. Pemasangan gelagar g10 dan kabel m10



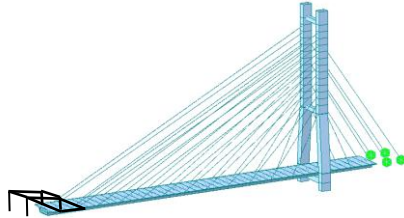
Gambar 4. 36. Cycle 14

15. Pemasangan gelagar g11 dan kabel m11



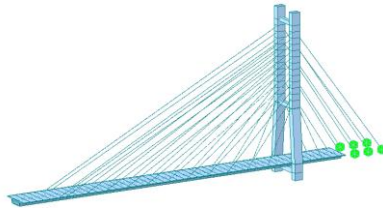
Gambar 4. 37. Cycle 15

16. Pemasangan gelagar g12 dan kabel m12



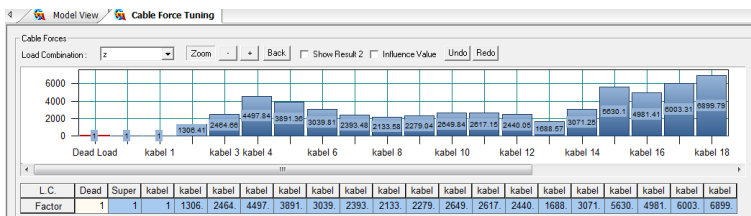
Gambar 4. 38. Cycle 16

17. Pemasangan gelagar g13 dan kabel s5

Gambar 4. 39. Tahap akhir *staging*

4.4.3 Tuning Kabel Awal

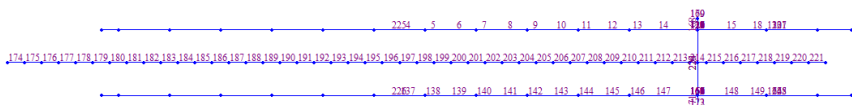
Merupakan langkah awal untuk mengetahui besarnya gaya tarik pada kabel yang dibutuhkan sesuai dengan beban yang dipikul. Metode yang digunakan dengan cara *unknown load factor* pada tiap kabel yang telah diberi gaya pretension awal 1 per satuan gaya. Setelah di *run* dengan beberapa kali *trial and error*, didapatkan besarnya gaya kabel awal pada menu *cable force tuning*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.40.



Gambar 4. 40. Hasil cable force tuning dengan beban mati

Dengan memasukkan hasil *cable force tuning* di atas pada masing-masing kabel, maka dapat dilanjutkan dengan *staging analysis* berdasarkan tahapan di bab sebelumnya. Berikut adalah hasil output MIDAS/CIVIL *staging analysis* yang berupa gaya dalam pada dek dan *displacement* nya serta gaya dalam pada pylon dan kabel.

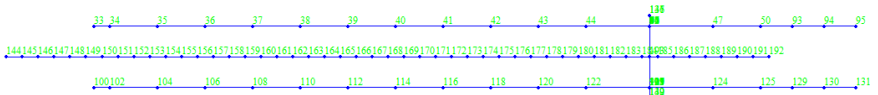
4.4.4 Hasil staging analysis



Gambar 4. 41. Penomoran elemen dek

Tabel 4. 19. Hasil output gaya dalam dek pada staging analysis

| Element | Load | Stage | Aksial (kN) | Shear (kN) | Moment (kN·m) |
|---------|-----------|-------|-------------|------------|---------------|
| 214 | Summation | CS47 | -23892.17 | 12637.33 | 29528.22 |
| 214 | Summation | CS47 | -23892.17 | 13117.10 | -9103.41 |
| 213 | Summation | CS47 | -2232.43 | -2273.39 | 59142.42 |



Gambar 4. 42. Penomoran node dek

Tabel 4. 20. Hasil output displacement dek pada *staging analysis*

| Node | Load | Stage | Step | DX (m) | DY (m) | DZ (m) | Node | Load | Stage | Step | DX (m) | DY (m) | DZ (m) |
|------|-----------|---------|------|--------|--------|--------|------|-----------|---------|------|--------|--------|--------|
| 145 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.56 | 169 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.28 |
| | | | min | 0.00 | 0.00 | -0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 146 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.67 | 170 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.25 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 147 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 171 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.23 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 148 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.76 | 172 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.20 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 149 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.80 | 173 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.17 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | -0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 150 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.81 | 174 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.16 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | 0.00 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 151 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.76 | 175 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.13 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | 0.00 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 152 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.71 | 176 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.11 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | 0.00 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 153 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.66 | 177 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.09 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | 0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 154 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.61 | 178 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.08 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | 0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 155 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.56 | 179 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.06 |
| | | | min | -0.02 | 0.00 | 0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 156 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.56 | 180 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.04 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 | | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 |
| 157 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.52 | 181 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.03 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | -0.01 |
| 158 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.50 | 182 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.02 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | -0.01 |
| 159 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.51 | 183 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | -0.01 |
| 160 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.47 | 184 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| 161 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.44 | 185 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 162 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.40 | 186 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.00 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 163 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.37 | 187 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.00 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 164 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.35 | 188 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.02 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.00 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 165 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.35 | 189 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.02 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.00 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 166 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.32 | 190 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.03 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | 0.00 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 167 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.32 | 191 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 168 | Summation | Min/Max | max | 0.01 | 0.00 | 0.31 | 192 | Summation | Min/Max | max | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | | min | -0.01 | 0.00 | -0.01 | | | | min | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Tabel 4. 21. Hasil output gaya dalam pylon pada staging analysis

| Element | Load | Stage | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN-m) | Moment-y (kN-m) | Moment-z (kN-m) |
|---------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| kolom | Summation | CS2 | -35170.5 | -384.36 | 609.27 | -578.78 | -375.87 | 4661.32 |
| | | CS2 | -34232.8 | 2745.88 | 609.27 | 620.79 | 1451.94 | -5391.05 |
| | | CS2 | -5792.7 | 60.4 | -3133.99 | -212.48 | 7834.99 | 328.88 |
| | | CS48 | -13465.8 | 1005.47 | -1045.90 | -1956.92 | 40196.23 | -2011.41 |
| | | CS48 | -14403.5 | 265.19 | -1045.90 | -1824.49 | 43333.93 | -1248.97 |
| | | CS2 | -34232.8 | 2745.88 | 609.27 | 620.79 | 1451.94 | -5391.05 |
| balok | Summation | CS2 | -2685.1 | 0.0 | -317.2 | 0.0 | -393.9 | 385.3 |
| | | CS2 | 2361.5 | 0.0 | -570.0 | 0.0 | -1882.8 | 42.0 |
| | | CS2 | 2361.5 | 0.0 | -570.0 | 0.0 | -1882.8 | 42.0 |
| | | CS9 | -2275.2 | 0.0 | -317.2 | 0.0 | -431.1 | 594.3 |

Tabel 4. 22. Hasil output gaya kabel pada staging analysis

| Kabel | Load | Stage | Force (kN) |
|-------|-----------|-------|------------|
| m12 | Summation | CS1 | 1049.77 |
| m11 | Summation | CS1 | 1875.06 |
| m10 | Summation | CS0 | 3596.94 |
| m9 | Summation | CS0 | 2858.59 |
| m8 | Summation | CS0 | 1973.93 |
| m7 | Summation | CS0 | 1391.03 |
| m6 | Summation | CS0 | 1168.71 |
| m5 | Summation | CS5 | 1147.79 |
| m4 | Summation | CS8 | 1523.10 |
| m3 | Summation | CS8 | 1545.94 |
| m2 | Summation | CS21 | 1600.38 |
| m1 | Summation | CS48 | 1993.47 |
| s1 | Summation | CS0 | 3015.80 |
| s2 | Summation | CS0 | 6113.11 |
| s3 | Summation | CS0 | 5499.27 |
| s4 | Summation | CS0 | 6467.62 |
| s5 | Summation | CS0 | 7287.66 |

4.5 Struktur Kabel

Struktur kabel merupakan salah satu struktur utama pada konstruksi jembatan *cable stayed*, karena struktur kabel akan memikul beban dari lantai kendaraan yang kemudian akan disalurkan ke *pylon* (menara).

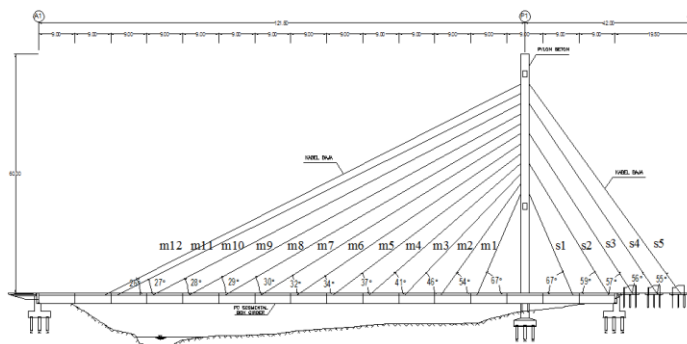
4.5.1 Data Perencanaan

Telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa ada dua jenis kabel paralel *VSL 7-wire strand* yang dapat digunakan untuk desain jembatan kabel. Pada desain ini digunakan kabel yang spesifikasinya disesuaikan dengan persyaratan RSNI T-03-2005 pasal 12.6, yang menyatakan bahwa kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm^2 , maka dipakai kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270 dengan f_{ijin} sebesar $0,45f_u$ (Gimsing, 1983). Untuk lebih jelasnya lihat tabel 4.23 berikut.

Tabel 4. 23. Jenis Kabel dan Anker

| Standard | ASTM A 416-06 Grade 270 | Euronorme 138-3 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| \emptyset (mm) | 15,2 | 15,7 |
| A_s (mm ²) | 140 | 150 |
| f_u ($f_{ijin}=0,45f_u$)(Mpa) | 1860 (837) | 1770 (797) |
| Ukuran anker | 7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand | |

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, kabel bentang tepi diberi simbol “s” dan bentang tengah diberi simbol “m”. Penomoran kabel dimulai dari kabel yang terdekat dengan *pylon*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.43. Sedangkan untuk jumlah strand awal dapat dilihat pada Tabel 4.24.



Gambar 4. 43. Tatanan sistem kabel

Tabel 4. 24. Kebutuhan preliminary jumlah kabel

| No | θ ($^{\circ}$) | $W\lambda + P$ (kN) | a_i (m) | Asc (m ²) | n perlu (kabel) | n pasang (kabel) |
|-----|----------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|--------------------|---------------------|
| m1 | 67 | 3347.60 | 11 | 0.0043 | 31.0359 | 32 |
| m2 | 54 | 2037.10 | 20 | 0.0030 | 21.5374 | 22 |
| m3 | 46 | 2037.10 | 29 | 0.0034 | 24.4687 | 25 |
| m4 | 41 | 2037.10 | 38 | 0.0038 | 26.7999 | 27 |
| m5 | 37 | 2037.10 | 47 | 0.0041 | 29.2373 | 30 |
| m6 | 34 | 2037.10 | 56 | 0.0044 | 31.7228 | 32 |
| m7 | 32 | 2037.10 | 65 | 0.0047 | 33.2794 | 34 |
| m8 | 30 | 2037.10 | 74 | 0.0049 | 35.3281 | 36 |
| m9 | 29 | 2037.10 | 83 | 0.0051 | 36.6774 | 37 |
| m10 | 28 | 2037.10 | 92 | 0.0053 | 38.0994 | 39 |
| m11 | 27 | 1512.92 | 101 | 0.0041 | 29.4104 | 30 |
| m12 | 26 | 4725.24 | 104 | 0.0134 | 95.3974 | 96 |
| s1 | 67 | 3347.60 | 11 | 0.0043 | 31.0359 | 32 |
| s2 | 59 | 6111.30 | 20 | 0.0087 | 61.8943 | 62 |
| s3 | 57 | 6111.30 | 26 | 0.0088 | 62.6829 | 63 |
| s4 | 56 | 6111.30 | 32 | 0.0089 | 63.8997 | 64 |
| s5 | 55 | 6238.16 | 38 | 0.0091 | 65.0463 | 66 |

4.5.2 Gaya *Stressing* Kabel

Dalam pelaksanaannya, setiap kabel diberi gaya tarik (*stressing*) terlebih dahulu sebelum dibebani. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur posisi gelagar agar sesuai dengan

posisi akhir sebelum menerima beban hidup. Apabila gaya tarik ini tidak diberikan pada kabel, maka akan berdampak kurang baik pada gelagar, gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum menerima beban hidup, hal ini terjadi akibat deformasi kabel karena dibebani lantai kendaraan.

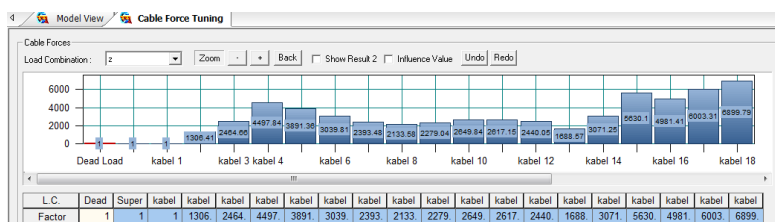
Dengan menggunakan program bantu MIDAS CIVIL dapat dianalisa besarnya gaya tarik setiap kabel tersebut dengan menggunakan menu *unknown load factors calculation*. Langkah-langkah dalam melakukan analisa gaya tarik kabel akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Melakukan input gaya tarik sebesar 1 kN pada setiap kabel.
2. Memberi batasan deformasi untuk nodal pada lantai kendaraan. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan input pada program, kondisi akhir yang direncanakan untuk lantai kendaraan. Besarnya batasan yang di masukkan dalam analisa adalah sebesar +0,01m dan -0,01m, yang berarti bahwa lantai kendaraan boleh melendut maksimal $\pm 0,01m$ pada kondisi akhir setelah dilakukan *stressing*.
3. Menentukan beban yang ikut mempengaruhi kondisi akhir sebelum diberi beban hidup. Beban tersebut adalah beban tetap dan beban *superimpose*.
4. Melakukan iterasi dengan program MIDAS CIVIL, program melakukan iterasi pada gaya tarik sebesar 1 kN yang sebelumnya telah diinputkan dalam program.
5. Hasil dari analisa berupa load factor untuk masing-masing kabel, hal ini berhubungan dengan menu *unknown load factors calculation*.

Hasil dari iterasi masing-masing gaya kabel dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.44 berikut ini.

Tabel 4. 25. Gaya tarik awal kabel

| Kabel | Pretension |
|-------|------------|
| m12 | 1306 kN |
| m11 | 2464 kN |
| m10 | 4497 kN |
| m9 | 3891 kN |
| m8 | 3039 kN |
| m7 | 2393 kN |
| m6 | 2133 kN |
| m5 | 2279 kN |
| m4 | 2649 kN |
| m3 | 2617 kN |
| m2 | 2440 kN |
| m1 | 1688 kN |
| s1 | 3071 kN |
| s2 | 5630 kN |
| s3 | 4981 kN |
| s4 | 6003 kN |
| s5 | 6899 kN |



Gambar 4. 44. Hasil cable force tuning dengan beban mati

Dari gaya tarik awal (*pre-tension*) tersebut dapat diperoleh kebutuhan *strand* dan luas penampang kabel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.26 berikut ini.

Tabel 4. 26. Kebutuhan jumlah kabel akibat gaya tarik awal

| Kabel | f ijin (MPa) | P (kN) | Asc pre (mm ²) | N pre (kabel) | A perlu (mm ²) | N perlu (kabel) | N pakai (kabel) | A pakai (mm ²) |
|-------|--------------|--------|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| m12 | 837 | 1306 | 4345 | 32 | 1560 | 11.1 | 12 | 1680 |
| m11 | 837 | 2464 | 3015 | 22 | 2944 | 21.0 | 22 | 3080 |
| m10 | 837 | 4497 | 3426 | 25 | 5373 | 38.4 | 43 | 6020 |
| m9 | 837 | 3891 | 3752 | 27 | 4649 | 33.2 | 37 | 5180 |
| m8 | 837 | 3039 | 4093 | 30 | 3631 | 25.9 | 31 | 4340 |
| m7 | 837 | 2393 | 4441 | 32 | 2859 | 20.4 | 22 | 3080 |
| m6 | 837 | 2133 | 4659 | 34 | 2548 | 18.2 | 19 | 2660 |
| m5 | 837 | 2279 | 4946 | 36 | 2723 | 19.4 | 22 | 3080 |
| m4 | 837 | 2649 | 5135 | 37 | 3165 | 22.6 | 31 | 4340 |
| m3 | 837 | 2617 | 5334 | 39 | 3127 | 22.3 | 31 | 4340 |
| m2 | 837 | 2440 | 4117 | 30 | 2915 | 20.8 | 22 | 3080 |
| m1 | 837 | 1688 | 13356 | 96 | 2017 | 14.4 | 19 | 2660 |
| s1 | 837 | 3071 | 4345 | 32 | 3669 | 26.2 | 31 | 4340 |
| s2 | 837 | 5630 | 8665 | 62 | 6726 | 48.0 | 55 | 7700 |
| s3 | 837 | 4981 | 8776 | 63 | 5951 | 42.5 | 43 | 6020 |
| s4 | 837 | 6003 | 8946 | 64 | 7172 | 51.2 | 55 | 7700 |
| s5 | 837 | 6899 | 9106 | 66 | 8243 | 58.9 | 61 | 8540 |

Kemudian A_{pakai} diinput pada MIDAS, dan didapatkan gaya kabel yang baru, diambil gaya- gaya maksimum dari semua kombinasi yang ada, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.27 berikut ini.

Tabel 4. 27. Gaya maksimum tiap kabel

| Kabel | Gaya |
|-------|-------------|
| m12 | 6178.04 kN |
| m11 | 8628.99 kN |
| m10 | 11570.55 kN |
| m9 | 9617.04 kN |
| m8 | 7785.43 kN |
| m7 | 6673.19 kN |
| m6 | 6350.54 kN |
| m5 | 6646.31 kN |
| m4 | 7132.18 kN |
| m3 | 6880.05 kN |
| m2 | 6305.65 kN |
| m1 | 5371.22 kN |
| s1 | 3920.96 kN |
| s2 | 8459.84 kN |
| s3 | 7262.21 kN |
| s4 | 8797.56 kN |
| s5 | 10134.72 kN |

Dari gaya-gaya maksimum tersebut dapat diperoleh kebutuhan *strand* dan luas penampang kabel yang sebenarnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.28 berikut ini.

Tabel 4. 28. Kebutuhan jumlah kabel akibat gaya tarik maksimum

| Kabel | f ijin (MPa) | P (kN) | Asc pre (mm ²) | N pre (kabel) | A perlu (mm ²) | N perlu (kabel) | N pakai (kabel) | A aktual (mm ²) |
|-------|--------------|--------|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| m12 | 837 | 6178 | 1680 | 12 | 7381 | 52.7 | 61 | 8540 |
| m11 | 837 | 8629 | 3080 | 22 | 10309 | 73.6 | 85 | 11900 |
| m10 | 837 | 11571 | 6020 | 43 | 13824 | 98.7 | 127 | 17780 |
| m9 | 837 | 9617 | 5180 | 37 | 11490 | 82.1 | 91 | 12740 |
| m8 | 837 | 7785 | 4340 | 31 | 9302 | 66.4 | 73 | 10220 |
| m7 | 837 | 6673 | 3080 | 22 | 7973 | 56.9 | 61 | 8540 |
| m6 | 837 | 6351 | 2660 | 19 | 7587 | 54.2 | 61 | 8540 |
| m5 | 837 | 6646 | 3080 | 22 | 7941 | 56.7 | 73 | 10220 |
| m4 | 837 | 7132 | 4340 | 31 | 8521 | 60.9 | 73 | 10220 |
| m3 | 837 | 6880 | 4340 | 31 | 8220 | 58.7 | 61 | 8540 |
| m2 | 837 | 6306 | 3080 | 22 | 7534 | 53.8 | 55 | 7700 |
| m1 | 837 | 5371 | 2660 | 19 | 6417 | 45.8 | 61 | 8540 |
| s1 | 837 | 3921 | 4340 | 31 | 4685 | 33.5 | 55 | 7700 |
| s2 | 837 | 8460 | 7700 | 55 | 10107 | 72.2 | 127 | 17780 |
| s3 | 837 | 7262 | 6020 | 43 | 8676 | 62.0 | 127 | 17780 |
| s4 | 837 | 8798 | 7700 | 55 | 10511 | 75.1 | 127 | 17780 |
| s5 | 837 | 10135 | 8540 | 61 | 12108 | 86.5 | 127 | 17780 |

4.5.3 Analisa Penampang Kabel dengan A_{aktual}

Setelah diperoleh nilai A_{aktual} dari perhitungan sebelumnya, nilai A_{aktual} dimasukkan dalam MIDAS CIVIL untuk memperoleh gaya kabel yang sesungguhnya. Berikut hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.29 berikut ini.

Tabel 4. 29. Hasil analisa gaya tarik dari A_{aktual}

| Kabel | Gaya |
|-------|-------------|
| m12 | 6692.12 kN |
| m11 | 9734.31 kN |
| m10 | 13015.19 kN |
| m9 | 10153.82 kN |
| m8 | 7880.63 kN |
| m7 | 6572.06 kN |
| m6 | 6864.06 kN |
| m5 | 7760.78 kN |
| m4 | 7455.06 kN |
| m3 | 6599.34 kN |
| m2 | 6349.39 kN |
| m1 | 6483.56 kN |
| s1 | 5422.42 kN |
| s2 | 11835.35 kN |
| s3 | 10211.87 kN |
| s4 | 12236.17 kN |
| s5 | 14010.40 kN |

Dari hasil tabel diatas didapatkan nilai gaya tarik kabel yang sesungguhnya, kemudian akan dicek dengan A_{aktual} . Apabila kabel dengan desain A_{aktual} tersebut mampu untuk menahan gaya kabel P , maka penampang kabel memenuhi syarat. Berikut akan ditunjukkan contoh perhitungannya.

Kabel S_5 :

$$A_{S_{\text{aktual}}} = 17780 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_{\text{ijin}} \cdot A_{S_{\text{pakai}}} \\ &= 0,837 \text{ kN/mm}^2 \cdot 17780 \text{ mm}^2 \\ &= 14881,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P = 14010,4 \text{ kN}$$

Maka, $P_n > P$... (memenuhi)

Untuk perhitungan kontrol kemampuan kabel dengan penampang pakai akibat gaya tarik yang terjadi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.30 berikut ini.

Tabel 4. 30. Kontrol kemampuan kabel dari $A_{s_{\text{aktual}}}$

| Kabel | f _{ijin} (MPa) | A pakai (mm ²) | P _n (kN) | P (kN) | Kontrol (P < P _n) |
|-------|----------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------|----------------------------------|
| m12 | 837 | 8540 | 7147.98 | 6692.12 | ok |
| m11 | 837 | 11900 | 9960.30 | 9734.31 | ok |
| m10 | 837 | 17780 | 14881.86 | 13015.19 | ok |
| m9 | 837 | 12740 | 10663.38 | 10153.82 | ok |
| m8 | 837 | 10220 | 8554.14 | 7880.63 | ok |
| m7 | 837 | 8540 | 7147.98 | 6572.06 | ok |
| m6 | 837 | 8540 | 7147.98 | 6864.06 | ok |
| m5 | 837 | 10220 | 8554.14 | 7760.78 | ok |
| m4 | 837 | 10220 | 8554.14 | 7455.06 | ok |
| m3 | 837 | 8540 | 7147.98 | 6599.34 | ok |
| m2 | 837 | 7700 | 6444.90 | 6349.39 | ok |
| m1 | 837 | 8540 | 7147.98 | 6483.56 | ok |
| s1 | 837 | 7700 | 6444.90 | 5422.42 | ok |
| s2 | 837 | 17780 | 14881.86 | 11835.35 | ok |
| s3 | 837 | 17780 | 14881.86 | 10211.87 | ok |
| s4 | 837 | 17780 | 14881.86 | 12236.17 | ok |
| s5 | 837 | 17780 | 14881.86 | 14010.40 | ok |

Dari hasil kontrol diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kebutuhan luas penampang dan jumlah *strand* kabel yang dipakai sudah mampu untuk menahan gaya tarik maksimum yang terjadi.

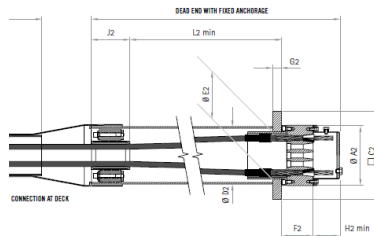
4.5.4 Analisa blok angkur pada *side span*

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya *stressing* nya yang telah dihitung. Perencanaan ini meliputi cek tegangan beton saat *stressing* serta kebutuhan tulangan pencar (*bursting*) dan tulangan pecah (*spalling*).

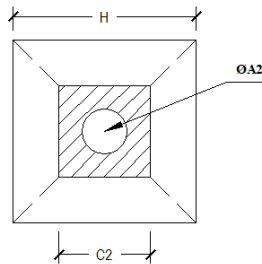
Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angkur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Tabel 4.32 serta Gambar 4.45 dan Gambar 4.46.

Tabel 4. 31. Gaya tarik A_{aktual} pada blok ankur

| Kabel | Gaya |
|-------|-------------|
| s3 | 10211.87 kN |
| s4 | 12236.17 kN |
| s5 | 14010.40 kN |



Gambar 4. 45. Detail anker VSL SSI 2000 yang digunakan



Gambar 4. 46. Notasi dimensi ankur

Tabel 4. 32. Spesifikasi angker VSL SSI 2000 yang digunakan

| TENDON UNIT | Dead End | | | | | | | | | | Stay Pipe | |
|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|--|
| | ØA2 mm | C2 mm | ØØ2 mm | ØE2 mm | F2 mm | G2 mm | H2 mm | J2 mm | L2 mm | ØA3 mm | TENDON UNIT | |
| 6-12 | 185 | 260 | 177.8/4.5 | 150 | 105 | 35 | 105 | 160 | 900 | 125/4.9 | 6-12 | |
| 6-19 | 230 | 335 | 219.1/6.3 | 190 | 120 | 50 | 105 | 180 | 1,200 | 140/5.4 | 6-19 | |
| 6-22 | 250 | 355 | 219.1/6.3 | 205 | 120 | 50 | 105 | 210 | 1,350 | 160/6.2 | 6-22 | |
| 6-31 | 280 | 415 | 244.5/6.3 | 230 | 145 | 60 | 105 | 210 | 1,550 | 160/6.2 | 6-31 | |
| 6-37 | 300 | 455 | 273/6.3 | 255 | 170 | 70 | 105 | 210 | 1,750 | 180/5.6 | 6-37 | |
| 6-43 | 340 | 505 | 323.9/7.1 | 285 | 175 | 75 | 105 | 210 | 2,000 | 200/6.2 | 6-43 | |
| 6-55 | 380 | 550 | 323.9/7.1 | 310 | 195 | 75 | 105 | 260 | 2,050 | 200/6.2 | 6-55 | |
| 6-61 | 380 | 585 | 355.6/8 | 330 | 215 | 85 | 105 | 260 | 2,250 | 225/7.0 | 6-61 | |
| 6-73 | 430 | 650 | 406.4/8.8 | 370 | 215 | 95 | 120 | 290 | 2,450 | 250/7.8 | 6-73 | |
| 6-85 | 430 | 685 | 406.4/8.8 | 370 | 245 | 110 | 120 | 290 | 2,600 | 250/7.8 | 6-85 | |
| 6-91 | 480 | 730 | 457/10 | 420 | 255 | 110 | 120 | 320 | 2,800 | 280/8.7 | 6-91 | |
| 6-109 | 495 | 775 | 457/10 | 420 | 265 | 120 | 120 | 320 | 3,000 | 315/9.8 | 6-109 | |
| 6-127 | 550 | 845 | 508/11 | 475 | 315 | 130 | 120 | 340 | 3,350 | 315/9.8 | 6-127 | |

Contoh perhitungan angkur kabel s5 dengan tendon 6-127

$$T = 14010 \text{ kN}$$

$$H = 900 \text{ mm}$$

$$\varnothing A2 = 670 \text{ mm}$$

$$A1 = H \times H = 8,1 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$C2 = 845 \text{ mm}$$

$$A2 = (C1 \times C1) - \text{area } \varnothing B1 = 476442 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan 85% f_c'

$$f_{ci} = 85\% \times 50 \text{ Mpa} = 42,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A1}{A2}} - 0,2$$

$$= 0,8 \cdot 42,5 \cdot \sqrt{\frac{810000}{476442}} - 0,2 = 41,6 \text{ MPa}$$

Tegangan di bawah plat angker

$$f_t = T/A_1$$

$$= 14010000 / 476442 = 29,4 \text{ MPa}$$

Syarat, $f_t < f_{cp} = 46,2 \text{ Mpa}$ (memenuhi)

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada Tabel 4.33

Tabel 4. 33. Kontrol tegangan beton saat *stressing* pada kabel di blok angkur

| Kabel | Angkur (strand) | Gaya (kN) | f_{cp} (Mpa) | f_t (Mpa) | Kontrol ($f_t < f_{cp}$) |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|----------------|-------------------------------|
| s3 | 127 | 10211.87 | 41.64 | 21.43 | OK |
| s4 | 127 | 12236.17 | 41.64 | 25.68 | OK |
| s5 | 127 | 14010.40 | 41.64 | 29.40 | OK |

Perhitungan tulangan daerah pengankuran berdasarkan SNI 03 2847-2002 Ps.20.13.3.2

Kebutuhan tulangan pencar

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{c^2}{h}\right)$$

$$= 0,25 \cdot 14010 \cdot \left(1 - \frac{845}{900}\right) = 214 \text{ kN}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h-2e)$$

$$= 0,5 \cdot (900 - 2 \cdot 0) = 450 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang penutup D12 dengan $A_s = 226 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} = T_{\text{pencar}} / f_y$$

$$= 214000 / 400 = 535 \text{ mm}^2$$

$$n = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pakai}$$

$$= 535 / 226$$

$$= 2,4 \sim 3 \text{ sengkang dekat ujung angkur}$$

spasi antar sengkang

$$s = d_{\text{pencar}} / n$$

$$= 450 / 2,4 = 190 \sim 150 \text{ mm}$$

maka dipasang sengkang 3D12-150

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%T

$$2\%T = 2\% \cdot 14010 \text{ kN} = 280,2 \text{ kN}$$

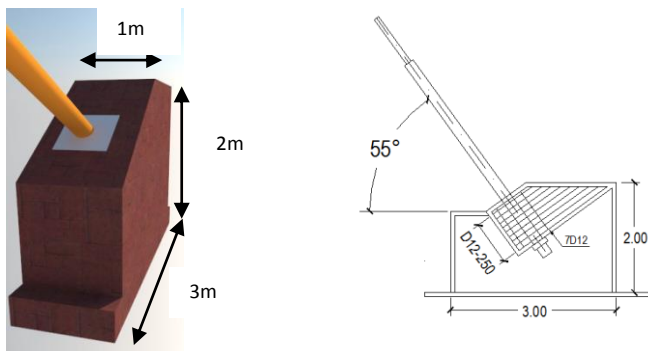
$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 2\%T / f_y \\ &= 280200 / 400 \\ &= 700,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan UD12 dengan $A_s = 113 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pakai} \\ &= 700,5 / 113 \\ &= 6,2 \sim 7 \text{ buah tulangan U} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lainnya ditabelkan pada lampiran.

Berikut gambar desain dan detailing blok angkur seperti terlihat pada Gambar 4.47.



Gambar 4.47 Desain dan detailing blok angkur

4.6 Gelagar

4.6.1 Tegangan ijin bahan beton

Berikut adalah tegangan ijin beton prategang berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.2.

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dilakukan transfer (f_{ci}'), dinyatakan dalam satuan MPa.

- $f_{ci}' = 0,7 f_c'$
 $= 0,7 \cdot 80 \text{ MPa}$
 $= 56 \text{ MPa}$

A. Tegangan ijin beton saat transfer

- $\sigma_{\text{tekan}} = 0,6 f_{ci}'$
 $= 0,6 \cdot 56$
 $= 34 \text{ MPa}$
- $\sigma_{\text{tarik}} = 0,25 \sqrt{f_{ci}'}$
 $= 0,25 \cdot \sqrt{56}$
 $= 1,87 \text{ MPa}$ (namun diusahakan tidak ada tarik untuk segmental)

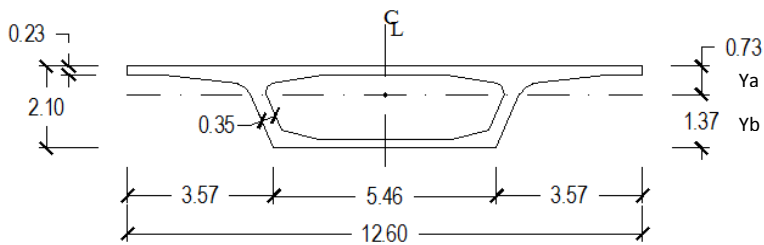
B. Tegangan ijin beton saat servis

- $\sigma_{\text{tekan}} = 0,45 f_c'$
 $= 0,45 \cdot 80$
 $= 36 \text{ MPa}$
- $\sigma_{\text{tarik}} = 0,5 \sqrt{f_c'}$
 $= 0,5 \cdot \sqrt{80}$
 $= 4,47 \text{ MPa}$ (namun diusahakan tidak ada tarik untuk segmental)

4.6.2 Propertis penampang gelagar

Berikut adalah propertis dari penampang gelagar yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 4.47.

- Luas penampang (A) = 6,45 m²
- Inersia penampang (I) = 3,854 m⁴
- Jarak titik berat ke serat atas (Ya) = 0,734 m
- Jarak titik berat ke serat bawah (Yb) = 1,366 m
- $W_a = I / Y_a$ = 5,25 m³
- $W_b = I / Y_b$ = 2,82 m³
- $K_a = W_b / A$ = 0,44 m
- $K_b = W_a / A$ = 0,81 m



Gambar 4. 47. Model penampang gelagar (dalam m)

4.6.3 Analisa penampang gelagar

1. Perencanaan tendon

- Tendon atas

Direncanakan menggunakan tendon / kabel jenis strand seven wires stress relieved (7 kawat untai). Dengan mengacu pada tabel VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik tendon yang digunakan :

- ✓ Diameter = 15,24 mm
- ✓ Luas nominal (Aps) = 140 mm²
- ✓ Minimum breaking load = 260,7 KN
- ✓ Modulus elastisitas (Es) = 195.000 MPa

Berdasarkan pada tabel spesifikasi tendon VSL tegangan maksimum yang diperbolehkan sebesar $0,8 F_{pu}$

Untuk 1 strand diameter 15,2 mm

$$F_o = 0,8 \times F_{pu}$$

$$F_o = 0,8 \times 260,7 \text{ kN}$$

$$F_o = 208,56 \text{ Kn}$$

Untuk tendon 6-27

$$F \text{ ijin} = F_o \times \text{jumlah strand}$$

$$= 208,56 \text{ kN} \times 27$$

$$= 5631 \text{ kN}$$

Contoh perhitungan segmen AS-CL pada CS-53

$$M_t = 8431 \text{ kNm}$$

Direncanakan letak tendon untuk metode pelaksanaan konstruksi jembatan mendatar dengan meletakkan tendon pada flens atas box girder, untuk menghindari kesulitan pemasangan tendon untuk beban kerja. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.48

Dengan mengambil nilai e pada joint berikut :

$$e = y_a - 0,3$$

$$e = 0,73 - 0,3$$

$$e = 0,43 \text{ m}$$

$$F \text{ perlu} = \frac{M_t}{e+kb} = \frac{8431}{0,43+0,81}$$

$$= 6777 \text{ kN}$$

Dengan menggunakan 10 tendon dan ditarik sebesar :

$$\begin{aligned} F &= f \text{ ijin} \times \text{jumlah tendon} \\ &= 5631 \text{ kN} \times 10 \\ &= 56310 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka gaya tarikan melebihi yang diperlukan, namun diperlukan kontrol tegangan, momen crack, dan momen batas juga.

$$F_{ci} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

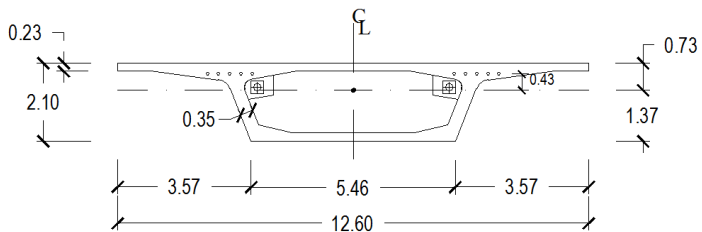
Serat atas

$$\begin{aligned} F_{ci} &= -\frac{56310 \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} - \frac{56310 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \\ &\quad \frac{8431 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= -11,78 \text{ MPa} > -34 \text{ MPa (ok)} \end{aligned}$$

Serat Bawah

$$\begin{aligned} F_{ci} &= -\frac{56310 \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{56310 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \\ &\quad \frac{8431 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= -3,06 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa (ok)} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.



Gambar 4. 48. Posisi tendon atas (dalam m)

- Tendon bawah

Untuk tendon 6-55

$$\begin{aligned} F \text{ ijin} &= F_o \times \text{jumlah strand} \\ &= 208,56 \text{ kN} \times 55 \\ &= 11471 \text{ kN} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan segmen AS-CL pada CS-2

$$M_t = 12386 \text{ kNm}$$

Direncanakan letak tendon untuk metode pelaksanaan konstruksi jembatan mendatar dengan meletakkan tendon pada flens bawah box girder, untuk menghindari kesulitan pemasangan tendon untuk beban kerja. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.49.

Dengan mengambil nilai e pada joint berikut :

$$\begin{aligned} e &= y_b - 0.25 \\ e &= 1,37 - 0.25 \\ e &= 1,12 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F \text{ perlu} &= \frac{M_t}{e+ka} = \frac{12386}{1,07+0,43} \\ &= 7960 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan 4 tendon dan ditarik sebesar :

$$\begin{aligned} F &= f \text{ ijin} \times \text{jumlah tendon} \\ &= 12386 \text{ kN} \times 4 \\ &= 49544 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka gaya tarikan melebihi yang diperlukan, namun diperlukan kontrol tegangan, momen crack, dan momen

batas juga. Sedangkan untuk tendon atas segmen ini menggunakan 10 tendon 6-27 dengan $F = 56311$ kN.

$$F_{ci} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

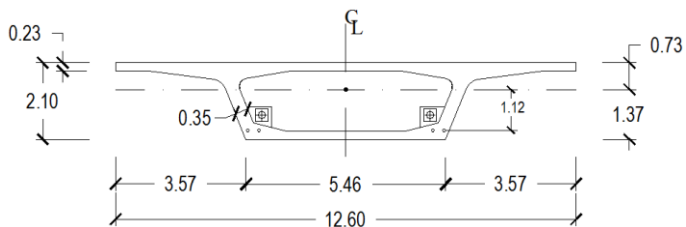
Serat atas

$$\begin{aligned} F_{ci} &= -\frac{(49544+56311) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{49544 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \\ &\quad \frac{56311 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \frac{12386 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= -13,1 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa (ok)} \end{aligned}$$

Serat Bawah

$$\begin{aligned} F_{ci} &= -\frac{(49554+56311) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} - \frac{49554 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \\ &\quad \frac{56311 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{12386 \cdot 10^6 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= -20,9 \text{ MPa} > -34 \text{ MPa (ok)} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.



Gambar 4. 49. Posisi tendon bawah (dalam m)

2. Kehilangan prategang

1. Kehilangan langsung

- Akibat perpendekan elastis beton

Pada kehilangan ini memperhitungkan pengaruh penarikan yang berturut-turut. Tetapi akan cukup teliti bila menentukan kehilangan prategang dari kabel pertama dan mengambil setengah dari nilai itu untuk kehilangan prategang rata-rata seluruh kabel. Berikut adalah persamaan yang digunakan.

$$ES = K_{ES} \cdot \frac{E_s}{E_{ci}} \cdot f_{cir}$$

Dimana,

f_{cir} = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang diberikan

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

E_{ci} = modulus elastisitas beton

K_{ES} = 1,0 untuk struktur pratarik dan 0,5 untuk struktur pasca tarik

Contoh perhitungan segmen AS-CL pada CS-53

$$f_{cir} = 11,78 \text{ MPa}$$

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

$$E_{ci} = 4700\sqrt{80} \text{ MPa} = 42038 \text{ MPa}$$

$$K_{ES} = 0,5$$

$$ES = 0,5 \cdot \frac{200000}{42038} \cdot 11,78 = 35,44 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

- Akibat gesekan kabel

Kehilangan ini dapat dipertimbangkan pada 2 bagian yaitu pengaruh panjang dan pengaruh kelengkungan. Berikut adalah persamaan yang digunakan.

$$\frac{F2 - F1}{F1} = -K \cdot L - \mu \cdot \alpha$$

dimana,

F1 = tegangan tarik satuan pada ujung pendongkrakan

F2 = tegangan tarik satuan pada jarak L

K = koefisien Wobble (diambil 0,0045 berdasarkan Tabel 3.1 dengan asumsi strand dengan untaian 7 kawat)

μ = koefisien kelengkungan (diambil 0,2 berdasarkan Tabel 3.1 dengan asumsi strand dengan untaian 7 kawat)

α = sudut kelengkungan = 0°

L = panjang sampai titik yang ditinjau

Contoh perhitungan segmen AS-CL pada CS-53

$$K = 0,0045$$

$$\mu = 0,2$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\frac{F2 - F1}{F1} = -0,0045 \cdot 12 - 0,2 \cdot 0$$

$$\frac{F2 - F1}{F1} = -0,054$$

$$\Delta f s1 = \frac{F2 - F1}{F1} \cdot f_s \text{ ijin}$$

$$= 0,054 \cdot 1489,7 \text{ MPa}$$

$$= 26,81 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

- Akibat slip ankur

Pada sistem pasca tarik, tendon yang ditarik kemudian dilepas dan gaya dialihkan ke ankur mengakibatkan ankur cenderung berdeformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit sebelum dijepit dengan kokoh. Besar gelincir rata-rata sekitar 2,5 mm. Berikut adalah persamaan yang digunakan.

$$ANC = \Delta_{fs} = \frac{\Delta_{\alpha} \cdot E_s}{L}$$

dimana,

Δ_{α} = deformasi pengangkuran (mm)

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

L = panjang total tendon prategang (mm)

Contoh perhitungan segmen AS-CL pada CS-53

E_s = 200000 MPa

L = 12 m

$$\Delta_{\alpha} = \frac{fs \text{ ijin} \cdot L}{E_s} = \frac{1489,7 \cdot 12 \cdot 10^3}{200000} = 89,38 \text{ mm}$$

$$\Delta_{fs2} = \frac{2,5}{\Delta_{\alpha}} \cdot fs \text{ ijin} = \frac{2,5}{89,38} \cdot 1489,7 = 41,67 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

2. Kehilangan tak langsung

- Akibat rangkai beton

Salah satu sifat beton adalah dapat mengalami tambahan regangan akibat beban tetap (mati) seiring dengan semakin bertambahnya waktu. Metode umum untuk memperhitungkan rangkai pada beton adalah dengan memasukkan kedalam perhitungan hal-hal berikut

ini : Perbandingan volume terhadap permukaan, umur beton pada saat prategang, kelembaban relatif dan jenis beton (beton ringan atau normal). Kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk komponen struktur dengan tendon terekat dan beton normal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

dimana,

K_{cr} = 2,0 untuk struktur pratarik dan 1,6 untuk struktur pasca tarik

f_{cds} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

f_{cir} = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang diberikan

E_c = modulus elastisitas beton

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

Contoh perhitungan segmen AS-CL

$$M_t = 7319 \text{ kNm}$$

$$K_{cr} = 1,6$$

$$f_{cds} = \frac{M \cdot e}{I} = \frac{7319 \cdot 10^6 \cdot 0,43 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} = 0,82 \text{ MPa}$$

$$f_{cir} = 10,93 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{80} \text{ MPa} = 42038 \text{ MPa}$$

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

Maka,

$$CR = 1,6 \cdot \frac{200000}{42038} \cdot (10,93 - 0,82) = 76,9 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

- Akibat susut beton

Susut pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rangkai, perbandingan antara volume dan permukaan, kelembapan relative, dan waktu dari akhir perawatan sampai dengan bekerjanya gaya prategang. Berikut adalah persamaan yang digunakan.

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot \left(1 - 0,06 \cdot \frac{V}{S}\right) \cdot (100 - RH)$$

dimana,

K_{sh} = koefisien faktor susut (diambil 0,73 berdasarkan Tabel 3.2 dengan asumsi dilakukan curing biasa)

V = volume beton (m^3)

S = luas selimut yang berhubungan dengan udara (m^2)

RH = kelembapan udara rata-rata (diambil 80%)

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

Karena penampang box sama di sepanjang bentang, maka nilai kehilangan prategang akibat susut beton juga sama, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V = 19,35 \text{ m}^3$$

$$S = 136,35 \text{ m}^2$$

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

Maka,

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,73 \cdot 200000 \cdot \left(1 - 0,06 \cdot \frac{19,35}{136,35}\right) \cdot (100 - 80)$$

$$= 23,74 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

- Akibat relaksasi baja

Sebenarnya balok pratekan mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkai yang tergantung pada waktu. Akibat perpendekan elastis (ES), serta kehilangan gaya pratekan yang tergantung pada waktu yaitu CR dan SH, maka akan mengakibatkan terjadi pengurangan yang kontinu pada tegangan tendon. Oleh karena itu untuk memperkirakan kehilangan gaya pratekan akibat pengaruh tersebut digunakan perumusan sebagai berikut :

$$RE = (K_{re} - J (SH + CR + ES)) \times C$$

Dimana tendon yang dipakai adalah tipe strand atau kawat *stress relieved* derajat 1860 MPa. Sehingga didapat

$$K_{re} = 128 \text{ Mpa (Tabel 3.3)}$$

$$J = 0,14 \text{ (Tabel 3.3)}$$

$$C = 0,28 \text{ (Tabel 3.4)}$$

Contoh perhitungan segmen AS-CL

$$RE = (128 - 0,14.(23,74+119,2+37,94)).0,28 = 33,3 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

3. Kontrol diagram tegangan efektif

- Ketika momen positif terbesar

Contoh perhitungan segmen AS-CL

Tegangan prategang efektif pada tendon

$$\begin{aligned} f_{se} &= f_s - \Delta_{ES} - \Delta_{fs1} - \Delta_{fs2} - CR - SH - RE \\ &= 1489,7 - 25,9 - 26,81 - 41,67 - 38,45 - 23,74 - 33,3 \\ &= 1299,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang efektif tendon bawah

$$\begin{aligned} F_{se} &= f_{se} \times A_p \times n \text{ tendon} \\ &= 1299,7 \text{ MPa} \times 55 \times 140 \text{ mm}^2 \times 4 \\ &= 40031,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya prategang efektif tendon atas

$$F_{se} = 52200,2 \text{ kN}$$

Momen positif terbesar = 949 kNm

$$F_{ci} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

Serat atas

$$\begin{aligned} F_{ci} &= -\frac{(40032+52200) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{40032 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \\ &\quad \frac{52200 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \frac{949 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= -10,3 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa (ok)} \end{aligned}$$

Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= - \frac{(40032+52200) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} - \frac{40032 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \\
 &\quad \frac{52200 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{949 \cdot 10^6 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\
 &= -21,7 \text{ MPa} > -36 \text{ MPa (ok)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

- Ketika momen negatif terbesar

Contoh perhitungan segmen AS-CL

Momen negatif terbesar = 16579 kNm

$$F_{ci} = - \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

Serat atas

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= - \frac{(40642+52200) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{40642 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \\
 &\quad \frac{52200 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \frac{16579 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\
 &= -6,9 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa (ok)}
 \end{aligned}$$

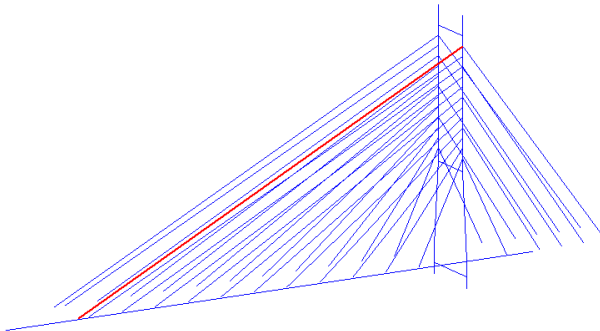
Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= - \frac{(40642+52200) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} - \frac{40642 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \\
 &\quad \frac{52200 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{16579 \cdot 10^6 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\
 &= -28,3 \text{ MPa} > -36 \text{ MPa (ok)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

4. Analisa kabel putus 1

Pada jembatan kabel diperlukan analisa saat kabel putus 1 pada posisi paling kritis untuk mengontrol kekuatan dek. Dimana posisi kabel yang putus adalah kabel terluar dengan asumsi dek akan kehilangan gaya tekan dari kabel terluar sehingga perlu dikontrol diagram tegangannya. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.50.



Gambar 4. 50. Posisi kabel putus 1

- Ketika momen positif terbesar

Contoh perhitungan segmen AS-CL

Tegangan prategang efektif pada tendon

$$\begin{aligned} f_{se} &= f_s - \Delta_{ES} - \Delta_{fs1} - \Delta_{fs2} - CR - SH - RE \\ &= 1489,7 - 26,45 - 26,81 - 39,18 - 38,45 - 23,74 - 33,3 \\ &= 1298,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang efektif tendon bawah

$$\begin{aligned} F_{se} &= f_{se} \times A_p \times n \text{ tendon} \\ &= 1298,6 \text{ MPa} \times 55 \times 140 \text{ mm}^2 \times 4 \\ &= 39997 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya prategang efektif tendon atas

$$F_{se} = 52519 \text{ kN}$$

Momen positif terbesar = 1947 kNm

$$F_{ci} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

Serat atas

$$F_{ci} = -\frac{(39997+52519) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{39997 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \frac{52519 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \frac{1947 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}}$$

$$= -10,5 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa (ok)}$$

Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= - \frac{(39997+52519) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} - \frac{39997 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \\
 &\quad \frac{52519 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{1947 \cdot 10^6 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\
 &= -21,4 \text{ MPa} > -36 \text{ MPa (ok)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

- Ketika momen negatif terbesar

Contoh perhitungan segmen AS-CL

Momen negatif terbesar = 16775 kNm

$$F_{ci} = - \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

Serat atas

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= - \frac{(40649+52519) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{40649 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \\
 &\quad \frac{52519 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} - \frac{16775 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\
 &= -6,95 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa (ok)}
 \end{aligned}$$

Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= - \frac{(40649+52519) \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} - \frac{40649 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \\
 &\quad \frac{52519 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \cdot 10^3 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{16775 \cdot 10^6 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} \\
 &= -28,4 \text{ MPa} > -36 \text{ MPa (ok)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

5. Kontrol momen retak

Balok memenuhi syarat retak jika momen yang bekerja padanya tidak melampaui momen retak tahanan balok. Perhitungan kontrol momen retak tahanan box gider dilakukan pada saat pelaksanaan dan pada saat bentang jembatan sudah tersusun keseluruhan yang dikontrol pada daerah tumpuan dan lapangan.

$$M_{cr} = F \left(e + \frac{r^2}{y} \right) + \frac{f_r \cdot I}{y}$$

Contoh perhitungan segmen As-CL pada CS-53

Diketahui

$$F_r = 1,87 \text{ MPa} = 1870 \text{ kN/m}^2$$

$$F = 52663 \text{ kN}$$

$$e = 0,43 \text{ m}$$

$$r^2 = 0,598 \text{ m}^2$$

$$y_a = 0,73 \text{ m}$$

$$I = 3,85 \text{ m}^4$$

$$M_y = 8431 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 52663 \left(0,43 + \frac{0,598}{0,73} \right) + \frac{1870 \cdot 3,85}{0,73} = 75550 \text{ kNm}$$

Syarat,

$$M < M_{cr}$$

$$8431 \text{ kNm} < 75550 \text{ kNm} \text{ (Syarat memenuhi)}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

6. Kontrol momen batas

Momen tahanan batas pada box yang akan dianalisa dengan prinsip kesetimbangan statis aksial (kopel), dimana besarnya gaya tekan batas beton (C) bernilai sama dengan gaya tarik batas pada (T), dengan menghitung lengan momen antara gaya gaya C dan T maka akan didapatkan nilai momen batas, (M_u), faktor reduksi terhadap lentur dapat diambil 0,9.

Arah vertikal

Contoh perhitungan segmen As-CL pada CS-53

Diketahui

$$F_{ci} = 56 \text{ MPa} = 56000 \text{ kN/m}^2$$

$$T = 52663 \text{ kN}$$

$$b = 5,46 \text{ m}$$

$$d = 2,1 \text{ m}$$

$$M_y = 8431 \text{ kNm}$$

Perhitungan tinggi tegangan tekan beton

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot w}$$

$$= \frac{52663}{0,85 \cdot 56000 \cdot 5,46} = 0,2$$

Perhitungan Kemampuan Penampang

$$M_n = 0,9 \left(T \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$= 0,9 \left(52663 \left(2,1 - \frac{0,2}{2} \right) \right) = 94793 \text{ kNm}$$

Syarat,

$$M < \phi M_n$$

$$8431 \text{ kNm} < 94793 \text{ kNm} \text{ (Syarat memenuhi)}$$

Perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada lampiran.

Arah transversal

Diketahui

$$f_c' = 80 \text{ MPa} = 80000 \text{ kN/m}^2$$

$$T = 28364 \text{ kN}$$

$$b = 2,1 \text{ m}$$

$$d = 5,46 \text{ m}$$

$$M_z = 100779 \text{ kNm}$$

Perhitungan tinggi tegangan tekan beton

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot w} \\
 &= \frac{28364}{0,85 \cdot 80000 \cdot 2,1} = 0,2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,9 \left(T \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) \\
 &= 0,9 \left(28364 \left(5,46 - \frac{0,2}{2} \right) \right) = 136828 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$M < \phi M_n$$

$$100779 \text{ kNm} < 136828 \text{ kNm} \text{ (Syarat memenuhi)}$$

7. Kontrol lendutan

Lendutan ke bawah akibat beban servis

$$\Delta_1 = 0,49 \text{ m (output midas)}$$

Lendutan ke atas akibat prategang

$$\begin{aligned}
 \Delta_2 &= \frac{5 \cdot F \cdot e \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I} - \frac{M \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} \\
 &= \frac{5 \cdot 58390 \cdot 10^3 \cdot 1,12 \cdot 10^3 \cdot 144 \cdot 10^3^2}{48 \cdot 42038,3 \cdot 85 \cdot 10^{12}} - \frac{85113 \cdot 10^6 \cdot 75 \cdot 10^3^2}{8 \cdot 42038,3 \cdot 85 \cdot 10^{12}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,47 \text{ m}$$

Lendutan total

Berdasarkan SNI T-12-2004 Ps. 9.2.1

Syarat, $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 \leq \Delta_{ijin}$

$$= 0,49 - 0,47 \leq L/800$$

$$= 0,02 \text{ m} \leq 144/800$$

$$= 0,02 \text{ m} < 0,18 \text{ m (memenuhi)}$$

8. Kontrol torsi

Perhitungan konstanta torsi

Pelat atas

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_1}{y_1}\right)\right]}$$

dimana, x_1 = tebal pelat atas = 225 mm

y_1 = lebar pelat atas = 12600 mm

maka,

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{225}{12600}\right)\right]} = 0,46$$

Pelat badan

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_1}{y_1}\right)\right]}$$

dimana, x_1 = tebal pelat atas = 350 mm

y_1 = lebar pelat atas = 1770 mm

maka,

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{350}{1770}\right)\right]} = 0,37$$

Pelat bawah

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_1}{y_1}\right)\right]}$$

dimana, x_1 = tebal pelat atas = 225 mm

y_1 = lebar pelat atas = 5460 mm

maka,

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{225}{5460}\right)\right]} = 0,44$$

konstanta torsi = $\sum \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1$

$$= (0,46 \cdot 225^2 \cdot 12600) + (0,37 \cdot 350^2 \cdot 1770) + (0,44 \cdot 225^2 \cdot 5460)$$

$$= 495269250$$

Kuat torsi penampang

$$T_c = 6\sqrt{f'c'} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \cdot \frac{F}{A}}{f'c'}} \cdot \sum \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1$$

$$= 6\sqrt{80} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \cdot \frac{56729 \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6}}{80}} \cdot 495269250$$

$$= 3,85 \cdot 10^4 \text{ kNm}$$

Torsi ijin

Berdasarkan SNI T-12-2004 Ps.5.4.5 tulangan puntir tidak diperlukan bila,

$$\frac{Tu}{\phi T_c} < 0,25$$

$$\frac{3689,5}{0,7.38500} < 0,25$$

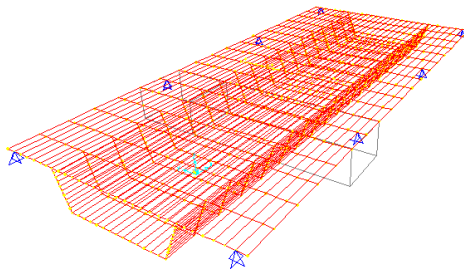
0,14 < 0,25 (memenuhi)

Maka tidak diperlukan tulangan puntir

9. Penulangan arah longitudinal

- Penulangan flens

Untuk mengantisipasi momen arah transversal akibat kendaraan, maka dipasang tulangan lentur arah transversal dimana permodelannya menggunakan program bantu SAP2000. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.55.



Gambar 4. 51. Permodelan untuk penulangan memanjang box

Data perencanaan

$$f_c' = 80 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{diameter tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{cover beton} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{tinggi efektif, } d = 189 \text{ mm}$$

$$\text{lebar badan, } b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$M_u = 470 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_u/0,8 = 587 \text{ kNm}$$

$$R_n = M_n/b \cdot d^2 = 16,4$$

$$m = f_y/0,85 \cdot f_c' = 5,8$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 0,0035$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c' - 30) = 0,45$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,046$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,034$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,046$$

Karena $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d = 6426 \text{ mm}^2$$

Dipasang D22-50 dengan $A_s = 7603 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

- Penulangan web
Direncanakan tulangan geser dipasang pada daerah web dengan data-data sebagai berikut.
Data perencanaan
 $f_c' = 80 \text{ MPa}$
 $f_y = 400 \text{ MPa}$
diameter tulangan = 25 mm
cover beton = 25 mm

| | |
|---------------------|-------------------------------------|
| tinggi efektif, d | = 2223 mm |
| lebar badan, bw | = 313 mm |
| Luas penampang | = $6,45 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$ |
| Inersia | = $3,85 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$ |
| F tendon atas | = 33786 kN |
| F tendon bawah | = 22942 kN |
| e tendon atas | = 0,43 m |
| e tendon bawah | = 1,12 m |
| ya | = 0,73 m |
| yb | = 1,37 m |

Berdasarkan RSNI T-12-2004, kuat geser beton tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 2 kondisi retak, yaitu

1. Kondisi retak geser terlentur

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f_{ct}}}{20} bw \cdot d + Vd + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}}$$

Dimana,

Vd = gaya geser akibat beban mati tidak terfaktor

V_i = gaya geser akibat beban luar tidak terfaktor

$$M_{cr} = \frac{I}{yt} \left(\frac{\sqrt{f_{ct}}}{2} + f_{pe} - fd \right)$$

$$fd = \frac{Md \cdot yt}{I} = \frac{32193 \cdot 10^6 \cdot 1,12 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} = 9,36 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \\ &= \frac{56728 \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{33786 \cdot 10^3 \cdot 430 \cdot 730}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{22942 \cdot 10^3 \cdot 1120 \cdot 1370}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= 20,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{3,85 \cdot 10^{12}}{1370} \left(\frac{\sqrt{80}}{2} + 20,7 - 9,36 \right) = 44401 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= \frac{\sqrt{80}}{20} \cdot 313 \cdot 2223 + 10906 \cdot 10^3 + \frac{11536 \cdot 10^3 \cdot 44401 \cdot 10^6}{158572 \cdot 10^6} \\ &= 14448 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Kondisi retak geser bagian badan
 Karena tendon posisi lurus (tidak ada bengkakan)
 maka nilai V_p adalah 0 atau tidak menahan geser.

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pe})bw \cdot d + V_p$$

$$= 0,3(\sqrt{80} + 20,7)313.2223 + 0 = 6210 \text{ kN}$$

Karena $V_{cw} < V_{ci}$ maka digunakan V_{cw} sebagai V_c

$$V_u = 15893 \text{ kN}$$

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

$$= 15893/0,75 - 6210 = 14981 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang 4 kaki

$$S_{perlu} = \frac{4 \cdot 0,25\pi \cdot 25^2 \cdot 400 \cdot 2223}{14981 \cdot 10^3} = 116 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang D25-100

- Penulangan blok ujung

Tendon atas

Data perencanaan

Tendon unit 6-27

Min. breaking load = 7039 kN

$f_c' = 80 \text{ MPa}$

$f_{ci} = 56 \text{ MPa}$

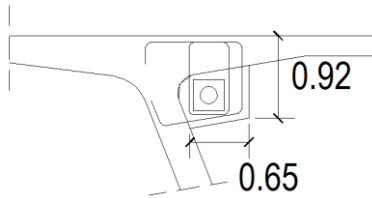
$f_y = 400 \text{ MPa}$

diameter tulangan = 22 mm

selimut beton = 25 mm

spasi tulangan = 200 mm

untuk desain penampang lihat Gambar 4.51.



Gambar 4. 52. Penulangan blok ujung atas (dalam m)

Untuk tendon 6-27

$$F_o = 0,8 f_{pu}$$

$$= 0,8 \cdot 7039 = 5631 \text{ kN}$$

Tegangan ijin tarik beton saat transfer

$$\sigma_{\text{tarik}} = 0,25 \sqrt{f_{ci}'}$$

$$= 0,25 \cdot \sqrt{56}$$

$$= 1,87 \text{ MPa, namun diusahakan tidak ada tarik}$$

Tegangan tarik terjadi

$$0,18 f = 0,18 F_o/A$$

$$= 0,18 \cdot 5631 \cdot 10^3 / 650 \cdot 920$$

$$= 1,69 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik yang dipikul tulangan

$$1,69 - 0 = 1,69 \text{ MPa}$$

Gaya tarik yang dipikul tulangan

$$1,69 \text{ MPa} \times 200 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} = 220343 \text{ N}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 220343 \text{ N} / 400 \text{ MPa} = 550,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{0,25 \pi \cdot 22^2 \cdot 400 \cdot 614}{220343} = 424 \text{ mm}$$

Maka sengkang D22-200 telah mencukupi kebutuhan

Tendon bawah

Data perencanaan

Tendon unit 6-55

Min. breaking load = 14339 kN

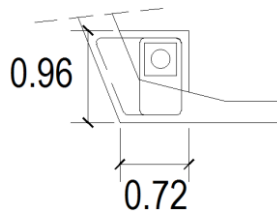
 $f_c' = 80 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$

diameter tulangan = 22 mm

selimut beton = 25 mm

spasi tulangan = 200 mm

untuk desain penampang lihat Gambar 4.52



Gambar 4. 53. Penulangan blok ujung bawah (dalam m)

Untuk tendon 6-55

 $F_o = 0,8 f_{pu}$

$$= 0,8 \cdot 14339 = 11471 \text{ kN}$$

Tegangan ijin tarik beton saat servis

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tarik}} &= 0,5 \sqrt{f_c'} \\ &= 0,5 \cdot \sqrt{80} \\ &= 3,54 \text{ MPa, namun diusahakan tidak ada tarik} \end{aligned}$$

Tegangan tarik terjadi

$$0,18 f = 0,18 F_o / A$$

$$= 0,18.11471.10^3/720.960$$

$$= 2,98 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik yang dipikul tulangan

$$2,98 - 0 = 2,98 \text{ MPa}$$

Gaya tarik yang dipikul tulangan

$$2,98 \text{ MPa} \times 200 \text{ mm} \times 720 \text{ mm} = 430162 \text{ N}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 430162 \text{ N} / 400 \text{ MPa} = 1075 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{0,25\pi.22^2.400.684}{430162} = 241 \text{ mm}$$

Maka sengkang D22-200 telah mencukupi kebutuhan

- Kontrol dimensi blok ujung

Tendon atas

Data perencanaan

Tendon unit 6-27

Min. breaking load = 7039 kN

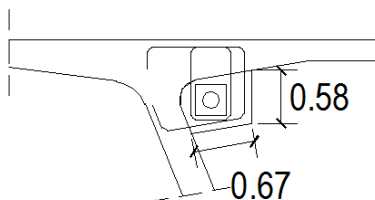
$f_c' = 80 \text{ MPa}$

lebar blok ujung, $b = 530 \text{ mm}$

tinggi blok ujung, $h = 550 \text{ mm}$

panjang blok ujung, $p = 1000 \text{ mm}$

untuk desain penampang lihat Gambar 4.53.



Gambar 4. 54. Periksa blok ujung bawah (dalam m)

Untuk tendon 6-27

$$F_o = 0,8 f_{pu}$$

$$= 0,8 \cdot 7039 = 5631 \text{ kN}$$

Luas geser blok ujung

$$A = (b+h) \cdot p = (580+670) \cdot 1000 = 1250000 \text{ mm}^2$$

Kemampuan geser blok ujung

$$F = A \cdot f_c' = 1250000 \times 80 = 100000000 \text{ N}$$

Syarat,

$$F > F_o$$

$$100000 \text{ kN} > 5631 \text{ kN (memenuhi)}$$

Tendon bawah

Data perencanaan

Tendon unit 6-55

Min. breaking load = 14339 kN

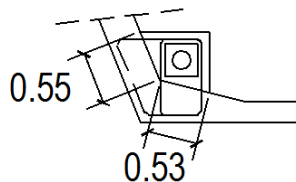
$$f_c' = 80 \text{ MPa}$$

lebar blok ujung, $b = 530 \text{ mm}$

tinggi blok ujung, $h = 550 \text{ mm}$

panjang blok ujung, $p = 1000 \text{ mm}$

untuk desain penampang lihat Gambar 4.54



Gambar 4. 55. Periksa blok ujung bawah (dalam m)

Untuk tendon 6-55

$$F_o = 0,8 f_{pu}$$

$$= 0,8 \cdot 14339 = 11471 \text{ kN}$$

Luas geser blok ujung

$$A = (b+h) \cdot p = (550+530) \cdot 1000 = 1080000 \text{ mm}^2$$

Kemampuan geser blok ujung

$$F = A \cdot f_c' = 1080000 \times 80 = 86400000 \text{ N}$$

Syarat,

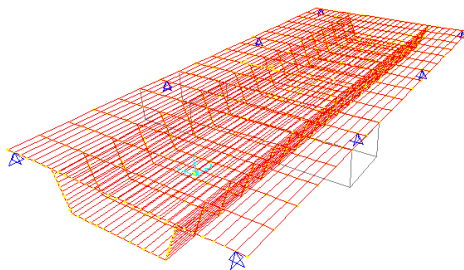
$$F > F_o$$

$$86400 \text{ kN} > 11471 \text{ kN (memenuhi)}$$

10. Penulangan arah transversal

- Penulangan flens

Untuk mengantisipasi momen arah transversal akibat kendaraan, maka dipasang tulangan lentur arah transversal dimana permodelannya menggunakan program bantu SAP2000. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.55.



Gambar 4. 56. Permodelan untuk penulangan melintang box

Data perencanaan

$$f_c' = 80 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{diameter tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{cover beton} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{tinggi efektif, } d = 189 \text{ mm}$$

$$\text{lebar badan, } b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$M_u = 423 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_u/0,8 = 529 \text{ kNm}$$

$$R_n = M_n/b \cdot d^2 = 14,8$$

$$m = f_y/0,85 \cdot f_c' = 5,8$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 0,0035$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c' - 30) = 0,45$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,046$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,034$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,042$$

Karena $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d = 6426 \text{ mm}^2$$

Dipasang D22-50 dengan $A_s = 7603 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

- Penulangan web

Data perencanaan

$$f_c' = 80 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{diameter tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{cover beton} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{tinggi efektif, } d = 292 \text{ mm}$$

lebar badan, $b_w = 1000 \text{ mm}$

$$M_u = 475 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_u/0,8 = 594 \text{ kNm}$$

$$R_n = M_n/b \cdot d^2 = 6,9$$

$$m = f_y/0,85 \cdot f_c' = 5,8$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 0,0035$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c' - 30) = 0,45$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,046$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,034$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,018$$

Karena $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{perlu}

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 5318 \text{ mm}^2$$

Dipasang D22-70 dengan $A_s = 5431 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

11. Perencanaan *shear-key joint* antar segmen

Dimensi bidang geser tiap segmen

Pada sayap = 854 cm x 15 cm

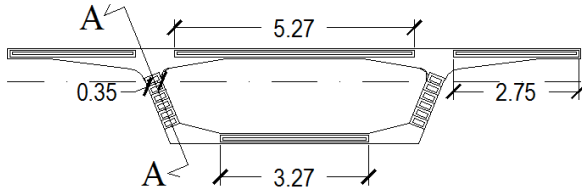
Pada sayap = 275 cm x 15 cm

Pada badan = 12 x 350 cm x 20 cm

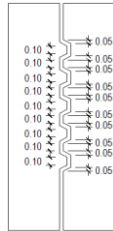
Luas beton yang memikul geser

$$\begin{aligned} A_c &= (854 \times 15) + (2 \times 275 \times 15) + (12 \times 350 \times 20) \\ &= 105060 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.57 dan 4.58



Gambar 4. 57. Rencana shear-key joint (dalam m)



Gambar 4. 58. Potongan A-A (dalam m)

Gaya maksimum yang bekerja pada joint antar segmen

$$V_u = 15893 \text{ kN}$$

$$M_u = 158572 \text{ kNm}$$

Data perencanaan

$$f_c' = 80 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{diameter tulangan} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{cover beton} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{tinggi efektif, } d = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{lebar badan, } bw = 14140 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang} = 6,45 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia} = 3,85 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

$$F \text{ tendon atas} = 33786 \text{ kN}$$

| | |
|----------------|------------|
| F tendon bawah | = 22942 kN |
| e tendon atas | = 0,43 m |
| e tendon bawah | = 1,12 m |
| ya | = 0,73 m |
| yb | = 1,37 m |

Berdasarkan RSNI T-12-2004, kuat geser beton tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 2 kondisi retak, yaitu

1. Kondisi retak geser terlentur

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f_{ct}}}{20} bw \cdot d + Vd + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}}$$

Dimana,

Vd = gaya geser akibat beban mati tidak terfaktor

V_i = gaya geser akibat beban luar tidak terfaktor

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t} \left(\frac{\sqrt{f_{ct}}}{2} + f_{pe} - fd \right)$$

$$fd = \frac{M_d \cdot y_t}{I} = \frac{32193 \cdot 10^6 \cdot 1,12 \cdot 10^3}{3,85 \cdot 10^{12}} = 9,36 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \\ &= \frac{56728 \cdot 10^3}{6,45 \cdot 10^6} + \frac{33786 \cdot 10^3 \cdot 430,730}{3,85 \cdot 10^{12}} + \frac{22942 \cdot 10^3 \cdot 1120,1370}{3,85 \cdot 10^{12}} \\ &= 20,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{3,85 \cdot 10^{12}}{1370} \left(\frac{\sqrt{80}}{2} + 20,7 - 9,36 \right) = 44401 \text{ kNm}$$

$$V_{ci} =$$

$$\begin{aligned} &\frac{\sqrt{80}}{20} \cdot 14140 \cdot 1120 + 10906 \cdot 10^3 + \frac{11536 \cdot 10^3 \cdot 44401 \cdot 10^6}{158572 \cdot 10^6} \\ &= 21219 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Kondisi retak geser bagian badan

Karena tendon posisi lurus (tidak ada bengkokan) maka nilai V_p adalah 0 atau tidak menahan geser.

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f'c'} + fpe)bw.d + Vp$$

$$= 0,3(\sqrt{80} + 20,7)14140.1120 + 0 = 140841 \text{ kN}$$

Karena $V_{ci} < V_{cw}$ maka digunakan V_{ci} sebagai V_c

$$V_u = 15893 \text{ kN}$$

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

$$= 15893/0,75 - 21219 = -28 \text{ kN}$$

Maka tidak diperlukan tulangan geser tambahan karena kuat geser beton sudah mampu memikul gaya geser.

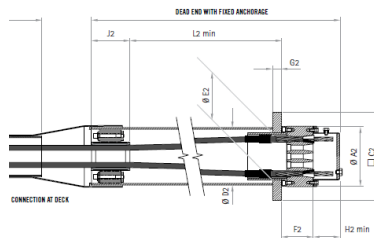
12. Perencanaan angkur pada gelagar

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya *stressing* nya yang telah dihitung. Perencanaan ini meliputi cek tegangan beton saat *stressing* serta kebutuhan tulangan pencair (*bursting*) dan tulangan pecah (*spalling*).

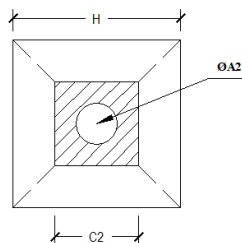
Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angkur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.34 dan Tabel 4.35. serta Gambar 4.59 dan Gambar 4.60.

Tabel 4. 34. Gaya tarik A_{aktual} pada gelagar

| Kabel | Gaya |
|-------|-------------|
| m12 | 6692.12 kN |
| m11 | 9734.31 kN |
| m10 | 13015.19 kN |
| m9 | 10153.82 kN |
| m8 | 7880.63 kN |
| m7 | 6572.06 kN |
| m6 | 6864.06 kN |
| m5 | 7760.78 kN |
| m4 | 7455.06 kN |
| m3 | 6599.34 kN |
| m2 | 6349.39 kN |
| m1 | 6483.56 kN |
| s1 | 5422.42 kN |
| s2 | 11835.35 kN |



Gambar 4. 59. Detail angker VSL SSI 2000 yang digunakan



Gambar 4. 60. Notasi dimensi angkur

Tabel 4. 35. Spesifikasi angker VSL SSI 2000 yang digunakan

| TENDON UNIT | Dead End | | | | | | | | | | Stay Pipe | |
|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|--------------|----------|-------------|-----------|-------------|--|
| | ØA2 mm | C2 mm | ØØ2 mm | ØE2 mm | F2 mm | G2 mm | H2 min mm | J2 mm | L2min mm | ØA3 mm | TENDON UNIT | |
| 6-12 | 185 | 260 | 177.8/4.5 | 150 | 105 | 35 | 105 | 160 | 900 | 125/4.9 | 6-12 | |
| 6-19 | 230 | 335 | 219.1/6.3 | 190 | 120 | 50 | 105 | 180 | 1,200 | 140/5.4 | 6-19 | |
| 6-22 | 250 | 355 | 219.1/6.3 | 205 | 120 | 50 | 105 | 210 | 1,350 | 160/6.2 | 6-22 | |
| 6-31 | 280 | 415 | 244.5/6.3 | 230 | 145 | 60 | 105 | 210 | 1,550 | 160/6.2 | 6-31 | |
| 6-37 | 300 | 455 | 273/6.3 | 255 | 170 | 70 | 105 | 210 | 1,750 | 180/5.6 | 6-37 | |
| 6-43 | 340 | 505 | 323.9/7.1 | 285 | 175 | 75 | 105 | 210 | 2,000 | 200/6.2 | 6-43 | |
| 6-55 | 380 | 550 | 323.9/7.1 | 310 | 195 | 75 | 105 | 260 | 2,050 | 200/6.2 | 6-55 | |
| 6-61 | 380 | 585 | 355.6/8 | 330 | 215 | 85 | 105 | 260 | 2,250 | 225/7.0 | 6-61 | |
| 6-73 | 430 | 650 | 406.4/8.8 | 370 | 215 | 95 | 120 | 290 | 2,450 | 250/7.8 | 6-73 | |
| 6-85 | 430 | 685 | 406.4/8.8 | 370 | 245 | 110 | 120 | 290 | 2,600 | 250/7.8 | 6-85 | |
| 6-91 | 480 | 730 | 457/10 | 420 | 255 | 110 | 120 | 320 | 2,800 | 280/8.7 | 6-91 | |
| 6-109 | 495 | 775 | 457/10 | 420 | 265 | 120 | 120 | 320 | 3,000 | 315/9.8 | 6-109 | |
| 6-127 | 550 | 845 | 508/11 | 475 | 315 | 130 | 120 | 340 | 3,350 | 315/9.8 | 6-127 | |

Contoh perhitungan angkur kabel m10 dengan tendon 6-127

$$T = 13015 \text{ kN}$$

$$H = 900 \text{ mm}$$

$$\varnothing A2 = 550 \text{ mm}$$

$$A1 = H \times H = 8,1 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$C2 = 845 \text{ mm}$$

$$A2 = (C2 \times C2) - \text{area } \varnothing A2 = 476442 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan $70\%f_c'$

$$f_{ci} = 70\% \times 80\text{Mpa} = 56 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} - 0,2$$

$$= 0,8 \cdot 56 \cdot \sqrt{\frac{810000}{476442}} - 0,2 = 54,86 \text{ MPa}$$

Tegangan di bawah plat angker

$$f_t = T/A_2$$

$$= 13015000 / 476442 = 27,31 \text{ MPa}$$

Syarat, $f_t < f_{cp} = 41,6 \text{ Mpa}$ (memenuhi)

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4. 36. Kontrol tegangan beton saat *stressing* pada kabel di gelagar

| Kabel | Angkur (strand) | Gaya (kN) | f _{cp} (Mpa) | f _t (Mpa) | Kontrol (f _t <f _{cp}) |
|-------|--------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|---|
| m12 | 61 | 6692.12 | 81.86 | 29.24 | OK |
| m11 | 85 | 9734.31 | 67.93 | 30.04 | OK |
| m10 | 127 | 13015.19 | 54.86 | 27.31 | OK |
| m9 | 91 | 10153.82 | 64.94 | 28.84 | OK |
| m8 | 73 | 7880.63 | 73.89 | 28.41 | OK |
| m7 | 61 | 6572.06 | 81.86 | 28.72 | OK |
| m6 | 61 | 6864.06 | 81.86 | 29.99 | OK |
| m5 | 73 | 7760.78 | 73.89 | 27.98 | OK |
| m4 | 73 | 7455.06 | 73.89 | 26.88 | OK |
| m3 | 61 | 6599.34 | 81.86 | 28.83 | OK |
| m2 | 55 | 6349.39 | 90.52 | 33.57 | OK |
| m1 | 61 | 6483.56 | 81.86 | 28.33 | OK |
| s1 | 55 | 5422.42 | 90.52 | 28.67 | OK |
| s2 | 127 | 11835.35 | 54.86 | 24.83 | OK |

Perhitungan tulangan daerah pengankuran berdasarkan SNI 03 2847-2002 Ps.20.13.3.2

Kebutuhan tulangan pencair

$$\begin{aligned} T_{\text{pencair}} &= 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{c^2}{h}\right) \\ &= 0,25 \cdot 13015 \cdot \left(1 - \frac{845}{900}\right) = 200,2 \text{ kN} \\ d_{\text{pencair}} &= 0,5(h-2e) \\ &= 0,5 \cdot (900-2 \cdot 0) = 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang penutup D12 dengan $A_s = 226 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= T_{\text{pencair}} / f_y \\ &= 200200 / 400 = 500,54 \text{ mm}^2 \\ n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pakai} = \\ &= 500,54 / 226 \\ &= 2,2 \sim 3 \text{ sengkang dekat ujung angkur} \end{aligned}$$

spasi antar sengkang

$$\begin{aligned} s &= d_{\text{pencair}} / n \\ &= 450 / 2,2 = 205 \sim 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka dipasang sengkang 3D12-200

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%T

$$\begin{aligned} 2\%T &= 2\% \cdot 13015 \text{ kN} = 260,3 \text{ kN} \\ A_s \text{ perlu} &= 2\%T / f_y \\ &= 260300 / 400 = 650,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan UD12 dengan $A_s = 113 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pakai} \\ &= 650,75 / 113 = 5,75 \sim 6 \text{ buah tulangan U} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lainnya ditabelkan pada lampiran.

13. Perencanaan perletakan pada gelagar

Pada modifikasi jembatan Kalipepe ini akan digunakan perletakan jembatan yang berfungsi meneruskan beban dari bangunan atas ke bangunan bawah jembatan. Perletakan yang digunakan pada jembatan ini merupakan pelat baja sirkular (pot bearing). Dengan penggunaan perletakan pot bearing tersebut akan mampu mengakomodasi perpindahan arah akibat beban yang ada.

Asumsi perletakan yang digunakan dalam permodelan modifikasi ini adalah rol-rol di kedua ujung gelagar seperti terlihat pada Gambar 4.61.



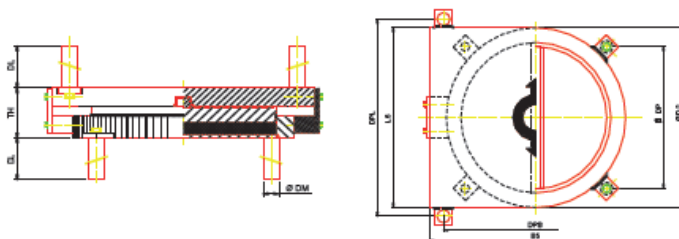
Gambar 4. 61. Asumsi perletakan jembatan

Dari hasil analisa MIDAS/CIVIL diperoleh gaya pada perletakan sebesar :

$$H = 2400 \text{ kN}$$

$$V = 12500 \text{ kN}$$

Dari hasil reaksi vertikal pada perletakan pot bearing, maka akan direncanakan unidirectional pot bearing VSL tipe PU 1800/1300/H2 EN dengan jumlah 2 buah. Dimensi dan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.62 dan Tabel 4.37.



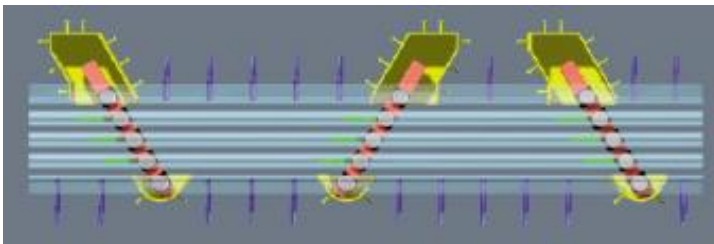
Gambar 4. 62. Dimensi pot bearing

Tabel 4. 37. Spesifikasi pot bearing

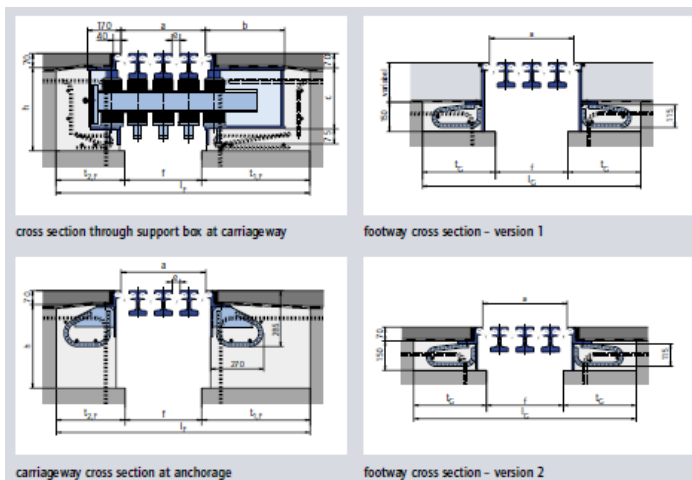
| BEARING TYPE | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | Pot ϕ D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm) | Recommended Pier ϕ (mm) | DM ϕ (mm) | DL (mm) | DPL (mm) | DPB (mm) | DP (mm) |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| PU 100/70/H2 EN | 977 | 210 | 700 | 140 | 250 | 83 | 290 x 250 | 400 | 30 | 150 | 200 | 310 | 219 |
| PU 200/140/H2 EN | 1.953 | 420 | 1.400 | 280 | 312 | 84 | 347 x 312 | 499 | 30 | 150 | 237 | 372 | 263 |
| PU 300/220/H2 EN | 3.069 | 660 | 2.200 | 440 | 390 | 103 | 405 x 390 | 624 | 30 | 150 | 315 | 450 | 318 |
| PU 390/280/H2 EN | 3.906 | 840 | 2.800 | 560 | 439 | 105 | 440 x 439 | 702 | 40 | 200 | 350 | 499 | 353 |
| PU 490/350/H2 EN | 4.883 | 1.050 | 3.500 | 700 | 492 | 113 | 492 x 492 | 787 | 40 | 200 | 402 | 552 | 390 |
| PU 630/450/H2 EN | 6.278 | 1.350 | 4.500 | 900 | 553 | 129 | 553 x 553 | 885 | 40 | 200 | 463 | 613 | 433 |
| PU 700/500/H2 EN | 6.975 | 1.500 | 5.000 | 1.000 | 588 | 130 | 588 x 588 | 941 | 60 | 300 | 478 | 668 | 472 |
| PU 840/600/H2 EN | 8.370 | 1.800 | 6.000 | 1.200 | 624 | 143 | 624 x 624 | 998 | 60 | 300 | 514 | 704 | 498 |
| PU 900/650/H2 EN | 9.068 | 1.950 | 6.500 | 1.300 | 651 | 149 | 651 x 651 | 1.042 | 60 | 300 | 541 | 731 | 517 |
| PU 1000/700/H2 EN | 9.765 | 2.100 | 7.000 | 1.400 | 673 | 150 | 673 x 673 | 1.077 | 60 | 300 | 565 | 755 | 532 |
| PU 1120/800/H2 EN | 11.160 | 2.400 | 8.000 | 1.600 | 721 | 153 | 721 x 721 | 1.154 | 60 | 300 | 611 | 801 | 566 |
| PU 1200/850/H2 EN | 11.858 | 2.550 | 8.500 | 1.700 | 754 | 154 | 754 x 754 | 1.206 | 60 | 300 | 644 | 834 | 590 |
| PU 1320/950/H2 EN | 13.253 | 2.850 | 9.500 | 1.900 | 782 | 166 | 782 x 782 | 1.251 | 60 | 300 | 672 | 862 | 610 |
| PU 1400/1000/H2 EN | 13.950 | 3.000 | 10.000 | 2.000 | 804 | 167 | 804 x 804 | 1.286 | 60 | 300 | 694 | 884 | 625 |
| PU 1535/1100/H2 EN | 15.345 | 3.300 | 11.000 | 2.200 | 838 | 184 | 838 x 838 | 1.341 | 70 | 350 | 718 | 928 | 656 |
| PU 1700/1200/H2 EN | 16.746 | 3.600 | 12.000 | 2.400 | 886 | 186 | 886 x 886 | 1.408 | 70 | 350 | 760 | 970 | 686 |
| PU 1800/1300/H2 EN | 18.135 | 3.900 | 13.000 | 2.600 | 914 | 188 | 914 x 914 | 1.462 | 80 | 400 | 784 | 1014 | 717 |
| PU 2000/1400/H2 EN | 19.530 | 4.200 | 14.000 | 2.800 | 944 | 200 | 944 x 944 | 1.510 | 80 | 400 | 814 | 1044 | 738 |
| PU 2100/1500/H2 EN | 20.925 | 4.500 | 15.000 | 3.000 | 978 | 201 | 978 x 978 | 1.565 | 90 | 450 | 848 | 1078 | 762 |
| PU 2250/1600/H2 EN | 22.320 | 4.800 | 16.000 | 3.200 | 1.022 | 214 | 1022 x 1022 | 1.635 | 90 | 450 | 892 | 1122 | 793 |
| PU 2400/1700/H2 EN | 23.715 | 5.100 | 17.000 | 3.400 | 1.048 | 215 | 1048 x 1048 | 1.677 | 90 | 450 | 918 | 1148 | 812 |
| PU 2500/1800/H2 EN | 25.110 | 5.400 | 18.000 | 3.600 | 1.077 | 221 | 1077 x 1077 | 1.723 | 90 | 450 | 947 | 1177 | 832 |
| PU 2650/1900/H2 EN | 26.505 | 5.700 | 19.000 | 3.800 | 1.108 | 223 | 1108 x 1108 | 1.773 | 90 | 450 | 978 | 1208 | 854 |
| PU 2800/2000/H2 EN | 27.900 | 6.000 | 20.000 | 4.000 | 1.151 | 225 | 1151 x 1151 | 1.842 | 90 | 450 | 1021 | 1251 | 885 |
| PU 3000/2200/H2 EN | 30.690 | 6.600 | 22.000 | 4.400 | 1.286 | 234 | 1286 x 1286 | 2.058 | 90 | 450 | 1156 | 1386 | 980 |

14. Perencanaan expansion joint

Untuk mengantisipasi deformasi arah longitudinal, diperlukan *expansion joint* pada kedua sisi abutment yang menyambungkan gelagar dengan oprit jembatan. Digunakan jenis *expansion joint* yang *mensupport* perpindahan ke satu sisi longitudinal jembatan saja. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.63 dan Gambar 4.64.



Gambar 4. 63. Jenis expansion joint yang digunakan



Gambar 4. 64. Detail expansion joint yang digunakan

Dari hasil analisa MIDAS/CIVIL diperoleh perpindahan max arah longitudinal pada ujung gelagar sebesar :

$$dx = 63 \text{ mm}$$

Maka digunakan tipe expansion joint DS160 dengan toleransi perpindahan sebesar 160 mm. Untuk spesifikasi dan dimensinya dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4. 38. Dimensi dan spesifikasi expansion joint

| type | a (mm) | b (mm) | c (mm) | h (mm) | t _{1F} (mm) | t _{2F} -t _G (mm) | f _{min} (mm) | f _{max} (mm) | l _F (mm) | l _G (mm) | u _k (mm) | u _y *) (mm) | u _z *) (mm) |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| DS160 | 150 | 260 | 290 | 420 | 400 | 350 | 115 | 130 | 865 | 815 | 130 (160) | ± 80 | ± 10 |
| DS240 | 270 | 310 | 300 | 430 | 450 | 380 | 225 | 250 | 1055 | 985 | 195 (240) | ± 120 | ± 15 |
| DS320 | 390 | 360 | 310 | 440 | 500 | 390 | 300 | 370 | 1190 | 1080 | 260 (320) | ± 160 | ± 20 |
| DS400 | 510 | 410 | 320 | 450 | 560 | 400 | 410 | 490 | 1370 | 1210 | 325 (400) | ± 200 | ± 25 |
| DS480 | 630 | 460 | 330 | 460 | 620 | 410 | 520 | 610 | 1550 | 1340 | 390 (480) | ± 240 | ± 30 |
| DS560 | 750 | 510 | 340 | 470 | 680 | 420 | 630 | 730 | 1730 | 1470 | 455 (560) | ± 280 | ± 35 |
| DS640 | 870 | 560 | 350 | 480 | 740 | 430 | 740 | 850 | 1910 | 1600 | 520 (640) | ± 320 | ± 40 |
| DS720 | 990 | 610 | 360 | 490 | 800 | 440 | 850 | 970 | 2090 | 1730 | 585 (720) | ± 360 | ± 40 |
| DS800 | 1110 | 660 | 370 | 500 | 860 | 450 | 960 | 1090 | 2270 | 1860 | 650 (800) | ± 400 | ± 40 |
| DS880 | 1230 | 710 | 380 | 510 | 920 | 460 | 1070 | 1210 | 2450 | 1990 | 715 (880) | ± 440 | ± 40 |
| DS960 | 1350 | 760 | 390 | 520 | 980 | 470 | 1180 | 1330 | 2630 | 2120 | 780 (960) | ± 480 | ± 45 |
| DS1040 | 1470 | 810 | 400 | 530 | 1040 | 480 | 1290 | 1450 | 2810 | 2250 | 845 (1040) | ± 520 | ± 45 |
| DS1120 | 1590 | 860 | 410 | 540 | 1100 | 490 | 1400 | 1570 | 2990 | 2380 | 910 (1120) | ± 560 | ± 45 |
| DS1200 | 1710 | 910 | 420 | 550 | 1160 | 500 | 1510 | 1690 | 3170 | 2510 | 975 (1200) | ± 600 | ± 45 |

4.6.4 Kontrol Stabilitas Aerodinamis

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.

1. Frekwensi alami

Dihitung dengan frekwensi lentur balok (f_B) dan frekwensi alam akibat torsi (f_T) yang didekati menggunakan persamaan berikut ini :

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{\text{maks}}} \right)^{1/2}$$

$$f_T = \frac{\bar{b}}{2r} f_B$$

Dimana :

- f_B = frekwensi alami lentur balok (Hz)
- g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 9,81 kg/cm^2
- v_{maks} = deformasi statis maksimum akibat berat sendiri (m)
= 0,34 m (dari analisa MIDAS CIVIL)
- f_T = frekwensi alami torsi (Hz)
- \bar{b} = jarak kabel arah melintang (m) = 11,5 m
- r = jari-jari girasi penampang lantai kendaraan (m)

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{9,22 \cdot 10^4}{6,5 \cdot 10^2}} = 11,91m$$

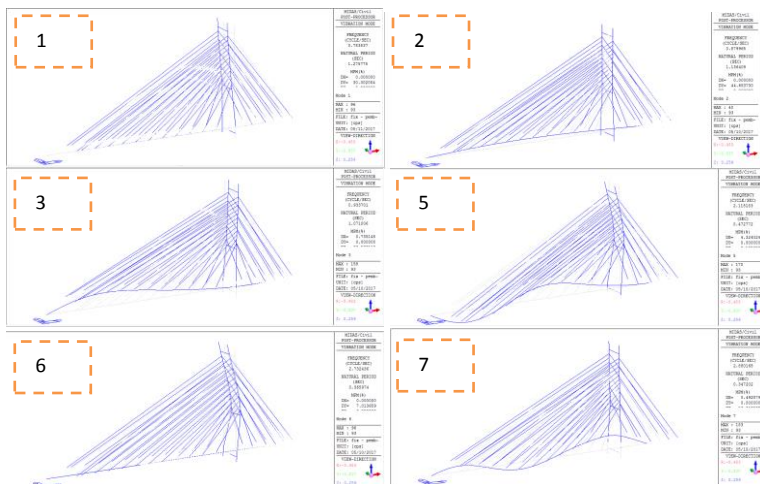
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,86 \cdot 10^4}{6,5 \cdot 10^2}} = 7,7m$$

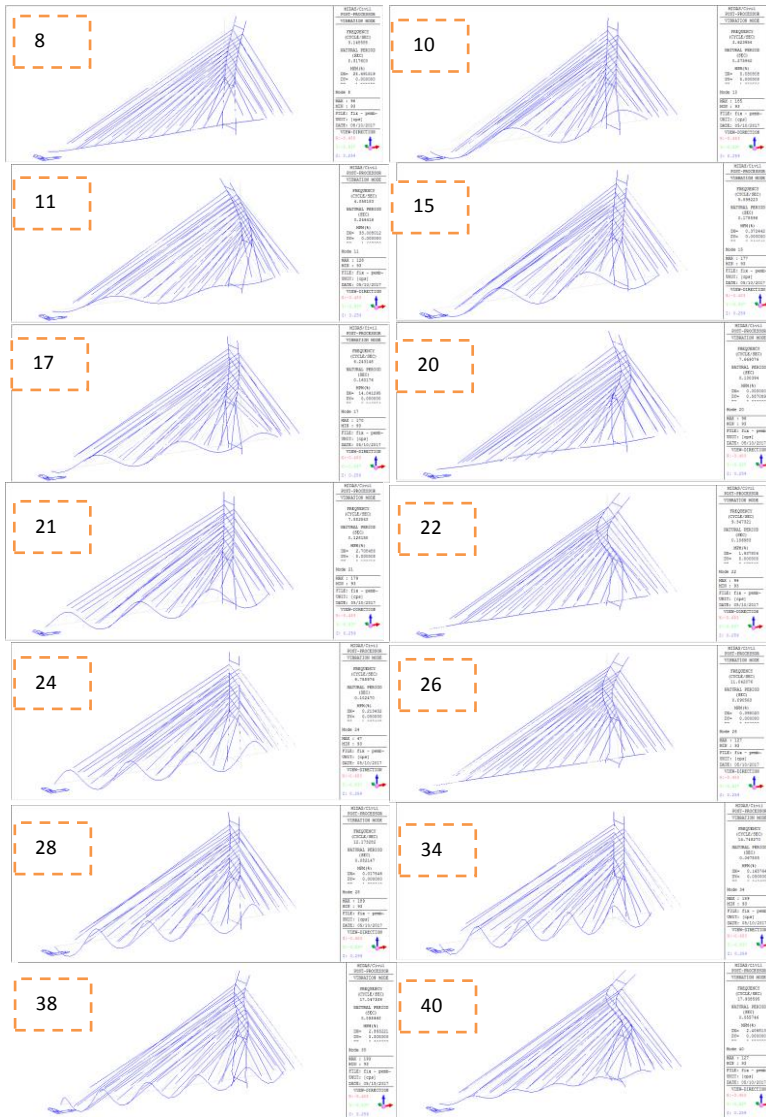
maka,

$$f_B = \frac{1,1}{2 \cdot \pi} \left(\frac{9,81}{0,34} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,94 \text{ Hz}$$

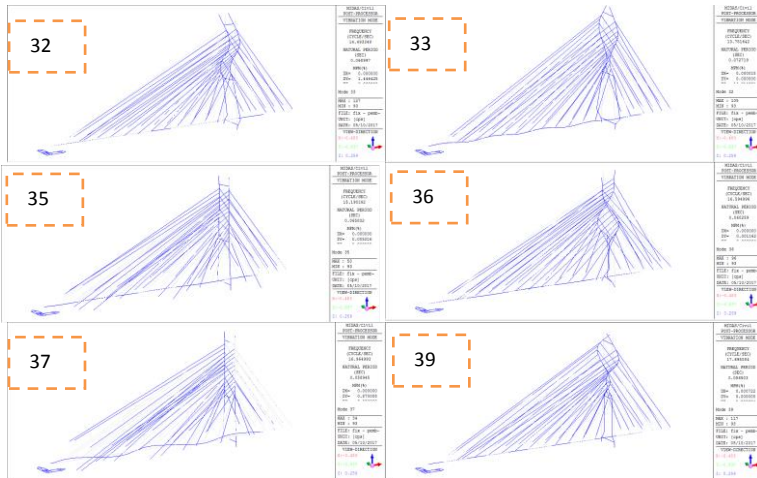
$$f_T = \frac{22}{2 \cdot 7,7} \cdot 0,94 = 1,34 \text{ Hz}$$

Akan tetapi pada program bantu MIDAS CIVIL nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) maupun frekwensi alami torsi (f_T) dapat dicari dengan menggunakan *modal* melalui tahapan *mode* pada menu *result – vibration mode shapes*, dengan syarat yang dipakai adalah nilai pada *mode* yang sesuai persamaan berikut $f_T/f_B \approx 2,5$ (Mathivat). Berikut nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) dan frekwensi alami torsi (f_T) yang didapat dari program bantu MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Gambar 4.61 dan Gambar 4.62.





Gambar 4. 65. mode frekwensi lentur (fB)



Gambar 4. 66. mode frekwensi torsi (f_T)

Berikut rekapitulasi nilai frekwensi lentur (f_B) maupun frekwensi torsi (f_T) dari hasil analisa menggunakan program MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4. 39. nilai f_B dan f_T

| Mode No | Frequency | | Period (sec) |
|---------|---------------------|-------------|-----------------|
| | | (cycle/sec) | |
| 1 | lentur longitudinal | 0.784 | 1.276 |
| 2 | lentur transversal | 0.880 | 1.136 |
| 3 | lentur vertikal | 0.934 | 1.071 |
| 4 | torsi | 1.903 | 0.526 |
| 5 | lentur vertikal | 2.115 | 0.473 |
| 6 | lentur longitudinal | 2.732 | 0.366 |
| 7 | lentur vertikal | 2.880 | 0.347 |
| 8 | lentur transversal | 3.149 | 0.318 |
| 9 | torsi | 3.358 | 0.298 |
| 10 | lentur vertikal | 3.624 | 0.276 |
| 11 | lentur vertikal | 4.058 | 0.246 |
| 12 | torsi | 4.149 | 0.241 |
| 13 | torsi | 4.944 | 0.202 |
| 14 | torsi | 5.418 | 0.185 |
| 15 | lentur vertikal | 5.599 | 0.179 |

| Mode No | Frequency | | Period |
|---------|---------------------|-------------|--------|
| | | (cycle/sec) | (sec) |
| 16 | torsi | 5.771 | 0.173 |
| 17 | lentur vertikal | 6.243 | 0.160 |
| 18 | torsi | 6.830 | 0.146 |
| 19 | torsi | 7.662 | 0.131 |
| 20 | lentur longitudinal | 7.669 | 0.130 |
| 21 | lentur vertikal | 7.803 | 0.128 |
| 22 | lentur longitudinal | 9.347 | 0.107 |
| 23 | torsi | 9.525 | 0.105 |
| 24 | lentur vertikal | 9.759 | 0.102 |
| 25 | torsi | 9.885 | 0.101 |
| 26 | lentur longitudinal | 11.042 | 0.091 |
| 27 | torsi | 12.171 | 0.082 |
| 28 | lentur vertikal | 12.173 | 0.082 |
| 29 | torsi | 12.388 | 0.081 |
| 30 | torsi | 12.682 | 0.079 |
| 31 | torsi | 13.751 | 0.073 |
| 32 | torsi | 13.752 | 0.073 |
| 33 | torsi | 14.493 | 0.069 |
| 34 | lentur vertikal | 14.748 | 0.068 |
| 35 | torsi | 15.190 | 0.066 |
| 36 | torsi | 16.595 | 0.060 |
| 37 | torsi | 16.965 | 0.059 |
| 38 | lentur vertikal | 17.047 | 0.059 |
| 39 | torsi | 17.698 | 0.057 |
| 40 | lentur longitudinal | 17.939 | 0.056 |

2. Efek vortex-shedding

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*).

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

Dimana :

S = angka *Strouhal*

f_B = frekwensi alami lentur balok

h = tinggi rantai kendaraan

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

Kecepatan angin (V) dicari dengan menggunakan persamaan angka *Strouhal*. Dipakai angka *Strouhal* (s) = 0,2, tinggi lantai kendaraan (h) = 2,1 m

$$V = \frac{0,94 \cdot 2,1}{0,2} = 9,87 \text{ m/s}$$

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

$$Re = \frac{VB}{\bar{\nu}} \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 - 7.10)}$$

Dimana :

Re = angka *Reynold*

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

B = lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$ = viskositas kinematik udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{dt}$)

$$R_e = \frac{9,87 \cdot 12,6}{0,15 \cdot 10^{-4}} = 8,3 \times 10^6$$

Maka, nilai Re memenuhi persyaratan.

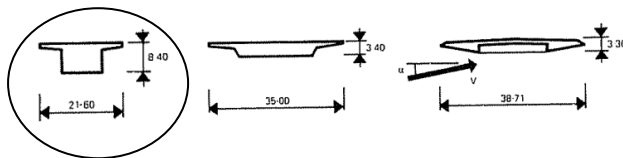
Akibat adanya terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} Ch \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 - 7.13)}$$

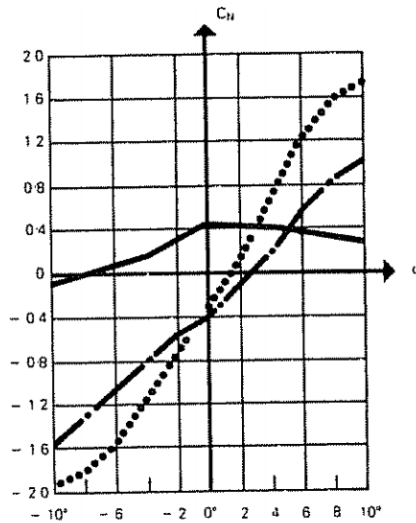
Dimana :

- F_o = gaya angkat
 ρ = berat volume udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)
 V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*
 C = koefisien gaya angkat lantai kendaraan
 h = tinggi lantai kendaraan

besarnya nilai koefisien C dapat dicari dari grafik berikut ini, lihat Gambar 4.63 dan Gambar 4.64.



Gambar 4. 67. Macam penampang deck



Gambar 4. 68. Koefisien C_N

Grafik koefisien C_N diatas merupakan hasil dari tiga bentuk penampang lantai kendaraan dari beberapa jembatan yang sudah ada (sudah dibangun). Berdasarkan bentuk penampang lantai kendaraan yang didesain, penampang yang paling kiri (yang ditandai dengan lingkaran) cukup mempresentasikan bentuk penampang lantai kendaraan yang didesain. Dengan α diambil sebesar 0° , maka akan didapat nilai koefisien C_N sebesar 0,4. Tetapi pada kondisi nyata, angin tidak selalu mengenai lantai kendaraan dalam arah horizontal secara sempurna. Terkadang nilai α dapat berubah berkisar antara 3° sampai dengan 9° , maka sebagai pembanding coba diambil nilai α rata-rata sebesar 6° . sehingga didapat nilai C_N sebesar 0,38. Maka dari perbandingan tersebut nilai C_N yang dipakai dalam desain adalah yang paling besar yaitu 0,4.

$$F_o = 1,3 \cdot \frac{9,87^2}{2} \cdot 0,38 \cdot 2,1 = 50,53 \text{ N/m}$$

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

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

dimana :

v = amplitudo osilasi

δ = penurunan logaritmik (koefisien peredaman)

F_o = gaya angkat

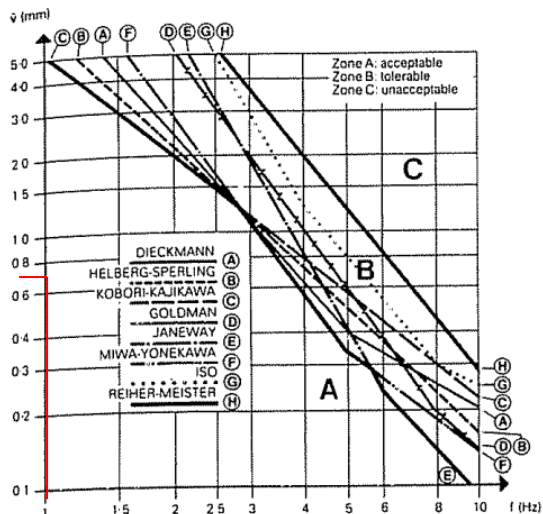
v_{\max} = deformasi statis maksimum karena berat sendiri

m = berat sendiri lantai kendaraan per meter panjang

$$\hat{v} = \frac{\pi}{0,05} \cdot \frac{50,53}{155 \cdot 10^3} \cdot 0,34 = 0,0069 \text{ m} = 6,9 \text{ mm}$$

Maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (v) dengan melakukan plot nilai amplitudo osilasi sebesar 6,9 mm dengan frekuensi sebesar 0,94 Hz yang masuk ke

dalam zona *acceptable*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.65.

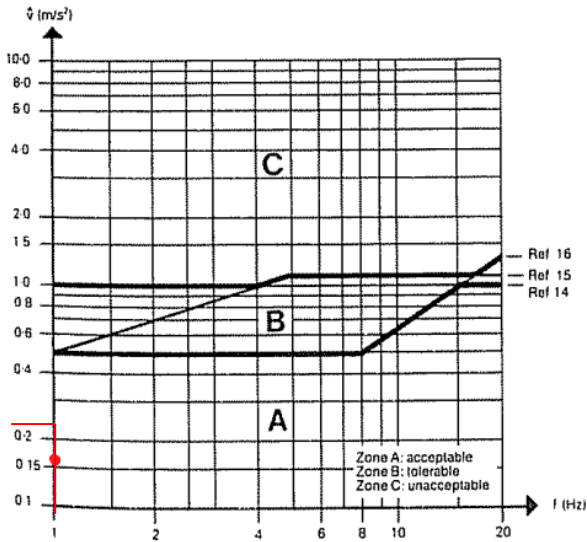


Gambar 4. 69. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther, 1999)

Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\ddot{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \ddot{v} dan f_B pada grafik terkait yang untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.66.

$$\begin{aligned}\hat{\ddot{v}} &= 4\pi^2 \times f^2 \times \hat{v} \\ &= 4\pi^2 \times 0,94^2 \times 0,0069 \\ &= 0,24 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Percepatan sebesar $0,24 \text{ m/s}^2$ dengan frekuensi $0,94 \text{ Hz}$ masuk dalam zona *acceptable*.

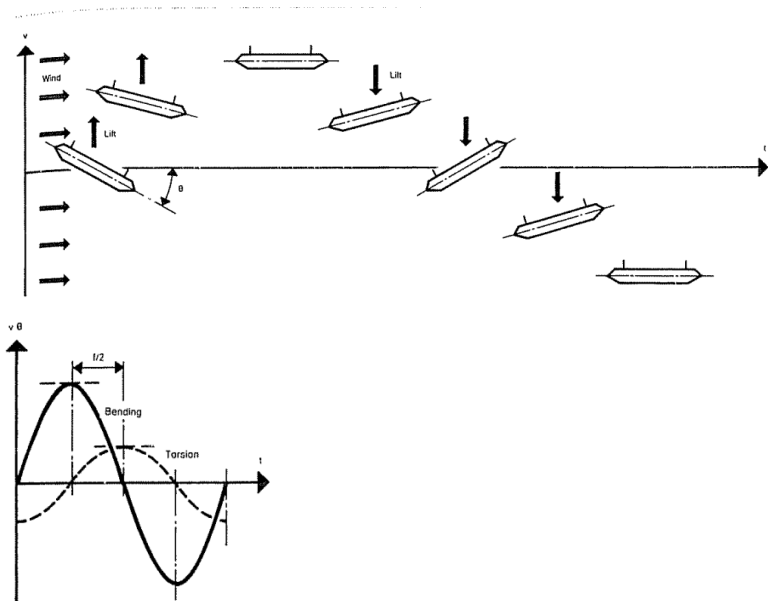


Gambar 4. 70. Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan getaran (Walther, 1999)

Dari kedua grafik diatas didapat kesimpulan bahwa desain jembatan ini dapat diterima (*acceptable*) baik berdasarkan nilai amplitudo (v) vs frekwensi alami lentur balok (f_B) maupun nilai percepatan getaran (\ddot{v}) vs frekwensi alami torsi (f_T).

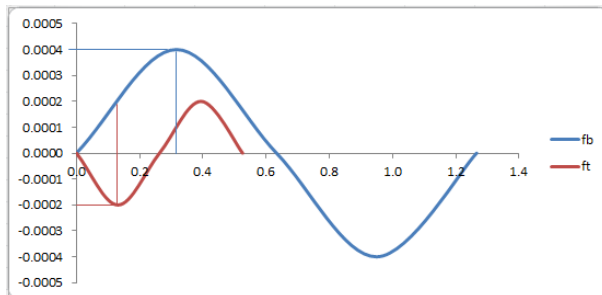
3. Efek *Flutter* (Ayunan)

Fenomena efek ayunan ini yang terjadi pada kecepatan kritis akan menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Maka dari itu desain yang ideal, nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase sebesar $\pi/2$ atau berkisar 1,57 detik. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada Gambar 4.67 berikut ini.



Gambar 4. 71. Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$

Berikut adalah efek *flutter* hasil permodelan midas yang dapat dilihat pada Gambar 4.68.



Gambar 4. 72. Grafik efek flutter $T_{\text{bending}}=1,26$ dan $T_{\text{torsion}}=0,53$

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

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

$$b = 0,5 \text{ lebar lantai kendaraan}$$

Dimana nilai $V_{\text{kritis teoritis}}$ dapat dicari secara grafis dari Gambar 9.14 dan tergantung dari tiga (3) besaran berikut ini :

$$\mu = \frac{m}{\pi \rho b^2}$$

$$= \frac{155000}{\pi \times 13 \times 6,3^2}$$

$$= 95,62$$

$$\delta = 0,05$$

$$r/b = 7,7/6,3$$

$$= 1,22 \text{ dipakai} = 1,00$$

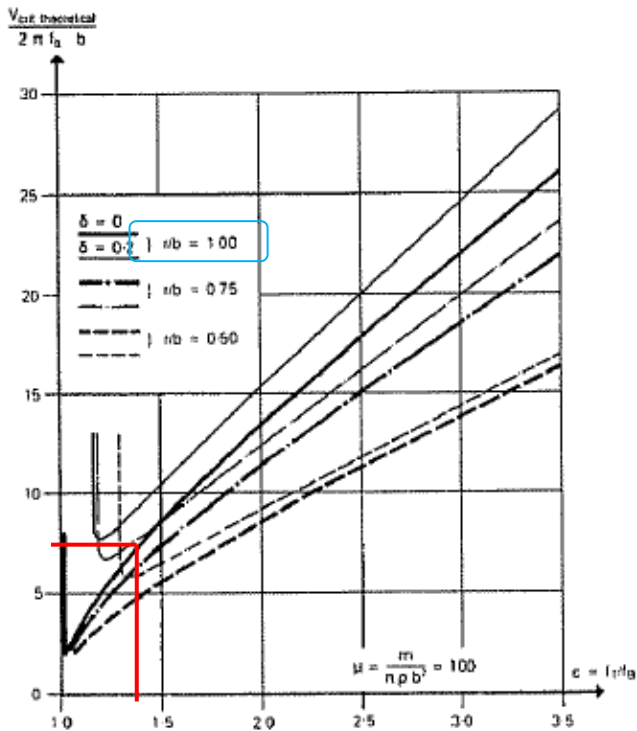
$$\varepsilon = \frac{f_T}{f_B} = \frac{1,34}{0,94} = 1,43$$

Berikut rekapitulasi cek beda fase antara frekwensi lentur (f_B) dengan frekwensi torsi (f_T) dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4. 40. Rekapitulasi nilai ε

| f_B, f_T | $\varepsilon = f_T/f_B$ | f_B, f_T | $\varepsilon = f_T/f_B$ |
|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| f_{B1}, f_{T4} | 2.428 | f_{B17}, f_{T27} | 1.950 |
| f_{B2}, f_{T9} | 3.597 | f_{B20}, f_{T29} | 1.615 |
| f_{B3}, f_{T12} | 4.444 | f_{B21}, f_{T30} | 1.625 |
| f_{B5}, f_{T13} | 2.337 | f_{B22}, f_{T31} | 1.471 |
| f_{B6}, f_{T14} | 1.983 | f_{B24}, f_{T32} | 1.409 |
| f_{B7}, f_{T16} | 2.004 | f_{B26}, f_{T33} | 1.313 |
| f_{B8}, f_{T18} | 2.169 | f_{B28}, f_{T35} | 1.248 |
| f_{B10}, f_{T19} | 2.114 | f_{B34}, f_{T36} | 1.125 |
| f_{B11}, f_{T23} | 2.347 | f_{B38}, f_{T37} | 0.995 |
| f_{B15}, f_{T25} | 1.765 | f_{B40}, f_{T39} | 0.987 |

Untuk menentukan nilai kecepatan kritis teoritis pelu dicari nilai faktor pengali yang didapatkan dari Gambar 4.69 dengan melakukan plot nilai perbandingan frekwensi torsi dengan frekwensi lentur (f_T/f_B) yang telah didapat dari Tabel 4.38.



Gambar 4. 73. Kecepatan kritis teoritis untuk efek ayunan (Walther, 1999)

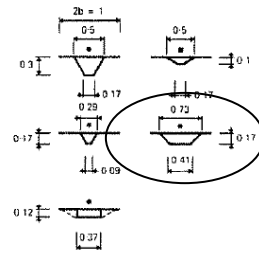
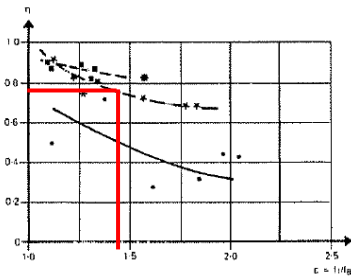
$$\frac{V_{\text{kritis-teoritis-MIDAS}}}{2\pi f_B b} = 7,5 \dots \text{(dari Gambar 9.10)}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{kritis teoritis-MIDAS}} &= 7,5 \cdot (2\pi \cdot f_B \cdot b) \\ &= 7,5 \cdot (2\pi \cdot 0,94 \cdot (0,5 \cdot 12,6)) \end{aligned}$$

$$= 7,5 \cdot (18,036 \text{ m/dt})$$

$$= 279,1 \text{ m/dt}$$

Besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis actual, menggunakan grafik berikut, lihat Gambar 4.70.



Gambar 4. 74. Grafik koefisien koreksi
(Walther, 1999)

Dari grafik diatas, dengan menyesuaikan bentuk penampang yang paling mendekati didapat nilai $\eta = 0,75$.

$$V_{\text{kritis actual-MIDAS}} = 0,75 \cdot 279,1 \text{ m/dt}$$

$$= 209,33 \text{ m/dt}$$

Tetapi pada kondisi nyata, angin tidak selalu mengenai lantai kendaraan dalam arah horizontal secara sempurna. Terkadang nilai α dapat berubah berkisar antara 3° sampai dengan 9° , maka sebagai pembanding coba diambil nilai α rata-rata sebesar 6° . Untuk jenis lantai kendaraan dengan penampang box, perlu ada koreksi sebesar $1/3$ (Walther, 1999).

$$\eta(\alpha = \pm 6^\circ) = (1/3) \cdot 0,75$$

$$= 0,25$$

Sehingga kecepatan aktual :

$$\begin{aligned} V_{\text{kritis actual-MIDAS}} &= 0,25 \cdot 279,1 \text{ m/dt} \\ &= 69,78 \text{ m/dt} \dots (\text{OK}) > V_{\text{desain}} = 29,3 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

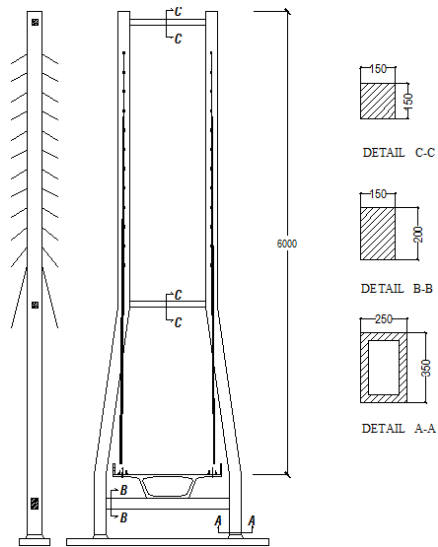
Hal ini menunjukkan bahwa, apabila pada kondisi nyata dilapangan bertiup angin dengan kecepatan 69,78 m/dt, maka akan muncul efek ayunan (*flutter*). Maka dari itu kecepatan angin di lapangan tidak boleh lebih dari itu, sedangkan pada perencanaan telah didesain besarnya kecepatan angin 29,3 m/dt. Sehingga analisa efek ayunan memenuhi. Analisa ini perlu dilanjutkan dengan pembuktian menggunakan model pada terowongan angin, agar diperoleh hasil yang akurat.

4.7 Pylon

4.7.1 Penampang *pylon*

Struktur *pylon* berfungsi memikul 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, *lower cross beam* dan *upper cross beam*. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.71



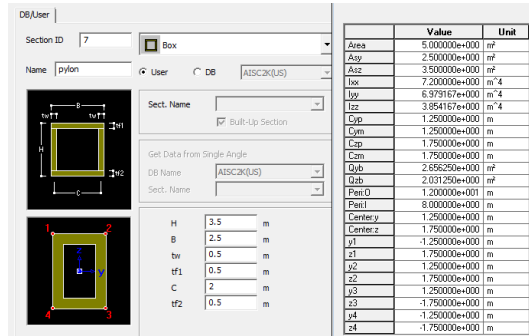
Gambar 4. 75. Dimensi Penampang Pylon (satuan dalam cm)

4.7.2 Analisa penampang *pylon*

1. Penulangan kolom

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 4.72

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.



Gambar 4. 76. Section properties penampang kolom

A. Penulangan lentur

Arah transversal (*braced frame*)

Cek pengaruh kelangsingan

$$\frac{k.l}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots \text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1}$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

l = panjang bebas komponen tekan (60 m)

r = jari-jari girasi penampang (0,87m)

M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil (22344 kNm)

M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar (29180 kNm)

maka,

$$\frac{1.60}{0,87} \leq 34 - 12 \left(\frac{22344}{29180} \right)$$

68,96 > 16,85 ... dianalisa sebagai kolom langsing

Perbesaran momen

$$Q = \frac{\Sigma Pu \cdot \Delta\alpha}{Vu \cdot I} \leq 0,05 \dots \text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2}$$

Dimana:

P_u = gaya tekan terfaktor (39987 kN)

$\Delta\alpha$ = simpangan relatif (0,0351 m)

V_u = gaya geser terfaktor (3297 kN)

I = inersia (3,85 m⁴)

maka,

$$\frac{39987 \cdot 0,0351}{3297 \cdot 3,85} = 0,11 > 0,05 \dots \text{kolom dianggap bergoyang}$$

Prosedur perbesaran momen bergoyang

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4Ec \cdot I}{1 + \beta d} \dots \text{SNI 2847-2013 Pers. 10-15} \\ &= \frac{0,4 \cdot 33234 \cdot 10^6 \cdot 3,85}{1 + 0,5} = 3,4 \cdot 10^{10} \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l)^2} \dots \text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 3,4 \cdot 10^{10}}{(1,60)^2} = 9,32 \cdot 10^7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor perbesaran momen

$$\delta ns = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75Pc}} \geq 1,0.. \text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13}$$

Cm diambil sebesar 1,0 untuk komponen dengan beban transversal diantara tumpuannya.

Maka,

$$\delta ns = \frac{1}{1 - \frac{39987}{0,75 \cdot 9,32 \cdot 10^7}} = 1,001$$

Momen desain

$$M_c = \delta ns \cdot M_u$$

$$= 1,001 \cdot 29180 \text{ kNm} = 29209 \text{ kNm}$$

Arah longitudinal (*unbraced frame*)

Cek pengaruh kelangsingan

$$\frac{k \cdot l}{r} \leq 22 \text{ ...SNI 2847-2013 Ps.10.10.1}$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1,75)

l = panjang bebas komponen tekan (60 m)

r = jari-jari girasi penampang (1,18m)

maka,

$$\frac{1.60}{1,18} \leq 22$$

88,98 > 22 ... dianalisa sebagai kolom langsing

Prosedur perbesaran momen bergoyang

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4Ec.I}{1+\beta d} \dots \text{SNI 2847-2013 Pers. 10-15} \\ &= \frac{0,4.33234.10^6.6,98}{1+0,5} = 6,2.10^{10} \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2.EI}{(k.l)^2} \dots \text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13} \\ &= \frac{\pi^2.6,2.10^{10}}{(1.60)^2} = 16,9.10^7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{Pu}{0,75P_c}} \geq 1,0 \dots \text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13}$$

C_m diambil sebesar 1,0 untuk komponen dengan beban transversal diantara tumpuannya.

Maka,

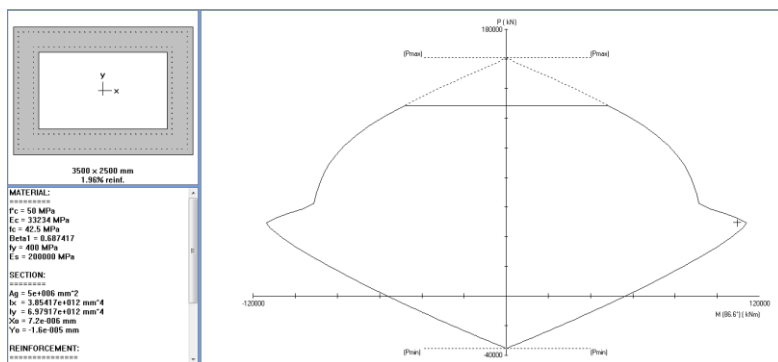
$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{49659}{0,75.16,9.10^7}} = 1,003$$

Momen desain

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

$$= 1,003 \cdot 108822 \text{ kNm} = 109250 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D25 dan tulangan transversal menggunakan D25. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 47.3.



Gambar 4. 77. Hasil analisa kolom pada program bantu *spColumn*

Dari hasil analisa didapat :

200 buah D25 (1,96 %) dengan $A_s = 98175 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{3500 - 2 \cdot 100 - 2 \cdot 25 - 23 \cdot 36}{23 - 1}$$

$$= 110 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

B. Penulangan geser

Arah transversal

$$N_u = 39674 \text{ kN}$$

$$V_u = 5267 \text{ kN}$$

Kuat geser beton berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'c} b d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{39674}{14 \cdot 5 \cdot 10^6} \right) 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 389 \cdot 3389 = 1586 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena $V_u > \phi V_c$, maka perlu tulangan geser.

Syarat,

$$V_u \leq \phi V_n$$

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

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

$$= 5267 \cdot 10^3 / 0,85 - 1586 \cdot 10^3$$

$$= 4611 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Digunakan sengkang 4 kaki

$$A_v = 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2$$

$$= 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 25^2 = 1962 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{1962 \cdot 400 \cdot 889}{4611 \cdot 10^3} = 151 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

- $8D \text{ lentur} = 8.25\text{mm} = 200 \text{ mm}$
- $24D \text{ sengkang} = 24.22\text{mm} = 528 \text{ mm}$
- $\frac{1}{2} \text{ dimensi kolom terkecil} = 2500/2 = 1250 \text{ mm}$
- 300 mm

Diambil spasi terkecil yaitu 200 mm

Maka digunakan sengkang 4D25-100

Arah longitudinal

$$N_u = 8860 \text{ kN}$$

$$V_u = 6768 \text{ kN}$$

Kuat geser beton berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{8860}{14.5.10^6} \right) 1. \sqrt{50}. 389. 2389 = 1117\text{kN} \end{aligned}$$

Karena $V_u > \phi V_c$, maka perlu tulangan geser.

Syarat,

$$V_u \leq \phi V_n$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= V_u / \phi - V_c \\ &= 6768.10^3 / 0,85 - 1117.10^3 \\ &= 6845.10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang 4 kaki

$$A_v = 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2$$

$$= 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 25^2 = 1962 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{1962 \cdot 400 \cdot 889}{6845 \cdot 10^3} = 102 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D lentur = 8.25mm = 200 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 2500/2 = 1250 mm
- 300 mm

Diambil spasi terkecil yaitu 200 mm

Maka digunakan sengkang 4D25-100

C. Penulangan torsi

$$T_u = 6812 \text{ kNm}$$

Desain tulangan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.5

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$6812 \text{ kNm} \leq 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{5000000^2}{12000} \right)$$

6812 kNm > 1039 kNm.. . maka perlu tulangan torsi

$$T_n = T_u / \phi$$

$$= 6812 / 0,85 = 8015 \text{ kNm}$$

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot (2389 \cdot 3389) = 6881873 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot\theta, \text{ maka}$$

$$A_t/s = \frac{T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot\theta} = \frac{8015000000}{2.6881873.400 \cdot \cot 45} = 1,46 \text{ mm}^2$$

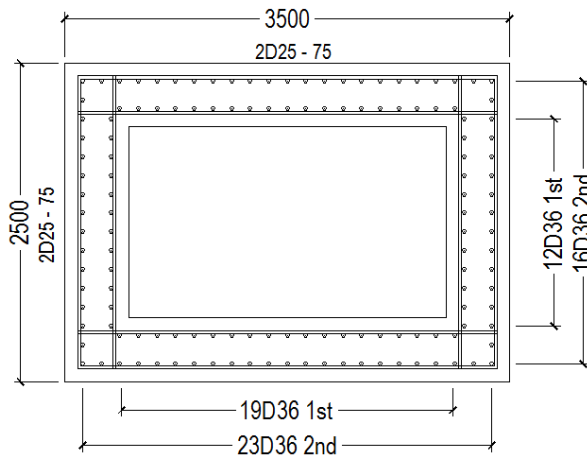
Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2\theta$$

$$= 1,46 \cdot (2 \cdot (2389 + 3389)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 = 16872 \text{ mm}^2$$

Sehingga untuk mengakomodasi tulangan puntir dan untuk memudahkan pelaksanaan digunakan tulangan lentur 132 buah D36 (2,69 %) dengan $A_s = 134376 \text{ mm}^2$ dan sengkang 4 D25-75

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.74.



Gambar 4. 78. Desain penulangan kolom

2. Penulangan lower cross beam

Berikut adalah propertis dari penampang *lower cross beam* yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 47.5.

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.

| | Value | Unit |
|----------|----------------|----------------|
| Area | 3.000000e+000 | m ² |
| Asy | 2.500000e+000 | m ² |
| Asz | 2.500000e+000 | m ² |
| Ixx | 1.214807e+000 | m ⁴ |
| Iyy | 1.000000e+000 | m ⁴ |
| Izz | 5.625000e+001 | m ⁴ |
| Cxx | 7.500000e+001 | m |
| Cyy | 7.500000e+001 | m |
| Czz | 1.000000e+000 | m |
| Jxx | 1.000000e+000 | m ² |
| Jyy | 5.000000e+001 | m ² |
| Jzz | 2.812500e+001 | m ² |
| PlexI | 7.000000e+000 | m |
| PlexI | 0.000000e+000 | m |
| Center.y | 7.500000e+001 | m |
| Center.z | 1.000000e+000 | m |
| y1 | -7.500000e+001 | m |
| z1 | 1.000000e+000 | m |
| y2 | 7.500000e+001 | m |
| z2 | 1.000000e+000 | m |
| y3 | 7.500000e+001 | m |
| z3 | -1.000000e+000 | m |
| y4 | -7.500000e+001 | m |
| z4 | -1.000000e+000 | m |

Gambar 4. 79. Section properties penampang lower cross beam

Berikut adalah gaya dalam yang bekerja hasil analisa program bantu MIDAS/CIVIL

- $P_u = 3388$ kN
- $M_u = 2951$ kNm
- $V_u = 1358$ kN
- $T_u = 39,33$ kNm

Komponen struktur yang mengalami tekan dapat diabaikan apabila gaya tekan yang terjadi kurang dari:

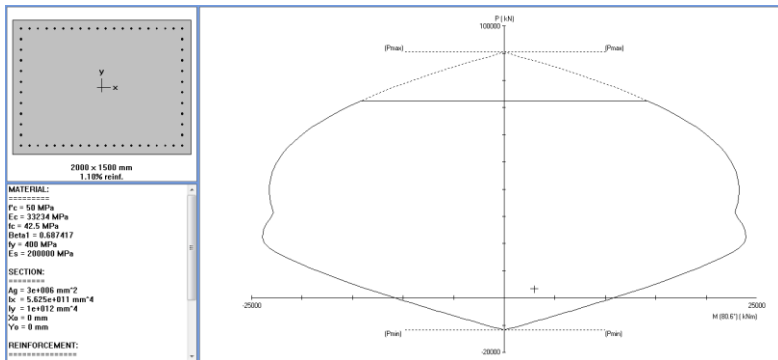
$$P_u < 0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$$

$$3388 \cdot 10^3 < 0,1 \cdot 50 \cdot 3 \cdot 10^6$$

$$3388 \cdot 10^3 < 15000 \cdot 10^3 \dots \text{maka gaya aksial dapat diabaikan}$$

A. Penulangan lentur

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D25 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 47.6.



Gambar 4. 80. Hasil analisa lower cross beam pada program bantu *spColumn*

Dari hasil analisa didapat :

$$60 \text{ D25 (1,10 \%)} A_s = 32885 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1} \\
 &= \frac{2000 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 22 - 20 \cdot 25}{20 - 1} \\
 &= 68,7 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

B. Penulangan geser

Kuat geser beton berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d = 0$$

Karena $V_u > \phi V_c$, maka perlu tulangan geser.

Syarat,

$$V_u \leq \phi V_n$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= V_u / \phi - V_c \\ &= 1358.10^3 / 0,85 - 0 \\ &= 1598.10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2 \\ &= 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 22^2 = 1519 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{1519 \cdot 400 \cdot 1892}{1598 \cdot 10^3} = 719 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D lentur = 8.25mm = 200 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 2500/2 = 1250 mm
- 300 mm

Diambil spasi terkecil yaitu 200 mm

Maka digunakan sengkang 4D22-200

C. Penulangan torsi

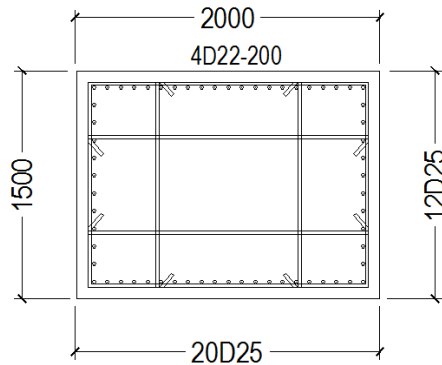
Desain tulangan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.5

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$39,33 \text{ kNm} \leq 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{3000000^2}{7000} \right)$$

39,33 kNm < 641 kNm.. . maka tidak perlu tulangan torsi

Berikut hasil penulangan *lower cross beam*, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 47.7.

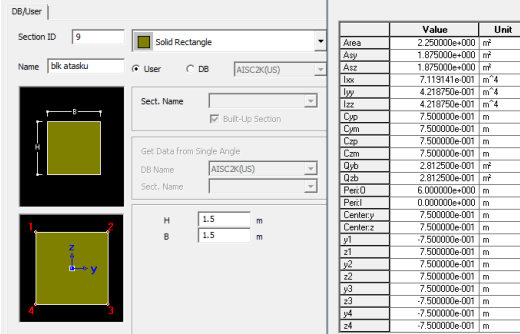


Gambar 4. 81. Desain penulangan lower cross beam

3. Penulangan upper cross beam

Berikut adalah propertis dari penampang *upper cross beam* yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 4.78.

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa



| | Value | Unit |
|----------|----------------|----------------|
| Area | 2.250000e+000 | m ² |
| Asy | 1.875000e+000 | m ² |
| Asz | 1.875000e+000 | m ² |
| Ixx | 7.119141e+001 | m ⁴ |
| Iyy | 4.218750e+001 | m ⁴ |
| Izz | 4.218750e+001 | m ⁴ |
| Cyp | 7.500000e+001 | m |
| Cym | 7.500000e+001 | m |
| Cxp | 7.500000e+001 | m |
| Cxm | 7.500000e+001 | m |
| Qyb | 2.812500e+001 | m ³ |
| Qzb | 2.812500e+001 | m ³ |
| PeriO | 6.000000e+000 | m |
| PeriI | 0.000000e+000 | m |
| Center/y | 7.500000e+001 | m |
| Center/z | 7.500000e+001 | m |
| y1 | -7.500000e+001 | m |
| z1 | 7.500000e+001 | m |
| y2 | 7.500000e+001 | m |
| z2 | 7.500000e+001 | m |
| y3 | 7.500000e+001 | m |
| z3 | -7.500000e+001 | m |
| y4 | -7.500000e+001 | m |
| z4 | -7.500000e+001 | m |

Gambar 4. 82. Section properties penampang upper cross beam

Berikut adalah gaya dalam yang bekerja hasil analisa program bantu MIDAS/CIVIL

- $P_u = 3598 \text{ kN}$
- $M_u = 16948 \text{ kNm}$
- $V_u = 3388 \text{ kN}$
- $T_u = 236 \text{ kNm}$

Komponen struktur yang mengalami tekan dapat diabaikan apabila gaya tekan yang terjadi kurang dari:

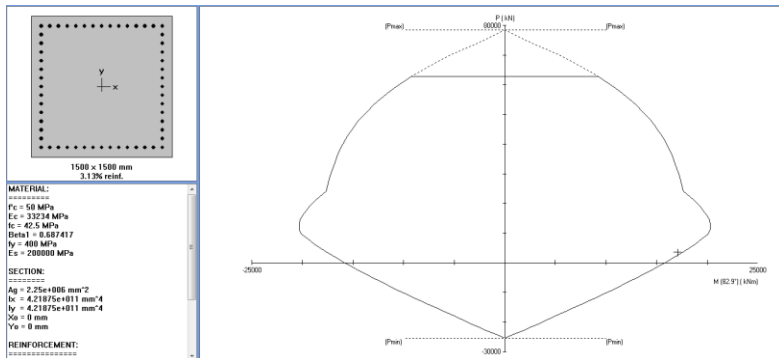
$$P_u < 0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$$

$$3598 \cdot 10^3 < 0,1 \cdot 50 \cdot 2,25 \cdot 10^6$$

$$3598 \cdot 10^3 < 11250 \cdot 10^3 \dots \text{maka gaya aksial dapat diabaikan}$$

A. Penulangan lentur

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D40 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.79.



Gambar 4. 83. Hasil analisa upper cross beam pada program bantu *spColumn*

Dari hasil analisa didapat :

$$56 \text{ D40 (1,10 \%) } A_s = 70371 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{1500 - 2.75 - 2.22 - 15.40}{15 - 1}$$

$$= 50,4 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

B. Penulangan geser

Kuat geser beton berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c} b d = 0$$

Karena $V_u > \phi V_c$, maka perlu tulangan geser.

Syarat,

$$V_u \leq \phi V_n$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= V_u / \phi - V_c \\ &= 3388.10^3 / 0,85 - 0 \\ &= 3985.10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2 \\ &= 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 22^2 = 1519 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{1519 \cdot 400 \cdot 1383}{3985 \cdot 10^3} = 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.5.2

- 8D lentur = 8.25mm = 200 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 2500/2 = 1250 mm
- 300 mm

Diambil spasi terkecil yaitu 200 mm

Maka digunakan sengkang 4D22-200

C. Penulangan torsi

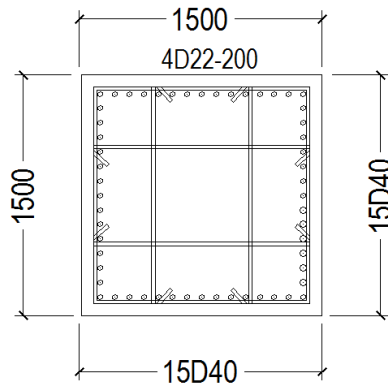
Desain tulangan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 11.5

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$236 \text{ kNm} \leq 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{2250000^2}{6000} \right)$$

236 kNm < 429 kNm.. . maka tidak perlu tulangan torsi

Berikut hasil penulangan *upper cross beam*, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.80.



Gambar 4. 84. Desain penulangan upper cross beam

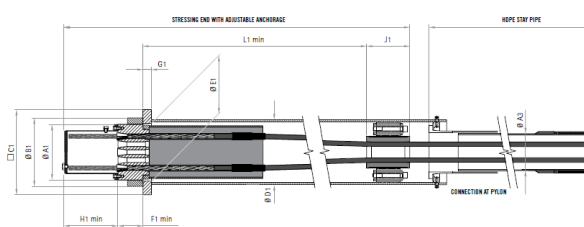
4.7.3 Analisa angkur pada pylon

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya *stressing* nya yang telah dihitung. Perencanaan ini meliputi cek tegangan beton saat *stressing* serta kebutuhan tulangan pincar (*bursting*) dan tulangan pecah (*spalling*).

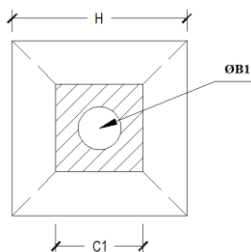
Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angker yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.39 dan Tabel 4.40 serta Gambar 4.81 dan Gambar 4.82.

Tabel 4. 41. Gaya tarik dari A_{aktual} pada *pylon*

| Kabel | Gaya |
|-------|-------------|
| m12 | 6692.12 kN |
| m11 | 9734.31 kN |
| m10 | 13015.19 kN |
| m9 | 10153.82 kN |
| m8 | 7880.63 kN |
| m7 | 6572.06 kN |
| m6 | 6864.06 kN |
| m5 | 7760.78 kN |
| m4 | 7455.06 kN |
| m3 | 6599.34 kN |
| m2 | 6349.39 kN |
| m1 | 6483.56 kN |
| s1 | 5422.42 kN |
| s2 | 11835.35 kN |
| s3 | 10211.87 kN |
| s4 | 12236.17 kN |
| s5 | 14010.40 kN |



Gambar 4. 85. Detail angker VSL SSI 2000 yang digunakan



Gambar 4. 86. Notasi dimensi anker

Tabel 4. 42. Spesifikasi anker VSL SSI 2000 yang digunakan
Stay Stressing End

| TENDON UNIT | Number of strands n | Minimum breaking load kN | Force at 45% kN | Transverse force kN | TENDON UNIT | Ø A1 mm | Ø B1 mm | C1 mm | Ø D1 mm | Ø E1 mm | F1 min mm | G1 min mm | H1 min mm | J1 mm | L1 min mm |
|-------------|---------------------|--------------------------|-----------------|---------------------|-------------|---------|---------|-------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|
| 6-12 | 12 | 3,348 | 1,507 | 50 | 6-12 | 190 | 230 | 290 | 219.1/6.3 | 196 | 85 | 30 | 235 | 160 | 1,500 |
| 6-19 | 19 | 5,301 | 2,385 | 80 | 6-19 | 235 | 285 | 355 | 267/6.3 | 241 | 100 | 35 | 245 | 180 | 1,750 |
| 6-22 | 22 | 6,138 | 2,762 | 90 | 6-22 | 255 | 310 | 385 | 298.5/7.1 | 261 | 110 | 40 | 245 | 210 | 1,900 |
| 6-31 | 31 | 8,649 | 3,892 | 130 | 6-31 | 285 | 350 | 440 | 323.9/7.1 | 291 | 130 | 45 | 275 | 210 | 2,100 |
| 6-37 | 37 | 10,323 | 4,645 | 150 | 6-37 | 310 | 380 | 485 | 355.6/8.0 | 316 | 140 | 50 | 295 | 210 | 2,300 |
| 6-43 | 43 | 11,997 | 5,399 | 180 | 6-43 | 350 | 425 | 540 | 406.4/8.8 | 356 | 145 | 55 | 305 | 210 | 2,550 |
| 6-55 | 55 | 15,345 | 6,905 | 230 | 6-55 | 385 | 470 | 585 | 419/10 | 391 | 165 | 60 | 325 | 260 | 2,650 |
| 6-61 | 61 | 17,019 | 7,659 | 250 | 6-61 | 385 | 470 | 600 | 419/10 | 391 | 180 | 65 | 345 | 260 | 2,850 |
| 6-73 | 73 | 20,367 | 9,165 | 300 | 6-73 | 440 | 530 | 680 | 508/11 | 446 | 180 | 75 | 345 | 290 | 3,050 |
| 6-85 | 85 | 23,715 | 10,672 | 350 | 6-85 | 440 | 540 | 710 | 508/11 | 446 | 210 | 80 | 375 | 290 | 3,150 |
| 6-91 | 91 | 25,389 | 11,425 | 375 | 6-91 | 490 | 590 | 760 | 559/12.5 | 496 | 195 | 80 | 385 | 320 | 3,400 |
| 6-109 | 109 | 30,411 | 13,685 | 450 | 6-109 | 505 | 610 | 795 | 559/12.5 | 511 | 215 | 90 | 400 | 320 | 3,550 |
| 6-127 | 127 | 35,433 | 15,945 | 525 | 6-127 | 560 | 670 | 865 | 610/12.5 | 566 | 255 | 95 | 410 | 340 | 3,950 |

Contoh perhitungan angkur kabel s5 dengan tendon 6-127

$$T = 14010 \text{ kN}$$

$$H = 900 \text{ mm}$$

$$\varnothing B1 = 670 \text{ mm}$$

$$A2 = H \times H = 8,1 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$C1 = 865 \text{ mm}$$

$$A1 = (C1 \times C1) - \text{area } \varnothing B1 = 395660 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan 85% f_c'

$$f_{ci} = 85\% \times 50 \text{ Mpa} = 42,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A2}{A1} - 0,2}$$

$$= 0,8 \cdot 42,5 \cdot \sqrt{\frac{810000}{395660} - 0,2} = 46,2 \text{ MPa}$$

Tegangan di bawah plat angker

$$f_t = T/A1$$

$$= 14010000 / 395660 = 35,41 \text{ MPa}$$

Syarat, $f_t < f_{cp} = 46,2 \text{ Mpa}$ (memenuhi)

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada Tabel 4.41

Tabel 4. 43. Kontrol tegangan beton saat *stressing* pada kabel di *pylon*

| Kabel | Angkur (strand) | Gaya (kN) | fcp (Mpa) | ft (Mpa) | Kontrol (ft<fcp) |
|-------|--------------------|--------------|--------------|-------------|---------------------|
| m12 | 61 | 6692.12 | 69.19 | 35.86 | OK |
| m11 | 85 | 9734.31 | 56.31 | 35.37 | OK |
| m10 | 127 | 13015.19 | 46.20 | 32.88 | OK |
| m9 | 91 | 10153.82 | 53.34 | 33.36 | OK |
| m8 | 73 | 7880.63 | 60.33 | 32.58 | OK |
| m7 | 61 | 6572.06 | 69.19 | 35.22 | OK |
| m6 | 61 | 6864.06 | 69.19 | 36.79 | OK |
| m5 | 73 | 7760.78 | 60.33 | 32.08 | OK |
| m4 | 73 | 7455.06 | 60.33 | 30.82 | OK |
| m3 | 61 | 6599.34 | 69.19 | 35.37 | OK |
| m2 | 55 | 6349.39 | 72.91 | 37.61 | OK |
| m1 | 61 | 6483.56 | 69.19 | 34.75 | OK |
| s1 | 55 | 5422.42 | 72.91 | 32.12 | OK |
| s2 | 127 | 11835.35 | 46.20 | 29.90 | OK |
| s3 | 127 | 10211.87 | 46.20 | 25.80 | OK |
| s4 | 127 | 12236.17 | 46.20 | 30.91 | OK |
| s5 | 127 | 14010.40 | 46.20 | 35.39 | OK |

Perhitungan tulangan daerah pengankuran berdasarkan SNI 03 2847-2002 Ps.20.13.3.2

Kebutuhan tulangan pencar

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{c1}{h}\right)$$

$$= 0,25 \cdot 14010 \cdot \left(1 - \frac{865}{900}\right) = 136,21 \text{ kN}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h-2e)$$

$$= 0,5 \cdot (900 - 2 \cdot 0) = 450 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang penutup D12 dengan $A_s = 226 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= T_{\text{pencar}} / f_y \\
 &= 136210 / 400 = 340,52 \text{ mm}^2 \\
 n &= \text{As perlu} / \text{As pakai} \\
 &= 340,52 / 226 \\
 &= 1,5 \sim 2 \text{ sengkang dekat ujung angkur}
 \end{aligned}$$

spasi antar sengkang

$$\begin{aligned}
 s &= d_{\text{pencar}} / n \\
 &= 450 / 1,5 = 298 \sim 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

maka dipasang sengkang 2D12-250

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%T

$$2\%T = 2\% \cdot 14010 \text{ kN} = 280,2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= 2\%T / f_y \\
 &= 280200 / 400 = 700,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan UD12 dengan $\text{As} = 113 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 n &= \text{As perlu} / \text{As pakai} \\
 &= 700,5 / 113 = 6,2 \sim 7 \text{ buah tulangan U}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lainnya ditabelkan pada lampiran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Ringkasan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Bentang total jembatan sepanjang 144 m dengan main span sepanjang 121,5 m dan *side span* sepanjang 22,5 m.
2. Lebar total jembatan selebar 12,6 m dengan lebar jalan 8,1m untuk lajur 2/2 UD.
3. Digunakan kabel penggantung VSL SSI 2000 tipe ASTM A 416-06 Grade 270 dengan jumlah strand bervariasi antara 55-127 strand.
4. Digunakan tendon prategang VSL *posttension* tipe ASTM A 416-06 Grade 270 unit 6-27 untuk flens atas dan 6-55 untuk flens bawah.
5. Digunakan beton *precast* f_c' 80MPa pada gelagar dan beton *cast in situ* f_c' 50MPa pada *pylon*.
6. Digunakan mutu tulangan f_y 400 MPa untuk tulangan utama maupun sengkang pada gelagar dan *pylon*.
7. Digunakan tulangan lentur pada flens D22-50, D22-70 pada web dan sengkang D25-100.
8. Digunakan tulangan 132D36 dan sengkang 4D25-75 pada kolom *pylon*, tulangan 60D25 dan sengkang 4D22-200 pada *lower cross beam*, serta tulangan 56D40 dan sengkang 4D22-200 pada *top cross beam*.
9. Digunakan angkur pada *deck* dan *pylon* tipe DRT *stay cable system* VSL SSI 2000.
10. Digunakan perletakan *pot bearing* GOODCO Z-TECH tipe PMCG 20000 *series unidirectional*.
11. Digunakan MAURER expansion joint tipe DS160 dengan toleransi perpindahan sebesar 160 mm.

12. Berdasarkan analisa stabilitas aerodinamis menunjukkan perbandingan antara frekuensi alami torsi (f_t) dengan frekuensi alami lentur (f_b) sebesar 2,43 dengan $V_{rencana}$ sebesar 29,3 m/s $< V_{kritis-aktual}$ sebesar 69,78m/s sehingga tidak mengalami *flutter/ayunan*. Sedangkan klasifikasi efek psikologis baik berdasarkan amplitudo maupun percepatan getaran masuk dalam kategori dapat diterima (*acceptable*).
13. Berdasarkan analisa 1 kabel putus, jembatan dengan spesifikasi diatas masih dalam kondisi aman terhadap kontrol tegangan beton, momen batas, dan momen *crack*.

5.2 Saran

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan, yaitu:

1. Konfigurasi dan jenis beban dapat ditambah agar desain menjadi lebih teliti.
2. Untuk desain asimetris *cable-stayed* sebaiknya bentuk *pylon* dimiringkan ke arah *side span* agar momen pada *pylon* tidak terlalu besar.
3. Penetapan jumlah *strand* sebaiknya ditambah sekitar 5% dari jumlah *strand* perlu untuk mengantisipasi penambahan *strand* dikemudian hari.
4. Selain analisa aerodinamis secara manual, ada baiknya dilakukan uji *wind tunnel* dengan jembatan berskala.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 2012. *AASHTO LRFD Bridge Design Specification*,. 7th ed. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO-PCI-ASBI Standard Segment For Span-By-Span Construction, 2011.
- Benaim, Robert. 2008. *The Design of Prestressed Concrete Bridges*.
- Bridge Management System. **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan**. BMS 1992. Departemen PU Dirjen Bina Marga.
- Budiadi, Andri. 2008. **Desain Praktis Beton Prategang**.
- Gimsing, N.J. 1983. **Cable Supported Bridges, Concepts and Design**, John Wiley and Sons, New York.
- Gimsing, Neils J. , 1999. *Cable Stayed Bridges- Past, Present and Future. Proceedings of the International Association for Bridge and Structural Engineering*, Juni.
- Gimsing, Neils J. , dan Christos T. Georgakis. 2012. *Cable Suported Bridge Concept and Design Third Edition*. Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- Juvani, Jani, dan Olli Lipponen. 2012. “*Cable Stayed Bridge*”. Alto University 7 (November).
- Leonhardt, F., 1987. *Cable Stayed Bridges With Prestressed Concrete. Journal of the Prestressed Concrete Institute*, September-Oktober.
- Ma’arif, Faqih. 2012. “**Analisa Struktur Jembatan**”. Universitas Negeri Yogyakarta (Juli).
- Muller, J. M., 2006. *Historical-Technical Series. Journal of the Prestressed Concrete Institute*, Maret-April.
- Ned, T. L. & Burn, H., 1993. *Desain Struktur Beton Prategang. Third ed*. Jakarta: Erlangga.

- Parke, Gerard, dan Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering Second Edition*. London, Thomas Telford Ltd.
- Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015. **Perencanaan Jembatan Beruji Kabel.**
- Podolny Jr, Walter dan Muller, Jean M. 1982. *Prestress Concrete Segmental Bridge, USA*.
- Reis, A.J. & Pedro, J. O., 2001. *Asymmetric and Curved Cable Stayed Bridges. Proceedings of the International Association for Bridge and Structural Engineering*, Januari.
- Rombach, G., 2002. **Precast segmental box girder bridges with external prestressing.** *INSA Rennes*, p. 1.
- RSNI T-12-2004, **Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.**
- RSNI 2833-2013. **Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.** Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- SNI 1725-2016, **Pembebanan untuk Jembatan.**
- SNI 2847-2013, **Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.**
- Soegiharjo, H, Irawan D, Harwijono. 2007. **Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang.** Jurusan Teknik Sipil ITS
- Strasky, J., 1993. *Design and Construction of Cable Stayed Bridges in the Czech Republic. Journal of the Prestressed Concrete Institute*, Nopember-Desember.
- Troitsky, M.S. .1988. *Cable-stayed Bridge Theory and Design*. London, BSp Professional Books.
- Walter, R. , Houriet, Isler, Moia, Klein. 1999. *Cable Stayed Bridge Second Edition*. London, Thomas Telford Publishing.
- Yuskar dan Andi, 2005. *Kajian Sambungan Antara Pilar dan Kabel Pada Jembatan Cable Stayed*, Jakarta: Universitas Indonesia.

BIODATA PENULIS



Lahir pada tanggal 2 Januari 1994 di Surabaya, penulis merupakan anak sulung dari lima bersaudara. Bernama lengkap Mohammad Akbar Alrasyidi, penulis yang akrab di panggil Akbar ini pernah mengeyam pendidikan di bangku SD Islam Al-Azhar Surabaya sebelum pindah ke SDN Ketabang I Surabaya, juga di bangku SMPN 9 Surabaya serta di bangku SMAN 1 Surabaya. Selepas bangku SMA, penulis melanjutkan studinya di D3 Teknik Sipil FTSP-ITS selama 3 tahun dan meneruskannya ke jenjang sarjana di jurusan Teknik Sipil ITS. Penulis juga aktif berorganisasi di setiap jenjang pendidikannya. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis juga senang menghabiskan waktu untuk berolahraga dan menonton film.

LAMPIRAN

- Lampiran A – Kontrol diagram tegangan
- Lampiran B – Kontrol momen crack dan momen batas
- Lampiran C – Tulangan daerah pengankuran
- Lampiran D – Brosur tendon prategang dan angkurnya
- Lampiran E – Brosur kabel penggantung dan angkurnya
- Lampiran F – Brosur perletakan
- Lampiran G – Brosur expansion joint
- Lampiran H – Contoh desain blok angkur
- Lampiran I – Flowchart permodelan midas

A

momen positif terbesar

| elemen | A | y_x | y_y | I | M_x | ebawah | atas | n bawah | Fbawah | n atas | Fatas | Δ_{u1} | Δ_{u2} | Δ_{u3} | CR | SH | RE | f_{u1} | Fst | f_{u2} (Mpa) | Kontrol | | |
|--------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------|--------|------|---------|----------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------|-------|-------|----------|-----------|----------------|---------|-------|-------|
| | (m ²) | (m) | (m) | (m ⁴) | KNm | m | m | | kN | | kN | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | kN | Atlas | Bawah | Atlas | Bawah |
| 214 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 949 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 25.99 | 26.81 | 41.67 | 38.45 | 23.74 | 33.31 | 1299.74 | 40051.93 | -10.362 | -21.768 | OK | OK |
| 213 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 947 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 19.62 | 26.81 | 41.67 | 27.62 | 23.74 | 34.00 | 1316.25 | 40540.37 | -7.882 | -22.037 | OK | OK |
| 215 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 934 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 19.42 | 26.81 | 41.67 | 29.30 | 23.74 | 33.94 | 1314.62 | 40485.55 | -7.802 | -22.170 | OK | OK |
| 212 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 453 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 12.53 | 26.81 | 41.67 | 16.27 | 23.74 | 34.75 | 1323.94 | 41085.47 | -5.072 | -22.891 | OK | OK |
| 216 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -2141 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 15.00 | 26.81 | 41.67 | 20.88 | 23.74 | 34.46 | 1327.16 | 20438.24 | -5.993 | -12.051 | OK | OK |
| 211 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -4100 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 23.71 | 26.81 | 41.67 | 34.23 | 23.74 | 33.67 | 1305.99 | 40224.36 | -9.390 | -23.664 | OK | OK |
| 217 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -7065 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 25.50 | 26.81 | 41.67 | 34.16 | 23.74 | 33.50 | 1304.33 | 20086.69 | -10.046 | -13.628 | OK | OK |
| 210 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -12557 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.64 | 26.81 | 41.67 | 24.47 | 23.74 | 34.25 | 1322.12 | 20360.72 | -6.470 | -15.712 | OK | OK |
| 218 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -16187 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 21.37 | 26.81 | 41.67 | 23.26 | 23.74 | 34.11 | 1318.76 | 20308.87 | -8.337 | -16.983 | OK | OK |
| 209 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10807 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.07 | 26.81 | 41.67 | 15.55 | 23.74 | 34.83 | 1336.04 | 20514.95 | -4.317 | -15.198 | OK | OK |
| 219 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -11028 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 17.34 | 26.81 | 41.67 | 19.50 | 23.74 | 34.42 | 1326.23 | 20423.96 | -6.820 | -15.206 | OK | OK |
| 208 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10810 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.07 | 26.81 | 41.67 | 15.75 | 23.74 | 34.83 | 1335.85 | 20572.03 | -4.317 | -15.197 | OK | OK |
| 220 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -8089 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.68 | 26.81 | 41.67 | 23.62 | 23.74 | 34.20 | 1320.99 | 20343.29 | -7.374 | -14.112 | OK | OK |
| 207 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -12631 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.61 | 26.81 | 41.67 | 26.34 | 23.74 | 34.18 | 1320.37 | 20333.67 | -6.464 | -15.724 | OK | OK |
| 221 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 7 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 33786.72 | 15.97 | 26.81 | 41.67 | 11.89 | 23.74 | 34.78 | 1334.65 | 20556.74 | -9.001 | -11.368 | OK | OK |
| 206 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10444 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 17.60 | 26.81 | 55.56 | 27.57 | 23.74 | 34.09 | 1304.35 | 20086.98 | -6.789 | -14.812 | OK | OK |
| 205 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10105 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.39 | 26.81 | 55.56 | 17.62 | 23.74 | 34.74 | 1319.86 | 20325.77 | -4.391 | -14.811 | OK | OK |
| 204 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -9639 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 17.97 | 26.81 | 55.56 | 27.05 | 23.74 | 34.09 | 1304.50 | 20089.24 | -6.955 | -14.528 | OK | OK |
| 203 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -4918 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 20.11 | 26.81 | 55.56 | 31.59 | 23.74 | 33.82 | 1298.08 | 19990.48 | -7.848 | -12.800 | OK | OK |
| 202 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -2884 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 14.66 | 26.81 | 55.56 | 22.82 | 23.74 | 34.40 | 1311.73 | 20200.59 | -5.773 | -12.183 | OK | OK |
| 201 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -1780 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 21.54 | 26.81 | 55.56 | 34.01 | 23.74 | 33.67 | 1294.38 | 19933.51 | -8.463 | -11.646 | OK | OK |
| 200 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 4629 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 24.43 | 26.81 | 55.56 | 37.60 | 23.74 | 33.41 | 1288.16 | 19837.72 | -9.674 | -9.333 | OK | OK |
| 199 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 8295 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 19.72 | 26.81 | 55.56 | 29.76 | 23.74 | 33.91 | 1300.21 | 20023.18 | -7.912 | -8.123 | OK | OK |
| 198 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 10893 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 27.27 | 26.81 | 55.56 | 41.97 | 23.74 | 33.12 | 1281.25 | 19713.33 | -10.873 | -7.054 | OK | OK |
| 197 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 2133 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 32.00 | 26.81 | 55.56 | 48.86 | 23.74 | 32.65 | 1270.10 | 19559.48 | -12.871 | -3.259 | OK | OK |
| 196 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 29423 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 26.16 | 26.81 | 55.56 | 39.52 | 23.74 | 33.26 | 1284.67 | 39567.85 | -10.812 | -11.935 | OK | OK |
| 195 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 37670 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 36.26 | 26.81 | 55.56 | 56.33 | 23.74 | 32.17 | 1258.84 | 38772.33 | -14.878 | -8.047 | OK | OK |
| 194 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 52182 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 42.84 | 26.81 | 55.56 | 66.77 | 23.74 | 31.49 | 1242.51 | 38269.34 | -17.670 | -2.626 | OK | OK |
| 193 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 69980 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 6 | 33786.72 | 37.32 | 26.81 | 55.56 | 57.94 | 23.74 | 32.07 | 1256.29 | 38040.38 | -15.760 | -10.381 | OK | OK |
| 192 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 67691 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 46.72 | 26.81 | 55.56 | 74.26 | 23.74 | 31.03 | 1231.59 | 36899.37 | -19.556 | -7.387 | OK | OK |
| 191 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 80062 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 52.33 | 26.81 | 55.56 | 83.30 | 23.74 | 30.44 | 1217.53 | 36250.07 | -21.949 | -2.645 | OK | OK |
| 190 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 89595 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 6 | 33786.72 | 47.10 | 26.81 | 55.56 | 73.89 | 23.74 | 31.03 | 1231.58 | 37865.43 | -20.176 | -10.885 | OK | OK |
| 189 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 97685 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 8 | 45048.96 | 57.16 | 26.81 | 55.56 | 87.72 | 23.74 | 30.07 | 1208.66 | 34453.42 | -24.278 | -6.432 | OK | OK |
| 188 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 111684 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 53.99 | 26.81 | 55.56 | 83.19 | 23.74 | 30.36 | 1216.05 | 38653.80 | -23.378 | -12.026 | OK | OK |
| 187 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 122985 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 63.36 | 26.81 | 55.56 | 100.58 | 23.74 | 29.22 | 1188.44 | 91510.02 | -28.066 | -6.951 | OK | OK |
| 186 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 130970 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 69.12 | 26.81 | 55.56 | 103.34 | 23.74 | 28.95 | 1162.20 | 91029.30 | -29.697 | -3.750 | OK | OK |
| 185 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 140530 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 73.45 | 26.81 | 55.56 | 112.10 | 23.74 | 28.43 | 1169.63 | 90061.66 | -31.659 | -0.029 | OK | OK |
| 184 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 147162 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 73.31 | 26.81 | 55.56 | 113.00 | 23.74 | 28.39 | 1168.90 | 18006.10 | -31.782 | -7.358 | OK | OK |
| 183 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 150980 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 10 | 56311.2 | 81.28 | 26.81 | 55.56 | 122.08 | 23.74 | 27.71 | 1152.54 | 166494.58 | -35.008 | -5.292 | OK | OK |
| 182 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 154128 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 76.47 | 26.81 | 55.56 | 118.15 | 23.74 | 28.06 | 1160.92 | 107269.23 | -33.150 | -4.484 | OK | OK |
| 181 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 154648 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 76.70 | 26.81 | 55.56 | 121.57 | 23.74 | 27.91 | 1157.42 | 106945.46 | -33.245 | -4.121 | OK | OK |
| 180 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 158572 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 78.48 | 26.81 | 55.56 | 122.87 | 23.74 | 27.79 | 1154.47 | 106672.61 | -34.005 | -2.580 | OK | OK |
| 179 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 156831 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 77.69 | 26.81 | 55.56 | 118.83 | 23.74 | 27.98 | 1159.09 | 107100.31 | -33.643 | -3.432 | OK | OK |
| 178 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 143417 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 6 | 33786.72 | 65.25 | 26.81 | 55.56 | 95.81 | 23.74 | 29.41 | 1183.13 | 110264.04 | -28.458 | -9.906 | OK | OK |
| 177 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 123755 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 60.99 | 26.81 | 55.56 | 86.60 | 23.74 | 29.36 | 1208.56 | 92866.60 | -26.345 | -6.130 | OK | OK |
| 176 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 107906 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 4 | 22524.48 | 40.02 | 26.81 | 55.56 | 65.81 | 23.74 | 31.28 | 1237.50 | 76229.87 | -21.160 | -3.729 | OK | OK |
| 175 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 85699 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 4 | 22524.48 | 42.11 | 26.81 | 55.56 | 53.79 | 23.74 | 32.04 | 1255.66 | 58011.70 | -17.981 | -1.623 | OK | OK |
| 174 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 60884 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 2 | 11624.24 | 24.36 | 26.81 | 55.56 | 25.17 | 23.74 | 33.91 | 1300.17 | 60067.76 | -10.583 | -11.648 | OK | OK |

A

| momen negatif terbesar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|-------|-------------------|------|--------|--------|------|---------|----------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|----------|-----------|----------------|---------|------|-------|
| elemen | A | y_x | y_y | l | M_x | ebawah | atas | n bawah | Pbawah | n atas | Fatas | Δ_{u1} | Δ_{u2} | Δ_{u3} | CR | SH | RE | f_{u1} | Fst | f_{u2} (Mpa) | Kontrol | | |
| (m) | (m) | (m) | (m ²) | KNm | m | m | m | | kN | | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | kN | Alas | Bawah | Alas | Bawah |
| 214 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -16579 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 18.05 | 26.81 | 41.67 | 25.75 | 23.74 | 34.14 | 1319.55 | 4042.23 | -6.989 | -28.317 | OK | OK |
| 213 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -15395 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 12.22 | 26.81 | 41.67 | 15.77 | 23.74 | 34.78 | 1334.72 | 41109.37 | -4.736 | -28.142 | OK | OK |
| 215 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -20670 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 9.83 | 26.81 | 41.67 | 13.94 | 23.74 | 34.85 | 1338.35 | 41233.75 | -3.727 | -20.960 | OK | OK |
| 212 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -19016 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 4.21 | 26.81 | 41.67 | 2.96 | 23.74 | 35.62 | 1354.70 | 41724.82 | -1.538 | -29.752 | OK | OK |
| 216 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -26973 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 3.75 | 26.81 | 41.67 | 2.88 | 23.74 | 35.64 | 1355.23 | 20070.55 | -1.239 | -21.090 | OK | OK |
| 211 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -25864 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 13.85 | 26.81 | 41.67 | 18.45 | 23.74 | 34.60 | 1330.59 | 40982.14 | -5.201 | -31.995 | OK | OK |
| 217 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -35490 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 15.62 | 26.81 | 41.67 | 13.56 | 23.74 | 34.85 | 1336.46 | 20561.52 | -4.604 | -23.975 | OK | OK |
| 210 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -36112 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 5.26 | 26.81 | 41.67 | 7.40 | 23.74 | 35.37 | 1348.75 | 20770.77 | -1.961 | -24.287 | OK | OK |
| 218 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -49676 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 6.20 | 26.81 | 41.67 | -1.02 | 23.74 | 35.70 | 1356.61 | 20891.86 | -1.925 | -29.174 | OK | OK |
| 399 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -30615 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 2.10 | 26.81 | 41.67 | 1.20 | 23.74 | 35.77 | 1358.43 | 20919.77 | -0.525 | -22.408 | OK | OK |
| 219 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -37434 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 5.37 | 26.81 | 41.67 | 0.36 | 23.74 | 35.68 | 1356.08 | 20883.65 | -1.765 | -24.818 | OK | OK |
| 398 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -28490 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 3.06 | 26.81 | 41.67 | 2.94 | 23.74 | 35.67 | 1355.63 | 20879.62 | -0.932 | -21.633 | OK | OK |
| 220 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -27486 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 9.92 | 26.81 | 41.67 | 9.80 | 23.74 | 35.12 | 1342.85 | 20679.93 | -3.671 | -21.151 | OK | OK |
| 207 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -35511 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 6.25 | 26.81 | 41.67 | 9.75 | 23.74 | 35.26 | 1346.23 | 20731.96 | -2.084 | -24.053 | OK | OK |
| 221 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -46574 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 33786.72 | 5.12 | 26.81 | 41.67 | 5.45 | 23.74 | 35.92 | 1361.89 | 20973.06 | -0.106 | -28.107 | OK | OK |
| 206 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -28988 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 9.20 | 26.81 | 55.56 | 14.12 | 23.74 | 34.97 | 1325.31 | 20409.81 | -3.238 | -21.563 | OK | OK |
| 205 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -26369 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 4.02 | 26.81 | 55.56 | 5.83 | 23.74 | 35.51 | 1338.24 | 20608.90 | -1.277 | -20.731 | OK | OK |
| 204 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -32042 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 7.82 | 26.81 | 55.56 | 10.81 | 23.74 | 35.16 | 1329.82 | 20479.24 | -2.666 | -22.683 | OK | OK |
| 203 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -25713 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 10.68 | 26.81 | 55.56 | 16.52 | 23.74 | 34.81 | 1321.59 | 20352.50 | -3.867 | -20.370 | OK | OK |
| 202 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -21598 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 6.18 | 26.81 | 55.56 | 9.26 | 23.74 | 35.28 | 1332.88 | 20526.38 | -2.190 | -18.995 | OK | OK |
| 201 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -28146 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 9.38 | 26.81 | 55.56 | 14.88 | 23.74 | 34.92 | 1324.22 | 20393.03 | -3.409 | -21.255 | OK | OK |
| 200 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -17887 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 14.24 | 26.81 | 55.56 | 21.31 | 23.74 | 34.47 | 1315.58 | 20279.15 | -5.369 | -17.518 | OK | OK |
| 199 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -47981 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.53 | 26.81 | 55.56 | 16.66 | 23.74 | 34.77 | 1320.64 | 20323.85 | -4.452 | -14.703 | OK | OK |
| 198 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -13365 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.19 | 26.81 | 55.56 | 24.24 | 23.74 | 34.28 | 1308.90 | 20157.09 | -6.190 | -15.957 | OK | OK |
| 197 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 1571 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 23.05 | 26.81 | 55.56 | 34.54 | 23.74 | 33.59 | 1292.44 | 19903.51 | -9.087 | -10.453 | OK | OK |
| 196 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 11006 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 17.81 | 26.81 | 55.56 | 26.17 | 23.74 | 34.13 | 1305.49 | 42009.08 | -7.268 | -18.276 | OK | OK |
| 195 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 11063 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 24.21 | 26.81 | 55.56 | 37.04 | 23.74 | 33.44 | 1289.92 | 39698.71 | -9.577 | -17.987 | OK | OK |
| 194 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 21121 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 28.76 | 26.81 | 55.56 | 44.25 | 23.74 | 32.96 | 1277.62 | 39350.80 | -11.692 | -14.231 | OK | OK |
| 193 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 28900 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 6 | 33786.72 | 22.78 | 26.81 | 55.56 | 34.68 | 23.74 | 33.59 | 1292.55 | 39715.76 | -9.554 | -22.674 | OK | OK |
| 192 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 28450 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 28.95 | 26.81 | 55.56 | 45.82 | 23.74 | 32.89 | 1275.95 | 38948.78 | -11.965 | -22.424 | OK | OK |
| 191 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 38408 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 33.46 | 26.81 | 55.56 | 53.11 | 23.74 | 32.42 | 1264.62 | 38425.49 | -13.891 | -18.606 | OK | OK |
| 190 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 46256 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 6 | 33786.72 | 27.51 | 26.81 | 55.56 | 42.54 | 23.74 | 33.08 | 1260.47 | 38977.08 | -11.766 | -27.072 | OK | OK |
| 189 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 45795 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 8 | 45048.96 | 33.67 | 26.81 | 55.56 | 50.13 | 23.74 | 32.53 | 1267.28 | 39564.64 | -14.194 | -26.801 | OK | OK |
| 188 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 55982 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 23.73 | 26.81 | 55.56 | 42.79 | 23.74 | 33.02 | 1279.06 | 38487.71 | -12.483 | -34.454 | OK | OK |
| 187 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 63787 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 38.68 | 26.81 | 55.56 | 57.89 | 23.74 | 32.01 | 1255.02 | 36636.61 | -16.554 | -30.649 | OK | OK |
| 186 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 63732 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 38.65 | 26.81 | 55.56 | 54.60 | 23.74 | 32.15 | 1258.21 | 36881.87 | -16.555 | -30.804 | OK | OK |
| 185 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 72880 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 42.80 | 26.81 | 55.56 | 63.06 | 23.74 | 31.64 | 1246.11 | 39950.10 | -18.336 | -27.049 | OK | OK |
| 184 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 79737 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 42.77 | 26.81 | 55.56 | 64.12 | 23.74 | 31.60 | 1245.12 | 115048.71 | -18.536 | -35.134 | OK | OK |
| 183 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 80220 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 10 | 56311.2 | 49.35 | 26.81 | 55.56 | 71.01 | 23.74 | 31.05 | 1232.19 | 113854.27 | -21.165 | -34.318 | OK | OK |
| 182 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 86370 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 45.77 | 26.81 | 55.56 | 69.04 | 23.74 | 31.28 | 1237.52 | 114346.66 | -19.838 | -32.396 | OK | OK |
| 181 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 90293 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 47.55 | 26.81 | 55.56 | 74.92 | 23.74 | 30.97 | 1230.17 | 113667.39 | -20.602 | -30.632 | OK | OK |
| 180 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 91304 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 48.01 | 26.81 | 55.56 | 74.11 | 23.74 | 30.96 | 1230.51 | 113696.82 | -20.790 | -30.291 | OK | OK |
| 179 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 87357 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 46.40 | 26.81 | 55.56 | 68.77 | 23.74 | 31.26 | 1231.97 | 114314.11 | -20.874 | -31.883 | OK | OK |
| 178 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 80976 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 6 | 33786.72 | 36.96 | 26.81 | 55.56 | 50.55 | 23.74 | 32.38 | 1263.71 | 116787.10 | -16.191 | -35.628 | OK | OK |
| 177 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 68297 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 34.35 | 26.81 | 55.56 | 44.00 | 23.74 | 32.75 | 1272.50 | 97982.82 | -14.857 | -29.780 | OK | OK |
| 176 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 52319 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 4 | 22524.48 | 23.89 | 26.81 | 55.56 | 25.58 | 23.74 | 33.91 | 1300.22 | 80093.67 | -10.271 | -25.581 | OK | OK |
| 175 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 34658 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 4 | 22524.48 | 19.02 | 26.81 | 55.56 | 16.86 | 23.74 | 34.46 | 1313.26 | 60672.63 | -8.124 | -21.147 | OK | OK |
| 174 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 15316 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 2 | 11262.24 | 3.89 | 26.81 | 55.56 | -7.57 | 23.74 | 38.06 | 1351.23 | 62426.73 | -1.845 | -28.956 | OK | OK |

A

| momen positif terbesar kabel putus 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|--------|------|---------|----------|--------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|----|
| elemen | A | y ₁ | y ₂ | I | M ₁ | ebawah | atas | n bawah | Flawah | n atas | Fatas | Δ ₁₀ | Δ ₁₁ | Δ ₁₂ | CR | SH | RE | f ₁₀ | F ₁₁ | f ₁₂ | Kontrol | |
| | (m ²) | (m) | (m) | (m ⁴) | KNm | m | m | | kN | | kN | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | |
| 214 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 1947 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 26.45 | 26.81 | 41.67 | 39.18 | 23.74 | 33.26 | 1298.61 | 39997.21 | -10.554 | -21.396 | OK |
| 213 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 1945 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 20.08 | 26.81 | 41.67 | 26.34 | 23.74 | 33.95 | 1315.12 | 40356.52 | -8.074 | -21.864 | OK |
| 215 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 1344 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 19.80 | 26.81 | 41.67 | 29.91 | 23.74 | 33.90 | 1313.87 | 40467.29 | -7.864 | -21.848 | OK |
| 212 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 249 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 12.94 | 26.81 | 41.67 | 16.93 | 23.74 | 34.70 | 1332.92 | 41054.05 | -5.245 | -22.554 | OK |
| 216 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -1541 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 15.27 | 26.81 | 41.67 | 21.31 | 23.74 | 34.43 | 1326.48 | 20427.79 | -6.108 | -11.832 | OK |
| 211 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -3881 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 23.94 | 26.81 | 41.67 | 34.61 | 23.74 | 33.55 | 1305.40 | 40206.29 | -9.489 | -23.470 | OK |
| 217 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -6707 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 25.66 | 26.81 | 41.67 | 34.42 | 23.74 | 33.48 | 1303.93 | 20080.45 | -10.114 | -13.497 | OK |
| 210 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -12604 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.62 | 26.81 | 41.67 | 24.44 | 23.74 | 34.25 | 1322.18 | 20361.52 | -6.461 | -15.729 | OK |
| 218 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -16301 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 21.32 | 26.81 | 41.67 | 23.18 | 23.74 | 34.11 | 1318.89 | 20310.86 | -8.315 | -17.025 | OK |
| 209 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10871 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.04 | 26.81 | 41.67 | 15.51 | 23.74 | 34.84 | 1336.11 | 20576.06 | -4.305 | -15.221 | OK |
| 219 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -11132 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 17.29 | 26.81 | 41.67 | 19.43 | 23.74 | 34.43 | 1326.35 | 20425.76 | -6.801 | -15.243 | OK |
| 208 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10874 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.04 | 26.81 | 41.67 | 15.71 | 23.74 | 34.83 | 1335.92 | 20573.15 | -4.305 | -15.220 | OK |
| 213 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -8161 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 18.64 | 26.81 | 41.67 | 23.55 | 23.74 | 34.21 | 1321.10 | 20344.89 | -7.356 | -14.146 | OK |
| 207 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -12764 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.55 | 26.81 | 41.67 | 26.24 | 23.74 | 34.18 | 1320.52 | 20335.99 | -6.439 | -15.772 | OK |
| 221 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 7 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 33786.72 | 15.97 | 26.81 | 41.67 | 11.89 | 23.74 | 34.78 | 1334.85 | 20556.74 | -9.001 | -11.368 | OK |
| 206 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10518 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 17.57 | 26.81 | 55.56 | 27.51 | 23.74 | 34.09 | 1304.43 | 20088.28 | -6.774 | -14.839 | OK |
| 205 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -10115 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.38 | 26.81 | 55.56 | 17.62 | 23.74 | 34.74 | 1319.87 | 20325.96 | -4.389 | -14.815 | OK |
| 204 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -9593 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 17.99 | 26.81 | 55.56 | 27.08 | 23.74 | 34.09 | 1304.44 | 20088.43 | -6.964 | -14.511 | OK |
| 203 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -8222 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 20.15 | 26.81 | 55.56 | 31.66 | 23.74 | 33.82 | 1297.97 | 19988.80 | -7.867 | -12.765 | OK |
| 202 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -2773 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 14.71 | 26.81 | 55.56 | 22.90 | 23.74 | 34.39 | 1311.60 | 20198.65 | -5.794 | -12.142 | OK |
| 201 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -1626 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 21.60 | 26.81 | 55.56 | 34.10 | 23.74 | 33.66 | 1294.24 | 19931.35 | -6.487 | -11.601 | OK |
| 200 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 4776 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 24.50 | 26.81 | 55.56 | 37.71 | 23.74 | 33.40 | 1288.00 | 19835.15 | -9.702 | -9.279 | OK |
| 199 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 8472 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 19.80 | 26.81 | 55.56 | 29.89 | 23.74 | 33.90 | 1300.01 | 20020.10 | -7.946 | -8.058 | OK |
| 198 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 11707 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 27.37 | 26.81 | 55.56 | 42.12 | 23.74 | 33.11 | 1281.01 | 19727.60 | -10.914 | -6.976 | OK |
| 197 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 21853 | 1.12 | 0.43 | 2 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 29.10 | 26.81 | 55.56 | 44.22 | 23.74 | 32.95 | 1277.34 | 19671.02 | -12.963 | -3.136 | OK |
| 196 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 30064 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 26.45 | 26.81 | 55.56 | 39.98 | 23.74 | 33.23 | 1283.95 | 39455.56 | -10.935 | -11.156 | OK |
| 195 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 38427 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 36.60 | 26.81 | 55.56 | 56.87 | 23.74 | 32.14 | 1257.99 | 38745.98 | -15.023 | -7.764 | OK |
| 194 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 53036 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 43.22 | 26.81 | 55.56 | 67.39 | 23.74 | 31.45 | 1241.55 | 38239.61 | -17.835 | -2.307 | OK |
| 193 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 61931 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 6 | 33786.72 | 37.75 | 26.81 | 55.56 | 58.63 | 23.74 | 32.02 | 1250.21 | 57990.71 | -15.944 | -10.017 | OK |
| 192 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 68733 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 47.20 | 26.81 | 55.56 | 75.02 | 23.74 | 30.98 | 1220.41 | 65844.95 | -19.758 | -6.988 | OK |
| 191 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 81135 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 52.82 | 26.81 | 55.56 | 84.08 | 23.74 | 30.39 | 1216.32 | 56194.02 | -22.157 | -2.223 | OK |
| 190 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 90610 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 6 | 33786.72 | 47.60 | 26.81 | 55.56 | 74.69 | 23.74 | 30.98 | 1220.33 | 57588.53 | -20.391 | -9.651 | OK |
| 189 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 98739 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 8 | 45048.96 | 57.65 | 26.81 | 55.56 | 88.50 | 23.74 | 30.01 | 1207.43 | 74377.93 | -24.489 | -6.006 | OK |
| 188 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 112608 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 54.43 | 26.81 | 55.56 | 83.90 | 23.74 | 30.33 | 1214.95 | 93550.98 | -23.569 | -11.634 | OK |
| 187 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 123550 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 65.75 | 26.81 | 55.56 | 101.21 | 23.74 | 29.17 | 1187.46 | 91434.74 | -28.235 | -6.603 | OK |
| 186 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 131714 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 69.45 | 26.81 | 55.56 | 103.87 | 23.74 | 28.92 | 1181.36 | 90964.54 | -29.842 | -3.451 | OK |
| 185 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 140908 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 73.62 | 26.81 | 55.56 | 112.37 | 23.74 | 28.41 | 1169.20 | 90028.78 | -31.633 | -0.323 | OK |
| 184 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 147174 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 73.32 | 26.81 | 55.56 | 113.01 | 23.74 | 28.39 | 1168.88 | 108004.90 | -31.784 | -7.353 | OK |
| 183 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 150315 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 10 | 56311.2 | 91.11 | 26.81 | 55.56 | 121.82 | 23.74 | 27.72 | 1152.95 | 105632.71 | -34.836 | -2.442 | OK |
| 182 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 152927 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 75.93 | 26.81 | 55.56 | 117.28 | 23.74 | 28.12 | 1152.28 | 107394.68 | -32.914 | -4.978 | OK |
| 181 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 152927 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 75.93 | 26.81 | 55.56 | 120.52 | 23.74 | 27.99 | 1159.26 | 107125.23 | -32.906 | -4.830 | OK |
| 180 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 156905 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 77.73 | 26.81 | 55.56 | 121.66 | 23.74 | 27.87 | 1156.35 | 106844.74 | -33.678 | -3.267 | OK |
| 179 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 151754 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 75.39 | 26.81 | 55.56 | 115.15 | 23.74 | 28.22 | 1164.83 | 107630.56 | -32.645 | -5.524 | OK |
| 178 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 139297 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 6 | 33786.72 | 63.38 | 26.81 | 55.56 | 92.83 | 23.74 | 29.61 | 1197.78 | 110675.31 | -27.649 | -11.603 | OK |
| 177 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 123913 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 59.55 | 26.81 | 55.56 | 84.31 | 23.74 | 30.11 | 1209.63 | 93141.86 | -25.727 | -7.402 | OK |
| 176 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 105601 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 4 | 22524.48 | 48.02 | 26.81 | 55.56 | 64.21 | 23.74 | 31.38 | 1239.99 | 76383.43 | -20.731 | -4.653 | OK |
| 175 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 84361 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 4 | 22524.48 | 41.54 | 26.81 | 55.56 | 52.89 | 23.74 | 32.10 | 1257.08 | 58076.88 | -17.739 | -2.102 | OK |
| 174 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 60193 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 2 | 11262.24 | 24.22 | 26.81 | 55.56 | 24.96 | 23.74 | 33.92 | 1300.50 | 60082.96 | -10.526 | -11.739 | OK |

A

| momen negatif terbesar kabel putus 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------|----------|------|---------|----------|--------|----------|----------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------------|---------|------|-------|
| elemen | A | y_0 | y_1 | l | M | di bawah | atas | n bawah | P bawah | n atas | Fals | $\Delta_{u,1}$ | $\Delta_{u,11}$ | $\Delta_{u,12}$ | CR | SH | RE | $f_{u,1}$ | Fst | $f_{u,1}$ (Mpa) | Kontrol | | |
| (m) | (m ²) | (m) | (m) | (m ²) | KNm | m | m | m | kN | m | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | kN | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 214 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -16775 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 17.96 | 26.81 | 41.67 | 25.60 | 23.74 | 34.15 | 1319.97 | 40649.05 | -6.951 | -28.390 | OK | OK |
| 213 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -15924 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 12.12 | 26.81 | 41.67 | 16.81 | 23.74 | 34.79 | 1334.98 | 41117.34 | -4.692 | -28.228 | OK | OK |
| 215 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -20849 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 9.75 | 26.81 | 41.67 | 13.83 | 23.74 | 34.86 | 1338.96 | 41240.00 | -3.993 | -30.147 | OK | OK |
| 212 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -19262 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 4.10 | 26.81 | 41.67 | 2.78 | 23.74 | 35.63 | 1354.98 | 41733.36 | -1.490 | -29.844 | OK | OK |
| 216 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -27136 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 3.67 | 26.81 | 41.67 | 2.76 | 23.74 | 35.65 | 1355.41 | 20873.37 | -1.208 | -21.149 | OK | OK |
| 211 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -26126 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 10 | 56311.2 | 13.73 | 26.81 | 41.67 | 18.26 | 23.74 | 34.62 | 1330.88 | 40991.23 | -5.511 | -31.903 | OK | OK |
| 217 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -35636 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 12.56 | 26.81 | 41.67 | 13.45 | 23.74 | 34.86 | 1336.63 | 20584.07 | -4.576 | -24.028 | OK | OK |
| 210 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -36384 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 5.85 | 26.81 | 41.67 | 7.20 | 23.74 | 35.38 | 1349.06 | 20775.51 | -1.908 | -24.386 | OK | OK |
| 218 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -49820 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 10 | 56311.2 | 6.13 | 26.81 | 41.67 | -1.12 | 23.74 | 35.70 | 1356.78 | 20894.37 | -1.898 | -29.226 | OK | OK |
| 209 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -30886 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 1.97 | 26.81 | 41.67 | 1.00 | 23.74 | 35.79 | 1358.73 | 20924.48 | -0.473 | -22.506 | OK | OK |
| 219 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -37566 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 5.31 | 26.81 | 41.67 | 0.27 | 23.74 | 35.68 | 1356.23 | 20885.94 | -1.740 | -24.866 | OK | OK |
| 208 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -28747 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 2.94 | 26.81 | 41.67 | 2.75 | 23.74 | 35.68 | 1356.12 | 20884.29 | -0.883 | -21.726 | OK | OK |
| 220 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -27325 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 9.86 | 26.81 | 41.67 | 9.52 | 23.74 | 35.13 | 1340.99 | 20685.00 | -3.549 | -21.950 | OK | OK |
| 207 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -35799 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 6.11 | 26.81 | 41.67 | 9.54 | 23.74 | 35.28 | 1346.56 | 20736.99 | -2.028 | -24.157 | OK | OK |
| 221 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -46861 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 33786.72 | 5.26 | 26.81 | 41.67 | -5.24 | 23.74 | 35.91 | 1361.56 | 20968.06 | -0.062 | -28.206 | OK | OK |
| 206 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -29234 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 9.09 | 26.81 | 55.56 | 13.95 | 23.74 | 34.98 | 1325.59 | 20414.08 | -3.191 | -21.632 | OK | OK |
| 205 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -26582 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 3.92 | 26.81 | 55.56 | 5.68 | 23.74 | 35.52 | 1338.48 | 20612.61 | -1.236 | -20.809 | OK | OK |
| 204 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -32349 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 7.72 | 26.81 | 55.56 | 10.66 | 23.74 | 35.17 | 1330.06 | 20482.85 | -2.626 | -22.759 | OK | OK |
| 203 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -25852 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 10.62 | 26.81 | 55.56 | 16.42 | 23.74 | 34.82 | 1321.75 | 20354.90 | -3.840 | -20.421 | OK | OK |
| 202 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -21667 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 6.15 | 26.81 | 55.56 | 9.21 | 23.74 | 35.29 | 1332.96 | 20527.58 | -2.177 | -19.020 | OK | OK |
| 201 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -28173 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 9.57 | 26.81 | 55.56 | 14.86 | 23.74 | 34.92 | 1334.25 | 20393.50 | -3.404 | -21.265 | OK | OK |
| 200 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -17780 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 14.26 | 26.81 | 55.56 | 21.36 | 23.74 | 34.47 | 1313.49 | 20227.82 | -5.383 | -17.490 | OK | OK |
| 199 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -9601 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 6 | 33786.72 | 11.62 | 26.81 | 55.56 | 16.79 | 23.74 | 34.76 | 1320.44 | 20354.74 | -4.488 | -14.637 | OK | OK |
| 198 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | -13291 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 16.31 | 26.81 | 55.56 | 24.44 | 23.74 | 34.26 | 1308.59 | 20152.32 | -6.243 | -15.857 | OK | OK |
| 197 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 1938 | 1.12 | 0.43 | 2 | 22941.6 | 8 | 45048.96 | 23.21 | 26.81 | 55.56 | 34.80 | 23.74 | 33.57 | 1292.02 | 19897.12 | -9.158 | -10.319 | OK | OK |
| 196 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 11453 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 6 | 33786.72 | 18.02 | 26.81 | 55.56 | 26.49 | 23.74 | 34.11 | 1304.98 | 40193.52 | -7.354 | -18.109 | OK | OK |
| 195 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 11442 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 24.38 | 26.81 | 55.56 | 37.31 | 23.74 | 33.42 | 1288.49 | 39685.52 | -9.830 | -17.846 | OK | OK |
| 194 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 21596 | 1.12 | 0.43 | 4 | 45883.2 | 8 | 45048.96 | 28.98 | 26.81 | 55.56 | 44.60 | 23.74 | 32.94 | 1277.09 | 39334.27 | -11.784 | -14.033 | OK | OK |
| 193 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 29460 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 6 | 33786.72 | 23.04 | 26.81 | 55.56 | 35.09 | 23.74 | 33.56 | 1291.92 | 39686.50 | -9.662 | -22.459 | OK | OK |
| 192 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 29054 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 29.22 | 26.81 | 55.56 | 46.26 | 23.74 | 32.86 | 1275.26 | 38917.23 | -12.082 | -22.192 | OK | OK |
| 191 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 39077 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 8 | 45048.96 | 33.76 | 26.81 | 55.56 | 53.59 | 23.74 | 32.38 | 1263.86 | 38390.56 | -14.020 | -18.350 | OK | OK |
| 190 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 46958 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 6 | 33786.72 | 27.83 | 26.81 | 55.56 | 43.65 | 23.74 | 33.85 | 1279.68 | 37828.15 | -11.903 | -26.796 | OK | OK |
| 189 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 46518 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 8 | 45048.96 | 35.99 | 26.81 | 55.56 | 59.65 | 23.74 | 32.49 | 1266.47 | 37814.42 | -14.334 | -26.517 | OK | OK |
| 188 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 56608 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 29.06 | 26.81 | 55.56 | 43.30 | 23.74 | 32.99 | 1278.25 | 38425.36 | -12.623 | -34.166 | OK | OK |
| 187 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 64490 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 39.00 | 26.81 | 55.56 | 58.40 | 23.74 | 31.98 | 1254.23 | 39575.41 | -16.692 | -30.367 | OK | OK |
| 186 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 64476 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 38.99 | 26.81 | 55.56 | 55.14 | 23.74 | 32.11 | 1257.37 | 39817.11 | -16.700 | -30.505 | OK | OK |
| 185 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 73539 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 8 | 45048.96 | 43.10 | 26.81 | 55.56 | 63.54 | 23.74 | 31.61 | 1245.36 | 39892.79 | -18.465 | -26.784 | OK | OK |
| 184 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 80301 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 43.02 | 26.81 | 55.56 | 64.53 | 23.74 | 31.57 | 1244.48 | 114989.83 | -18.646 | -34.901 | OK | OK |
| 183 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 80819 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 10 | 56311.2 | 49.63 | 26.81 | 55.56 | 71.44 | 23.74 | 31.03 | 1231.51 | 113791.61 | -21.283 | -34.071 | OK | OK |
| 182 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 86702 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 45.92 | 26.81 | 55.56 | 69.28 | 23.74 | 31.26 | 1237.14 | 114311.93 | -19.904 | -32.280 | OK | OK |
| 181 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 90348 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 47.57 | 26.81 | 55.56 | 74.96 | 23.74 | 30.97 | 1230.10 | 113661.66 | -20.612 | -30.609 | OK | OK |
| 180 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 90766 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 47.76 | 26.81 | 55.56 | 73.72 | 23.74 | 31.01 | 1231.11 | 113754.98 | -20.884 | -30.312 | OK | OK |
| 179 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 86890 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 8 | 45048.96 | 46.01 | 26.81 | 55.56 | 68.13 | 23.74 | 31.30 | 1238.16 | 114405.71 | -19.922 | -32.274 | OK | OK |
| 178 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 79882 | 1.12 | 0.43 | 12 | 137649.6 | 6 | 33786.72 | 36.46 | 26.81 | 55.56 | 49.76 | 23.74 | 32.43 | 1264.95 | 116881.27 | -15.976 | -35.919 | OK | OK |
| 177 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 66608 | 1.12 | 0.43 | 10 | 114708 | 6 | 33786.72 | 33.50 | 26.81 | 55.56 | 42.63 | 23.74 | 32.84 | 1274.64 | 98147.26 | -10.487 | -30.540 | OK | OK |
| 176 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 51250 | 1.12 | 0.43 | 8 | 91766.4 | 4 | 22524.48 | 23.40 | 26.81 | 55.56 | 24.81 | 23.74 | 33.96 | 1301.43 | 80168.06 | -14.163 | -26.000 | OK | OK |
| 175 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 34411 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 4 | 22524.48 | 18.91 | 26.81 | 55.56 | 16.68 | 23.74 | 34.47 | 1313.54 | 60685.54 | -8.076 | -21.242 | OK | OK |
| 174 | 6.45 | 1.37 | 0.73 | 3.85 | 15889 | 1.12 | 0.43 | 6 | 68824.8 | 2 | 11262.24 | 4.15 | 26.81 | 55.56 | -7.16 | 23.74 | 38.03 | 1350.58 | 62396.78 | -1.955 | -28.736 | OK | OK |

B

| momen positif terbesar | | | | | | | |
|------------------------|--------|-----------|---------|-----------|---------|-------------|------------|
| Elemen | Mu | ØMn | Kontrol | Mcr | Kontrol | 1,2 Mcr | Kontrol |
| | kNm | kNm | ØMn>Mu | kNm | Mcr>Mu | kNm | ØMn>1,2Mcr |
| 214 | 949 | 156044.32 | OK | 93109.04 | OK | 111730.8519 | OK |
| 213 | 947 | 156727.31 | OK | 93487.66 | OK | 112185.1899 | OK |
| 215 | 504 | 156748.84 | OK | 93499.59 | OK | 112199.51 | OK |
| 212 | -653 | 137965.91 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 216 | -2141 | 98219.21 | OK | 71688.45 | OK | 86026.13556 | OK |
| 211 | -4100 | 171923.85 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| | -7065 | 134598.03 | OK | 112044.89 | OK | 134453.865 | OK |
| 210 | -12557 | 115989.31 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 218 | -16187 | 134998.64 | OK | 112375.68 | OK | 134850.8124 | OK |
| 209 | -10807 | 98200.06 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 219 | -11028 | 116419.09 | OK | 92139.63 | OK | 110567.5567 | OK |
| 208 | -10810 | 98200.09 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 220 | -8069 | 116274.05 | OK | 92017.96 | OK | 110421.5475 | OK |
| 207 | -12631 | 116036.00 | OK | 91683.21 | OK | 110019.8546 | OK |
| 221 | 7 | 117081.36 | OK | 92846.06 | OK | 111415.2729 | OK |
| 206 | -10444 | 114856.74 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 205 | -10105 | 97249.48 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 204 | -9639 | 114939.23 | OK | 90925.58 | OK | 109110.6989 | OK |
| 203 | -4918 | 114797.60 | OK | 90833.19 | OK | 108999.832 | OK |
| 202 | -2884 | 97157.01 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 201 | -1750 | 114817.45 | OK | 90901.01 | OK | 109081.2153 | OK |
| 200 | 4629 | 78931.51 | OK | 51272.10 | OK | 61526.5258 | OK |
| 199 | 8295 | 79194.80 | OK | 51412.01 | OK | 61694.41137 | OK |
| 198 | 10893 | 78772.76 | OK | 51187.76 | OK | 61425.30899 | OK |
| 197 | 21333 | 78508.11 | OK | 51047.16 | OK | 61256.59674 | OK |
| 196 | 29423 | 154536.39 | OK | 92273.65 | OK | 110728.3827 | OK |
| 195 | 37670 | 153451.37 | OK | 91673.00 | OK | 110007.5989 | OK |
| 194 | 52182 | 152745.03 | OK | 91282.17 | OK | 109538.6099 | OK |
| 193 | 60980 | 225382.73 | OK | 132331.56 | OK | 158797.8773 | OK |
| 192 | 67691 | 223929.57 | OK | 131492.62 | OK | 157791.1481 | OK |
| 191 | 80062 | 223063.30 | OK | 130992.87 | OK | 157191.4392 | OK |
| 190 | 89505 | 292416.91 | OK | 171889.41 | OK | 206267.2931 | OK |
| 189 | 97655 | 290432.72 | OK | 170693.34 | OK | 204832.0106 | OK |
| 188 | 111634 | 356302.56 | OK | 211296.30 | OK | 253555.5638 | OK |
| 187 | 122685 | 353621.35 | OK | 209605.88 | OK | 251527.0536 | OK |
| 186 | 130970 | 352735.34 | OK | 209048.01 | OK | 250857.6103 | OK |
| 185 | 140530 | 351172.37 | OK | 208404.36 | OK | 250085.2302 | OK |
| 184 | 147162 | 413323.37 | OK | 248075.47 | OK | 297690.5658 | OK |
| 183 | 150680 | 411168.74 | OK | 246655.60 | OK | 295986.718 | OK |
| 182 | 154128 | 412469.82 | OK | 247512.70 | OK | 297015.2362 | OK |
| 181 | 154648 | 412406.07 | OK | 247470.68 | OK | 296964.8163 | OK |
| 180 | 158572 | 411924.95 | OK | 247153.65 | OK | 296584.3837 | OK |
| 179 | 156831 | 412138.42 | OK | 247294.30 | OK | 296753.1611 | OK |
| 178 | 143417 | 415502.11 | OK | 249513.74 | OK | 299416.4919 | OK |
| 177 | 127075 | 354654.18 | OK | 210256.65 | OK | 252307.9835 | OK |
| 176 | 107806 | 292037.86 | OK | 171660.80 | OK | 205992.9569 | OK |
| 175 | 85609 | 224643.05 | OK | 131904.44 | OK | 158285.3247 | OK |
| 174 | 60484 | 227382.36 | OK | 133487.23 | OK | 160184.6717 | OK |

B

| momen negatif terbesar | | | | | | | |
|------------------------|--------|-----------|---------|-----------|---------|-------------|------------|
| Elemen | Mu | ØMn | Kontrol | Mcr | Kontrol | 1,2 Mcr | Kontrol |
| | kNm | kNm | ØMn>Mu | kNm | Mcr>Mu | kNm | ØMn>1,2Mcr |
| 214 | -16579 | 172237.14 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| 213 | -15395 | 155538.03 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 215 | -20670 | 155688.28 | OK | 91650.58 | OK | 109980.6997 | OK |
| 212 | -19016 | 138436.08 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 216 | -26973 | 98537.09 | OK | 71688.45 | OK | 86026.13556 | OK |
| 211 | -25864 | 172470.22 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| 217 | -35490 | 134954.73 | OK | 112044.89 | OK | 134453.865 | OK |
| 210 | -36112 | 116287.89 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 218 | -49676 | 135418.82 | OK | 112375.68 | OK | 134850.8124 | OK |
| 209 | -30615 | 98453.64 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 219 | -37434 | 116753.74 | OK | 92139.63 | OK | 110567.5567 | OK |
| 208 | -28490 | 98426.44 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 220 | -27406 | 116519.14 | OK | 92017.96 | OK | 110421.5475 | OK |
| 207 | -35511 | 116326.02 | OK | 91683.21 | OK | 110019.8546 | OK |
| 221 | -46574 | 117384.33 | OK | 92846.06 | OK | 111415.2729 | OK |
| 206 | -28988 | 115091.91 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 205 | -26369 | 97457.76 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 204 | -32042 | 115223.32 | OK | 90925.58 | OK | 109110.6989 | OK |
| 203 | -25713 | 115061.32 | OK | 90833.19 | OK | 108999.832 | OK |
| 202 | -21598 | 97396.67 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 201 | -28146 | 115152.18 | OK | 90901.01 | OK | 109081.2153 | OK |
| 200 | -17857 | 114950.75 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 199 | -9781 | 97245.33 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 198 | -13565 | 114896.32 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 197 | 1571 | 79009.00 | OK | 51313.28 | OK | 61575.93577 | OK |
| 196 | 11006 | 155431.86 | OK | 92769.65 | OK | 111323.586 | OK |
| 195 | 11063 | 154745.72 | OK | 92389.58 | OK | 110867.4915 | OK |
| 194 | 21121 | 154256.56 | OK | 92118.71 | OK | 110542.4496 | OK |
| 193 | 28900 | 227624.90 | OK | 133627.50 | OK | 160353.0025 | OK |
| 192 | 28450 | 226674.35 | OK | 133077.88 | OK | 159693.4541 | OK |
| 191 | 38408 | 225978.26 | OK | 132675.60 | OK | 159210.7157 | OK |
| 190 | 46256 | 296273.85 | OK | 174218.98 | OK | 209062.7748 | OK |
| 189 | 45795 | 295062.54 | OK | 173486.69 | OK | 208184.0336 | OK |
| 188 | 55892 | 362236.34 | OK | 215049.35 | OK | 258059.215 | OK |
| 187 | 63787 | 359902.73 | OK | 213571.39 | OK | 256285.6662 | OK |
| 186 | 63732 | 359908.56 | OK | 213575.08 | OK | 256290.0929 | OK |
| 185 | 72880 | 358934.88 | OK | 212959.17 | OK | 255551.0052 | OK |
| 184 | 79737 | 421555.24 | OK | 253523.07 | OK | 304227.6811 | OK |
| 183 | 80220 | 419784.96 | OK | 252348.46 | OK | 302818.1506 | OK |
| 182 | 86370 | 420747.97 | OK | 252987.22 | OK | 303584.6605 | OK |
| 181 | 90293 | 420270.14 | OK | 252670.22 | OK | 303204.2609 | OK |
| 180 | 91304 | 420147.03 | OK | 252588.56 | OK | 303106.2705 | OK |
| 179 | 87767 | 420577.80 | OK | 252874.31 | OK | 303449.1703 | OK |
| 178 | 80976 | 423113.92 | OK | 254558.68 | OK | 305470.4141 | OK |
| 177 | 68297 | 360918.11 | OK | 214214.15 | OK | 257056.9766 | OK |
| 176 | 52319 | 296985.57 | OK | 174649.52 | OK | 209579.4216 | OK |
| 175 | 34658 | 228204.37 | OK | 133962.72 | OK | 160755.258 | OK |
| 174 | 15316 | 230534.57 | OK | 135311.94 | OK | 162374.3224 | OK |

B

| momen positif terbesar kabel putus 1 | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-----------|---------|-----------|---------|-------------|------------|
| Elemen | Mu | ØMn | Kontrol | Mcr | Kontrol | 1,2 Mcr | Kontrol |
| | kNm | kNm | ØMn>Mu | kNm | Mcr>Mu | kNm | ØMn>1,2Mcr |
| 214 | 1947 | 171772.06 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| 213 | 1945 | 155098.40 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 215 | 1344 | 155130.17 | OK | 91650.58 | OK | 109980.6997 | OK |
| 212 | 249 | 137942.80 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 216 | -1541 | 98211.53 | OK | 71688.45 | OK | 86026.13556 | OK |
| 211 | -3581 | 171910.83 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| 217 | -6707 | 134593.54 | OK | 112044.89 | OK | 134453.865 | OK |
| 210 | -12604 | 115989.89 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 218 | -16301 | 135000.08 | OK | 112375.68 | OK | 134850.8124 | OK |
| 209 | -10871 | 98200.88 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 219 | -11132 | 116420.40 | OK | 92139.63 | OK | 110567.5567 | OK |
| 208 | -10874 | 98200.92 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 220 | -8161 | 116275.22 | OK | 92017.96 | OK | 110421.5475 | OK |
| 207 | -12764 | 116037.68 | OK | 91683.21 | OK | 110019.8546 | OK |
| 221 | 7 | 117081.36 | OK | 92846.06 | OK | 111415.2729 | OK |
| 206 | -10518 | 114857.69 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 205 | -10115 | 97249.62 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 204 | -9593 | 114938.65 | OK | 90925.58 | OK | 109110.6989 | OK |
| 203 | -4822 | 114796.38 | OK | 90833.19 | OK | 108999.832 | OK |
| 202 | -2773 | 97155.59 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 201 | -1626 | 114815.88 | OK | 90901.01 | OK | 109081.2153 | OK |
| 200 | 4776 | 78927.78 | OK | 51270.12 | OK | 61524.14477 | OK |
| 199 | 8472 | 79190.32 | OK | 51409.63 | OK | 61691.55494 | OK |
| 198 | 11107 | 78767.33 | OK | 51184.87 | OK | 61421.84919 | OK |
| 197 | 21853 | 78670.53 | OK | 51133.44 | OK | 61360.13362 | OK |
| 196 | 30064 | 154505.25 | OK | 92256.41 | OK | 110707.6934 | OK |
| 195 | 38427 | 153414.55 | OK | 91652.62 | OK | 109983.1464 | OK |
| 194 | 53036 | 152703.46 | OK | 91259.18 | OK | 109511.0155 | OK |
| 193 | 61931 | 225316.21 | OK | 132293.14 | OK | 158751.7728 | OK |
| 192 | 68733 | 223856.63 | OK | 131450.53 | OK | 157740.6404 | OK |
| 191 | 81135 | 222988.13 | OK | 130949.52 | OK | 157139.4196 | OK |
| 190 | 90610 | 292318.30 | OK | 171829.93 | OK | 206195.9175 | OK |
| 189 | 98739 | 290335.79 | OK | 170634.95 | OK | 204761.9413 | OK |
| 188 | 112608 | 356198.59 | OK | 211230.69 | OK | 253476.8291 | OK |
| 187 | 123550 | 353528.89 | OK | 209547.64 | OK | 251457.1716 | OK |
| 186 | 131714 | 352655.74 | OK | 208997.91 | OK | 250797.4948 | OK |
| 185 | 140908 | 351671.93 | OK | 208378.92 | OK | 250054.7091 | OK |
| 184 | 147174 | 413321.97 | OK | 248074.54 | OK | 297689.4537 | OK |
| 183 | 150315 | 411213.53 | OK | 246685.09 | OK | 296022.111 | OK |
| 182 | 152927 | 412617.04 | OK | 247609.73 | OK | 297131.6817 | OK |
| 181 | 152927 | 412617.04 | OK | 247609.73 | OK | 297131.6817 | OK |
| 180 | 156905 | 412129.38 | OK | 247288.34 | OK | 296746.0127 | OK |
| 179 | 151754 | 412760.72 | OK | 247704.46 | OK | 297245.3476 | OK |
| 178 | 139297 | 416005.74 | OK | 249846.57 | OK | 299815.8838 | OK |
| 177 | 123913 | 354991.93 | OK | 210469.57 | OK | 252563.4829 | OK |
| 176 | 105601 | 292234.82 | OK | 171779.58 | OK | 206135.4946 | OK |
| 175 | 84361 | 224730.39 | OK | 131954.86 | OK | 158345.8312 | OK |
| 174 | 60193 | 227402.69 | OK | 133498.98 | OK | 160198.7814 | OK |

B

| momen negatif terbesar kabel putus 1 | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-----------|---------|-----------|---------|-------------|------------|
| Elemen | Mu | ØMn | Kontrol | Mcr | Kontrol | 1,2 Mcr | Kontrol |
| | kNm | kNm | ØMn>Mu | kNm | Mcr>Mu | kNm | ØMn>1,2Mcr |
| 214 | -16775 | 172242.05 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| 213 | -15624 | 155543.83 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 215 | -20849 | 155692.83 | OK | 91650.58 | OK | 109980.6997 | OK |
| 212 | -19262 | 138442.37 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 216 | -27136 | 98539.18 | OK | 71688.45 | OK | 86026.13556 | OK |
| 211 | -26126 | 172476.78 | OK | 111532.77 | OK | 133839.3271 | OK |
| 217 | -35636 | 134956.56 | OK | 112044.89 | OK | 134453.865 | OK |
| 210 | -36384 | 116291.35 | OK | 91631.46 | OK | 109957.758 | OK |
| 218 | -49820 | 135420.62 | OK | 112375.68 | OK | 134850.8124 | OK |
| 209 | -30886 | 98457.10 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 219 | -37566 | 116755.40 | OK | 92139.63 | OK | 110567.5567 | OK |
| 208 | -28747 | 98429.73 | OK | 71544.32 | OK | 85853.18878 | OK |
| 220 | -27525 | 116520.64 | OK | 92017.96 | OK | 110421.5475 | OK |
| 207 | -35799 | 116329.68 | OK | 91683.21 | OK | 110019.8546 | OK |
| 221 | -46861 | 117380.69 | OK | 92846.06 | OK | 111415.2729 | OK |
| 206 | -29234 | 115095.03 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 205 | -26582 | 97460.48 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 204 | -32249 | 115225.95 | OK | 90925.58 | OK | 109110.6989 | OK |
| 203 | -25852 | 115063.07 | OK | 90833.19 | OK | 108999.832 | OK |
| 202 | -21667 | 97397.55 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 201 | -28173 | 115152.52 | OK | 90901.01 | OK | 109081.2153 | OK |
| 200 | -17780 | 114949.78 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 199 | -9601 | 97243.03 | OK | 70936.36 | OK | 85123.62644 | OK |
| 198 | -13291 | 114892.85 | OK | 90820.84 | OK | 108985.0082 | OK |
| 197 | 1938 | 78999.70 | OK | 51308.34 | OK | 61570.00268 | OK |
| 196 | 11453 | 155410.14 | OK | 92757.62 | OK | 111309.1428 | OK |
| 195 | 11442 | 154727.29 | OK | 92379.37 | OK | 110855.2485 | OK |
| 194 | 21596 | 154233.46 | OK | 92105.92 | OK | 110527.1018 | OK |
| 193 | 29460 | 227585.77 | OK | 133604.87 | OK | 160325.8394 | OK |
| 192 | 29054 | 226632.14 | OK | 133053.48 | OK | 159664.1779 | OK |
| 191 | 39077 | 225931.50 | OK | 132648.58 | OK | 159178.2914 | OK |
| 190 | 46958 | 296211.28 | OK | 174181.14 | OK | 209017.3635 | OK |
| 189 | 46518 | 294998.12 | OK | 173447.77 | OK | 208137.3232 | OK |
| 188 | 56608 | 362160.26 | OK | 215001.12 | OK | 258001.344 | OK |
| 187 | 64490 | 359827.92 | OK | 213524.05 | OK | 256228.8584 | OK |
| 186 | 64476 | 359829.40 | OK | 213524.99 | OK | 256229.9831 | OK |
| 185 | 73539 | 358864.78 | OK | 212914.85 | OK | 255497.8155 | OK |
| 184 | 80301 | 421486.65 | OK | 253477.52 | OK | 304173.0263 | OK |
| 183 | 80819 | 419711.86 | OK | 252299.99 | OK | 302759.9918 | OK |
| 182 | 86702 | 420707.49 | OK | 252960.36 | OK | 303552.4282 | OK |
| 181 | 90348 | 420263.47 | OK | 252665.79 | OK | 303198.9459 | OK |
| 180 | 90766 | 420212.51 | OK | 252631.99 | OK | 303158.392 | OK |
| 179 | 86890 | 420684.58 | OK | 252945.16 | OK | 303534.1892 | OK |
| 178 | 79882 | 423246.75 | OK | 254647.00 | OK | 305576.3945 | OK |
| 177 | 66408 | 361118.95 | OK | 214341.34 | OK | 257209.6103 | OK |
| 176 | 51250 | 297080.66 | OK | 174707.06 | OK | 209648.4683 | OK |
| 175 | 34411 | 228221.63 | OK | 133972.71 | OK | 160767.2478 | OK |
| 174 | 15889 | 230494.58 | OK | 135288.76 | OK | 162346.517 | OK |

C

Tulangan daerah pengankuran pada gelagar

| Kabel | Angkur (strand) | Kebutuhan tulangan pincar | | | Kebutuhan tulangan pecah | | |
|-------|--------------------|---------------------------|---------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | | n perlu | s perlu | tul pakai | As perlu | n perlu | tul pakai |
| m12 | 61 | 6.48 | 69.47 | 7D12-60 | 334.61 | 2.96 | 3D12 |
| m11 | 85 | 6.43 | 69.97 | 7D12-60 | 486.72 | 4.31 | 5D12 |
| m10 | 127 | 2.20 | 204.58 | 3D12-200 | 650.76 | 5.76 | 6D12 |
| m9 | 91 | 5.30 | 84.84 | 6D12-80 | 507.69 | 4.49 | 5D12 |
| m8 | 73 | 6.05 | 74.33 | 7D12-70 | 394.03 | 3.49 | 4D12 |
| m7 | 61 | 6.36 | 70.74 | 7D12-70 | 328.60 | 2.91 | 3D12 |
| m6 | 61 | 6.64 | 67.73 | 7D12-60 | 343.20 | 3.04 | 4D12 |
| m5 | 73 | 5.96 | 75.48 | 6D12-70 | 388.04 | 3.43 | 4D12 |
| m4 | 73 | 5.73 | 78.58 | 6D12-70 | 372.75 | 3.30 | 4D12 |
| m3 | 61 | 6.39 | 70.45 | 7D12-70 | 329.97 | 2.92 | 3D12 |
| m2 | 55 | 6.83 | 65.90 | 7D12-60 | 317.47 | 2.81 | 3D12 |
| m1 | 61 | 6.28 | 71.71 | 7D12-70 | 324.18 | 2.87 | 3D12 |
| s1 | 55 | 5.83 | 77.17 | 6D12-70 | 271.12 | 2.40 | 3D12 |
| s2 | 127 | 2.00 | 224.98 | 2D12-200 | 591.77 | 5.24 | 6D12 |

Tulangan daerah pengankuran pada blok angkur

| Kabel | Angkur (strand) | Kebutuhan tulangan pincar | | | Kebutuhan tulangan pecah | | |
|-------|--------------------|---------------------------|---------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | | n perlu | s perlu | tul pakai | As perlu | n perlu | tul pakai |
| s3 | 127 | 1.73 | 260.74 | 2D12-250 | 510.59 | 4.52 | 5D12 |
| s4 | 127 | 2.07 | 217.61 | 3D12-200 | 611.81 | 5.41 | 6D12 |
| s5 | 127 | 2.37 | 190.05 | 3D12-150 | 700.52 | 6.20 | 7D12 |

C

Tulangan daerah pengankuran pada *pylon*

| Kabel | Angkur (strand) | Kebutuhan tulangan pencair | | | Kebutuhan tulangan pecah | | |
|-------|--------------------|----------------------------|---------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | | n perlu | s perlu | tul pakai | As perlu | n perlu | tul pakai |
| m12 | 61 | 6.17 | 72.95 | 7D12-70 | 334.61 | 2.96 | 3D12 |
| m11 | 85 | 5.68 | 79.18 | 6D12-70 | 486.72 | 4.31 | 5D12 |
| m10 | 127 | 1.40 | 321.49 | 2D12-300 | 650.76 | 5.76 | 6D12 |
| m9 | 91 | 4.37 | 103.02 | 5D12-100 | 507.69 | 4.49 | 5D12 |
| m8 | 73 | 5.33 | 84.47 | 6D12-80 | 394.03 | 3.49 | 4D12 |
| m7 | 61 | 6.06 | 74.28 | 7D12-70 | 328.60 | 2.91 | 3D12 |
| m6 | 61 | 6.33 | 71.12 | 7D12-70 | 343.20 | 3.04 | 4D12 |
| m5 | 73 | 5.25 | 85.77 | 6D12-80 | 388.04 | 3.43 | 4D12 |
| m4 | 73 | 5.04 | 89.29 | 6D12-80 | 372.75 | 3.30 | 4D12 |
| m3 | 61 | 6.08 | 73.97 | 7D12-70 | 329.97 | 2.92 | 3D12 |
| m2 | 55 | 6.15 | 73.22 | 7D12-70 | 317.47 | 2.81 | 3D12 |
| m1 | 61 | 5.98 | 75.29 | 6D12-70 | 324.18 | 2.87 | 3D12 |
| s1 | 55 | 5.25 | 85.74 | 6D12-80 | 271.12 | 2.40 | 3D12 |
| s2 | 127 | 1.27 | 353.54 | 2D12-350 | 591.77 | 5.24 | 6D12 |
| s3 | 127 | 1.10 | 409.74 | 2D12-350 | 510.59 | 4.52 | 5D12 |
| s4 | 127 | 1.32 | 341.96 | 2D12-300 | 611.81 | 5.41 | 6D12 |
| s5 | 127 | 1.51 | 298.65 | 2D12-250 | 700.52 | 6.20 | 7D12 |

D

VSL POST-TENSIONING SOLUTIONS



CONCEPTUAL DESIGN
ENGINEERING SOLUTIONS
CONSTRUCTION PARTNER
FOR BRIDGES, BUILDINGS
CONTAINMENT
STRUCTURES, SLAB ON
GRADE, SPECIAL
STRUCTURES, REPAIR
AND STRENGTHENING

D



1.3 - STRAND PROPERTIES 15mm (0.6")

| Strand type | prEN 10118 – 3 (N06) | | | ASTM A 416-06 | |
|---|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | Y 980057 | | | Grade 270 | |
| Nominal diameter | d (mm) | 15.3 | 15.7 | 15.24 | |
| Nominal cross section | A _n (mm ²) | 140 | 150 | 140 | |
| Nominal mass | M (kg/m) | 1.093 | 1.172 | 1.102 | |
| Nominal yield strength | f _{yk,1} (MPa) | 1634 ¹ | 1640 ² | 1674 ³ | |
| Nominal tensile strength | f _{tk} (MPa) | 1863 | 1860 | 1860 | |
| Spact./min. breaking load | F _{pk} (kN) | 260 | 279 | 260.7 | |
| Young's modulus | (GPa) | approx. 205 | | | |
| Reduction ⁴ after 1000 h at 20°C and 0.7 x F _{pk} | (%) | | | | max. 2.5 |

¹ Value related to mass of 0.1% probability
² Value related to 1% reduction in cross section
³ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)

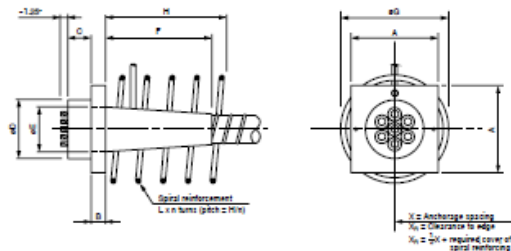
1.4 - TENDON PROPERTIES 15mm (0.6")

| Unit | Strands numbers | Steel area | | Breaking load | | | | Corrugated steel disc ¹ (recommended) | | Corrugated plate ² (sheet PUL-PLERS ³) | | Steel plates # cat. r.t |
|------|-----------------|--|--|--|--|---|-------|--|------|---|----|----------------------------|
| | | A _p acc. to prEN | ASTM | Y186557 (prEN) | Grade 270 (ASTM) | Ø / Ø _h | α | Ø / Ø _h | α | | | |
| | | 6-15.3 mm A _p =140 mm ² | 6-15.3 mm A _p =150 mm ² | 6-15.3 mm A _p =140 mm ² | 6-15.3 mm A _p =150 mm ² | 6-15.24 mm A _p =140 mm ² | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | | |
| 6-1 | 1 | 140 | 150 | 140 | 268 | 279 | 267.0 | 29.90 | 5 | 70.00 | 4 | 30.8 x 3.0 |
| | 2 | 280 | 300 | 280 | 537 | 558 | 534 | 40.46 | 9 | 70.00 | - | 42.4 x 3.02 x 0.8 |
| 6-1 | 3 | 420 | 450 | 420 | 710 | 737 | 707 | 40.46 | 6 | 70.00 | - | 42.4 x 3.02 x 0.8 |
| | 4 | 560 | 600 | 560 | 900 | 934 | 903 | 40.50 | 7 | 70.00 | - | 42.3 x 3.02 x 0.8 |
| 6-1 | 5 | 700 | 750 | 700 | 1090 | 1130 | 1094 | 40.50 | 8 | 70.00 | 11 | 76.3 x 3.02 x 0.8 |
| | 6 | 840 | 900 | 840 | 1280 | 1324 | 1284 | 40.46 | 9 | 70.00 | 13 | 76.3 x 3.02 x 0.8 |
| 6-12 | 7 | 980 | 1050 | 980 | 1470 | 1527 | 1485 | 40.46 | 7 | 70.00 | 9 | 76.3 x 3.02 x 0.8 |
| | 8 | 1120 | 1200 | 1120 | 1660 | 1720 | 1686 | 40.72 | 11 | 70.00 | 13 | 88.8 x 3.02 x 2.5 |
| 6-12 | 9 | 1260 | 1350 | 1260 | 1850 | 1917 | 1874 | 40.72 | 9 | 70.00 | 16 | 88.8 x 3.02 x 2.5 |
| | 10 | 1400 | 1500 | 1400 | 2040 | 2110 | 2067 | 40.72 | 11 | 70.00 | 13 | 88.8 x 3.02 x 2.5 |
| 6-12 | 11 | 1540 | 1650 | 1540 | 2230 | 2307 | 2264 | 40.72 | 9 | 70.00 | 11 | 88.8 x 3.02 x 2.5 |
| | 12 | 1680 | 1800 | 1680 | 2420 | 2497 | 2454 | 40.72 | 11 | 70.00 | 12 | 88.8 x 3.02 x 2.5 |
| 6-15 | 13 | 1820 | 1950 | 1820 | 2610 | 2687 | 2644 | 40.97 | 13 | 70.00 | 15 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 14 | 1960 | 2100 | 1960 | 2800 | 2877 | 2834 | 40.97 | 13 | 70.00 | 20 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-15 | 15 | 2100 | 2250 | 2100 | 2990 | 3067 | 3024 | 40.97 | 10 | 70.00 | 21 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 16 | 2240 | 2400 | 2240 | 3180 | 3257 | 3214 | 40.97 | 12 | 70.00 | 22 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-18 | 17 | 2380 | 2550 | 2380 | 3370 | 3447 | 3404 | 40.97 | 13 | 70.00 | 20 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 18 | 2520 | 2700 | 2520 | 3560 | 3637 | 3594 | 40.97 | 13 | 70.00 | 19 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-18 | 19 | 2660 | 2850 | 2660 | 3750 | 3827 | 3784 | 40.97 | 12 | 70.00 | 18 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 20 | 2800 | 3000 | 2800 | 3940 | 4017 | 3974 | 40.97 | 13 | 70.00 | 17 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-22 | 21 | 2940 | 3150 | 2940 | 4130 | 4207 | 4164 | 40.97 | 16 | 70.00 | 16 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 22 | 3080 | 3300 | 3080 | 4320 | 4397 | 4354 | 40.97 | 15 | 70.00 | 15 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-27 | 23 | 3220 | 3450 | 3220 | 4510 | 4587 | 4544 | 40.97 | 14 | 70.00 | 14 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 24 | 3360 | 3600 | 3360 | 4700 | 4777 | 4734 | 40.97 | 13 | 70.00 | 13 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-31 | 25 | 3500 | 3750 | 3500 | 4890 | 4967 | 4924 | 40.97 | 18 | 70.00 | 12 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 26 | 3640 | 3900 | 3640 | 5080 | 5157 | 5114 | 40.97 | 17 | 70.00 | 11 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-31 | 27 | 3780 | 4050 | 3780 | 5270 | 5347 | 5304 | 40.97 | 16 | 70.00 | 10 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 28 | 3920 | 4200 | 3920 | 5460 | 5537 | 5494 | 40.97 | 21 | 70.00 | 27 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-31 | 29 | 4060 | 4350 | 4060 | 5650 | 5727 | 5684 | 40.97 | 21 | 70.00 | 27 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 30 | 4200 | 4500 | 4200 | 5840 | 5917 | 5874 | 40.97 | 20 | 70.00 | 26 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-31 | 31 | 4340 | 4650 | 4340 | 6030 | 6107 | 6064 | 40.97 | 19 | 70.00 | 25 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 32 | 4480 | 4800 | 4480 | 6220 | 6297 | 6254 | 40.97 | 18 | 70.00 | 24 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-37 | 33 | 4620 | 4950 | 4620 | 6410 | 6487 | 6444 | 40.97 | 17 | 70.00 | 23 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 34 | 4760 | 5100 | 4760 | 6600 | 6677 | 6634 | 40.97 | 16 | 70.00 | 22 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-41 | 35 | 4900 | 5250 | 4900 | 6790 | 6867 | 6824 | 40.97 | 22 | 70.00 | 22 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| | 36 | 5040 | 5400 | 5040 | 6980 | 7057 | 7014 | 40.97 | 21 | 70.00 | 21 | 205.6 x 3.02 x 0.8 |
| 6-37 | 37 | 5180 | 5550 | 5180 | 7170 | 7247 | 7204 | 40.97 | 20 | 70.00 | 20 | 158.7 x 3.02 x 0.8 |
| | 38 | 5320 | 5700 | 5320 | 7360 | 7437 | 7394 | 40.97 | 21 | 70.00 | 20 | 158.7 x 3.02 x 0.8 |
| 6-41 | 39 | 5460 | 5850 | 5460 | 7550 | 7627 | 7584 | 40.97 | 20 | 70.00 | 21 | 158.7 x 3.02 x 0.8 |
| | 40 | 5600 | 6000 | 5600 | 7740 | 7817 | 7774 | 40.97 | 19 | 70.00 | 21 | 158.7 x 3.02 x 0.8 |

¹ Value related to mass
² Value related to 1% reduction in cross section
³ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
⁴ Value related to mass of 0.1% probability
⁵ Value related to 1% reduction in cross section
⁶ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
⁷ Value related to mass of 0.1% probability
⁸ Value related to 1% reduction in cross section
⁹ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
¹⁰ Value related to mass of 0.1% probability
¹¹ Value related to 1% reduction in cross section
¹² Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
¹³ Value related to mass of 0.1% probability
¹⁴ Value related to 1% reduction in cross section
¹⁵ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
¹⁶ Value related to mass of 0.1% probability
¹⁷ Value related to 1% reduction in cross section
¹⁸ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
¹⁹ Value related to mass of 0.1% probability
²⁰ Value related to 1% reduction in cross section
²¹ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
²² Value related to mass of 0.1% probability
²³ Value related to 1% reduction in cross section
²⁴ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)
²⁵ Value related to mass of 0.1% probability
²⁶ Value related to 1% reduction in cross section
²⁷ Value for maximum clear acc. to prEN 10118-3 (low relaxation grade acc. to EN 10138)

VSL MULTISTRAND SYSTEMS:

Type E Stressing Anchorage



| Tendon Unit | Dimensions (Inches) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----|-------|-------|
| | A | B | C | ∅D | ∅E | F | ∅G | H | J | J* | L | n | X | |
| 0.5" Strand | 5-1 | 2.76 | 0.59 | 1.77 | 3.05 | 0.59 | 2.76 | 3.15 | 3.54 | 0.86 | 1.18 | ∅6 | 2 | 3.54 |
| | 5-3 | 4.83 | 0.79 | 1.97 | 3.54 | 1.07 | 7.48 | 5.17 | 5.91 | 1.57 | 1.17 | ∅4 | 3 | 6.30 |
| | 5-4 | 5.12 | 0.79 | 1.97 | 3.74 | 2.17 | 7.48 | 8.30 | 5.91 | 1.77 | 1.07 | ∅4 | 3 | 7.92 |
| | 5-7 | 6.89 | 0.98 | 2.17 | 4.33 | 2.91 | 7.48 | 8.97 | 7.97 | 2.17 | 2.36 | ∅4 | 4 | 9.25 |
| | 5-12 | 9.06 | 1.36 | 2.36 | 5.91 | 4.06 | 14.57 | 11.22 | 9.84 | 2.36 | 2.83 | ∅4 | 5 | 12.01 |
| | 5-19 | 11.42 | 1.57 | 2.96 | 7.09 | 5.31 | 18.50 | 14.37 | 11.81 | 3.15 | 3.43 | ∅6 | 6 | 15.16 |
| | 5-27 | 12.43 | 1.77 | 3.35 | 7.48 | 5.91 | 18.50 | 15.55 | 14.17 | 3.35 | 3.62 | ∅6 | 6 | 16.34 |
| | 5-31 | 14.57 | 2.17 | 3.74 | 8.30 | 6.77 | 21.85 | 18.93 | 15.74 | 3.54 | 4.21 | ∅6 | 6 | 18.20 |
| | 5-37 | 16.34 | 2.36 | 4.13 | 9.45 | 7.40 | 22.44 | 20.05 | 16.54 | 4.12 | 5.00 | ∅7 | 7 | 21.06 |
| | 5-43 | 17.30 | 2.36 | 4.53 | 10.24 | 8.50 | 26.77 | 21.85 | 18.96 | 5.17 | 5.30 | ∅7 | 8 | 22.83 |
| 5-55 | 19.89 | 2.76 | 5.12 | 11.42 | 9.06 | 26.77 | 24.41 | 21.26 | 5.51 | 5.91 | ∅7 | 9 | 25.79 | |
| 0.6" Strand | 6-1 | 2.95 | 0.59 | 1.97 | 2.09 | 0.71 | 2.76 | 3.15 | 3.54 | 1.18 | 1.38 | ∅6 | 2 | 4.13 |
| | 6-7 | 4.33 | 0.59 | 1.97 | 2.94 | 1.07 | 7.48 | 5.17 | 5.91 | 1.77 | 1.07 | ∅4 | 3 | 5.91 |
| | 6-4 | 5.30 | 0.98 | 2.17 | 4.33 | 2.06 | 7.48 | 7.48 | 7.97 | 1.07 | 2.17 | ∅4 | 4 | 6.97 |
| | 6-7 | 6.07 | 1.38 | 2.36 | 5.31 | 3.31 | 11.42 | 10.24 | 9.84 | 2.36 | 2.94 | ∅4 | 5 | 11.03 |
| | 6-12 | 10.63 | 1.57 | 2.96 | 6.89 | 4.66 | 18.11 | 13.56 | 11.81 | 3.15 | 3.43 | ∅6 | 6 | 14.39 |
| | 6-19 | 13.36 | 1.77 | 3.35 | 7.97 | 5.91 | 23.53 | 19.53 | 17.94 | 3.74 | 4.02 | ∅6 | 6 | 16.11 |
| | 6-27 | 14.57 | 2.17 | 3.74 | 8.66 | 6.77 | 27.17 | 18.50 | 15.74 | 4.33 | 4.61 | ∅6 | 6 | 17.40 |
| | 6-31 | 17.13 | 2.36 | 4.13 | 10.24 | 7.56 | 27.17 | 22.05 | 18.96 | 5.12 | 5.30 | ∅7 | 8 | 23.23 |
| | 6-37 | 18.90 | 2.76 | 5.12 | 11.02 | 8.46 | 32.88 | 24.02 | 21.26 | 5.51 | 5.91 | ∅7 | 9 | 25.70 |
| | 6-43 | 20.14 | 2.36 | 5.51 | 11.81 | 9.10 | 37.40 | 26.59 | 25.25 | 5.91 | 6.30 | ∅8 | 9 | 29.14 |
| 6-55 | 22.83 | 3.54 | 6.30 | 13.39 | 10.94 | 37.40 | 26.13 | 24.83 | 6.89 | 7.09 | ∅8 | 9 | 30.71 | |

Notes:

- Other sizes available on request.
- Anchorage spacings are in accordance with test requirements of FIP (Recommendations for Acceptance of Post-Tensioning Systems: March 1992). For proper design and detailing of anchorage zones and related reinforcement, refer to the VSL Publication *Detailing for Post-Tensioning*.

Dimensions are valid for:

- Nominal minimum concrete cylinder strength at 28 days: 4000 psi (28 MPa).
- Maximum prestressing force may be applied when concrete reaches a cylinder strength of 3,500 psi (24 MPa).
- Temporary overstraining to 80% of Guaranteed Ultimate Tensile Strength.
- Yield strength of spiral reinforcement: Grade 60 (400 MPa).
- Information for other concrete strength and conditions are available from your local VSL Representative.
- Large bearing plates are available where bearing stress is arbitrarily limited to 3,000 psi (21 MPa) with the tendon locked off at 70% Guaranteed Ultimate Tensile Strength.
- Spiral reinforcement shall be centered on the anchorage assembly end and be placed directly behind the bearing plate.
- Additional orthogonal reinforcement may be required in the local anchorage zone as determined by design.

E

VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM



DESIGN
ENGINEERING
SUPPLY
INSTALLATION
MONITORING

THE SSI 2000 SYSTEM'S FEATURES

Compatible with modern construction methods

Compact anchorages fully prefabricated in workshop, no anchorage component assembly on the deck, single strand installation with light equipment, easy force monitoring and adjustment.

Increased corrosion protection

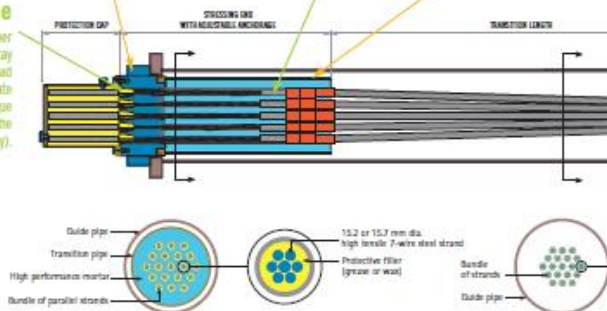
Factory-applies individual protection treatment, up to 100 years design life in the most aggressive environments.

Full encapsulation

Each strand separately protected inside the anchorage.

High fatigue resistance

200 MPa with an upper load of 45% of the stay capacity over 2×10^7 load cycles, excellent ultimate resistance after fatigue testing (min. 95% of the specified stay capacity).



SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY FOR BRIDGES

The SSI 2000 stay cable system is based on the proven VSL stay cable wedge/strand anchorage technology, which has been applied for over 20 years. Meeting the most stringent requirements, it has been used in more than 70 stay cable projects and successfully passed many full-scale tests.

Easier to use

The VSL SSI 2000 system is easier to use in all types of cable stayed bridge designs. It incorporates multiple independent and hard-wearing protection layers to guarantee long term performance. The system also allows

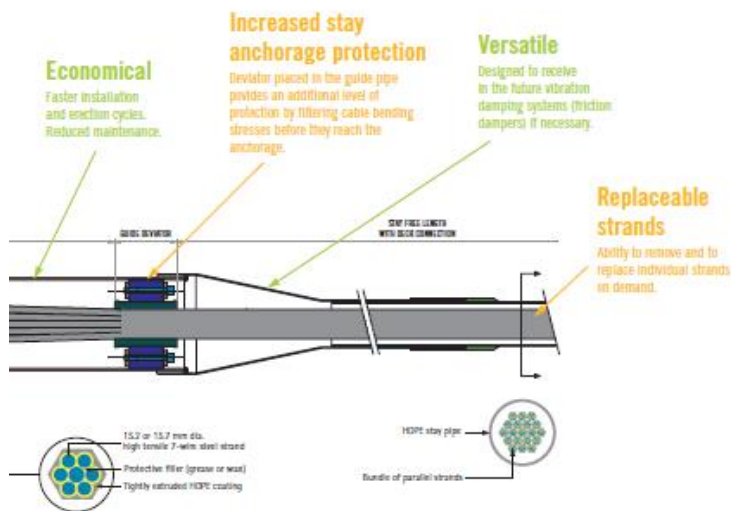
for easy inspection and, where required, cable replacement. It meets and often exceeds the requirements of the latest PCI recommendations for stay cable systems.

The system has been optimized to facilitate cable installation on site. Because it uses prefabricated anchorages, there is no anchorage component assembly on the deck or the pylons along the critical bridge erection path. These very compact anchorages permit easy installation in confined locations inside box girders or pylons. Single strand installation and stressing are standard features of this system. The 15.2- or 15.7-mm diameter, high-tensile,

7-wire steel strand is the prime element of this stay cable. It is delivered as uncoated, i.e. greased or waxed and sheathed. The strand is factory-manufactured to VSL specifications. Filter grease or wax is applied to fill the voids around wires. The strand is overlaid with a highly saturated HDPE core. While not required for durability the SSI 2000 system can, on request, be delivered with a galvanized or other type of metallic coating.

Full individual encapsulation

The individual encapsulation of each strand avoids the risk of corrosion migration inside stay



cable areas that cannot be visually inspected. Full individual strand encapsulation is achieved by providing each strand with its own protection tube and sealing details in the anchorages. The performance of the seals can be checked at any time during the design life of the stay. This special sealing system also ensures full protection of the strand during the construction phase. The SSI 2000 system guarantees that the quality of the factory-applied individual protection treatment is maintained over the entire length of the strands, from wedge to wedge, and next to wedges where the protection treatment needs to be removed during installation.

Protections for higher durability

Anchorage details are designed to filter vibration and bending stresses in the cable before they reach the wedge anchorages. The deviator placed inside the guide pipe provides the anchorage with an additional level of protection from imposed cable rotations. The corrosion protection systems on the anchorages have been designed to provide up to 100 years of design life in the most aggressive environments.

Options

In its standard configuration, the VSL SSI 2000 stay cable system is delivered with its

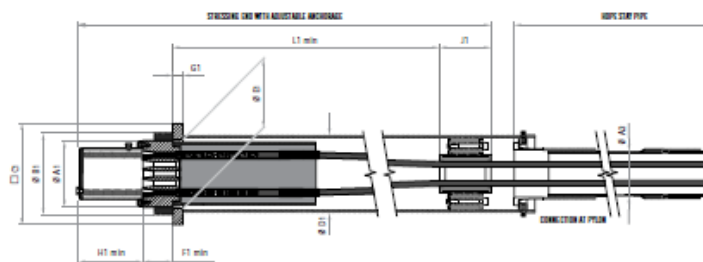
monofilaments positioned inside a black HDPE stay pipe but without any metallic coating. It does not require greasing over the free length. The system can be supplied with a number of options, including use of metal-coated (i.e. galvanised) monofilaments, coloured HDPE stay pipe (co-extruded or fully coloured), special helical anti-vibration ribs on the stay pipe, stabilising cables, special anti-vibration damper next to one end of the cable, generally at dock level for easy maintenance and designed to provide high performance and easy installation on both new and existing bridges.

W CONCEPT FOR DURABILITY

VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM

E

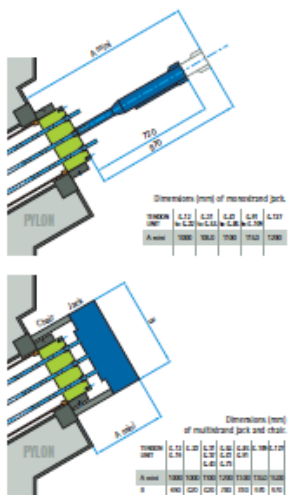
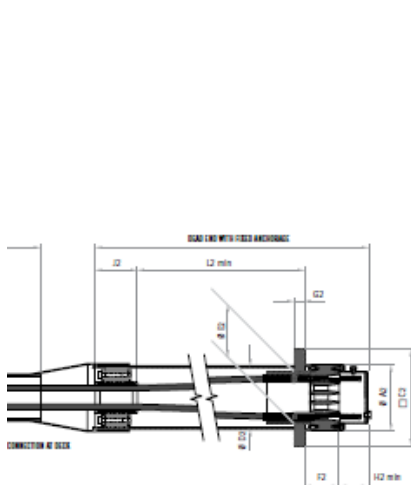
VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS



Stay

Stressing End

| TONNEN UNIT | Number of strands n | Minimum breaking load kN | Force at 40% kN | Tensioning force kN | TONNEN UNIT | Ø A1 mm | Ø B1 mm | C1 mm | Ø D1 mm | Ø E1 mm | F1 mm | G1 mm | H1 mm | I1 mm | L1 min mm |
|-------------|---------------------|--------------------------|-----------------|---------------------|-------------|---------|---------|-------|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| G-12 | 12 | 2,348 | 1,507 | 50 | G-12 | 190 | 230 | 290 | 219.1/6.3 | 196 | 85 | 30 | 235 | 160 | 1,500 |
| G-19 | 19 | 5,201 | 2,385 | 80 | G-19 | 235 | 285 | 355 | 267/6.3 | 241 | 100 | 35 | 245 | 180 | 1,750 |
| G-22 | 22 | 6,138 | 2,702 | 90 | G-22 | 255 | 310 | 385 | 298.5/7.1 | 261 | 110 | 40 | 245 | 210 | 1,900 |
| G-31 | 31 | 8,649 | 3,892 | 130 | G-31 | 285 | 350 | 440 | 323.9/7.1 | 291 | 130 | 45 | 275 | 210 | 2,100 |
| G-37 | 37 | 10,223 | 4,645 | 150 | G-37 | 310 | 380 | 485 | 355.6/8.0 | 316 | 140 | 50 | 295 | 210 | 2,300 |
| G-43 | 43 | 11,997 | 5,399 | 180 | G-43 | 350 | 425 | 540 | 406.4/8.0 | 356 | 145 | 55 | 305 | 210 | 2,550 |
| G-55 | 55 | 15,345 | 6,905 | 230 | G-55 | 385 | 470 | 585 | 419/10 | 391 | 165 | 60 | 325 | 260 | 2,850 |
| G-61 | 61 | 17,019 | 7,659 | 250 | G-61 | 385 | 470 | 600 | 419/10 | 391 | 180 | 65 | 345 | 260 | 2,850 |
| G-73 | 73 | 20,367 | 9,165 | 300 | G-73 | 440 | 530 | 680 | 506/11 | 446 | 180 | 75 | 345 | 290 | 3,050 |
| G-85 | 85 | 23,715 | 10,672 | 350 | G-85 | 440 | 540 | 710 | 506/11 | 446 | 210 | 80 | 375 | 290 | 3,150 |
| G-91 | 91 | 25,389 | 11,425 | 375 | G-91 | 490 | 590 | 760 | 550/12.5 | 496 | 195 | 80 | 385 | 320 | 3,400 |
| G-109 | 109 | 30,411 | 13,685 | 450 | G-109 | 505 | 610 | 795 | 550/12.5 | 511 | 215 | 90 | 400 | 320 | 3,550 |
| G-127 | 127 | 35,433 | 15,945 | 525 | G-127 | 560 | 670 | 865 | 610/12.5 | 566 | 255 | 95 | 410 | 340 | 3,950 |



Dead End

| TENSION UNIT | ØK2 mm | Ø2 mm | ØØ2 mm | ØK2 mm | F2 mm | Ø2 mm | Ø2 mm | Ø2 mm | Lbase mm | ØK3 mm | TENSION UNIT |
|--------------|--------|-------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|---------|--------------|
| 6-12 | 165 | 200 | 177.9/4.5 | 150 | 105 | 35 | 105 | 140 | 900 | 125/4.9 | 6-12 |
| 6-19 | 230 | 335 | 219.1/6.3 | 190 | 120 | 50 | 105 | 180 | 1,200 | 140/5.4 | 6-19 |
| 6-22 | 250 | 355 | 219.1/6.3 | 205 | 120 | 50 | 105 | 210 | 1,350 | 160/6.2 | 6-22 |
| 6-31 | 280 | 415 | 244.5/6.3 | 230 | 145 | 60 | 105 | 210 | 1,550 | 160/6.2 | 6-31 |
| 6-37 | 300 | 455 | 273/6.3 | 255 | 170 | 70 | 105 | 210 | 1,750 | 180/6.6 | 6-37 |
| 6-43 | 340 | 505 | 323.9/7.1 | 285 | 175 | 75 | 105 | 210 | 2,000 | 200/6.2 | 6-43 |
| 6-55 | 380 | 550 | 323.9/7.1 | 310 | 195 | 75 | 105 | 240 | 2,050 | 200/6.2 | 6-55 |
| 6-61 | 380 | 585 | 355.6/8 | 330 | 215 | 85 | 105 | 240 | 2,250 | 225/7.0 | 6-61 |
| 6-73 | 430 | 650 | 406.4/8.8 | 370 | 215 | 95 | 120 | 290 | 2,450 | 250/7.8 | 6-73 |
| 6-85 | 430 | 685 | 406.4/8.8 | 370 | 245 | 110 | 120 | 290 | 2,600 | 250/7.8 | 6-85 |
| 6-91 | 480 | 730 | 457/10 | 420 | 255 | 110 | 120 | 320 | 2,800 | 280/8.7 | 6-91 |
| 6-109 | 495 | 775 | 457/10 | 420 | 265 | 120 | 120 | 320 | 3,000 | 315/9.8 | 6-109 |
| 6-127 | 550 | 845 | 509/11 | 475 | 315 | 130 | 120 | 340 | 3,350 | 315/9.8 | 6-127 |

Stay Pipe

- ① Forms are indicated for strand EN 10328-2 1860/7 - 16.0 (diameters).
- ② Admissible transverse force on the standard guide deviation.
- ③ Valid for nominal concrete strength at casting of 40% of slab capacity: 45 MPa (cable), 30 MPa (pile/rod). Dimension must be checked in case of other bearing conditions.
- ④ External diameter wall thickness.
- ⑤ Minimum height of anchor head allows an adjustability of 40 mm.
- ⑥ Dimensions valid for load monitoring/adjustment with multi-strand jacks.
- ⑦ Non-graded size.
- ⑧ Guide pipe to be checked for the actual transverse force.

W CONCEPT FOR DURABILITY

YSL 150 2000 STAY CABLE SYSTEM 2

F

VSL CTT POT BEARINGS



DESIGN
ENGINEERING

TECHNICAL
SUPPORT

BEARING
FABRICATION

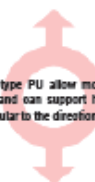
CE

VSL – CTT POT BEARINGS

Type PU

H2

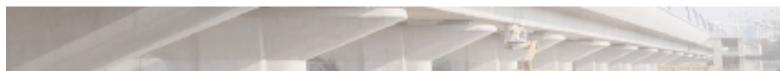
Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.



Bearings according to Euronorm EN 1337

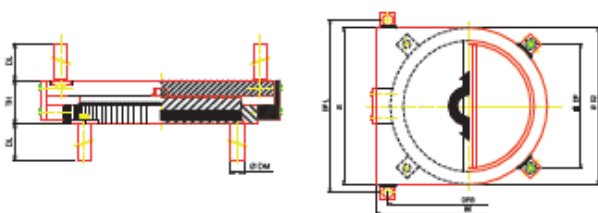
| BEARING TYPE | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | V min SLS, ULS (kN) | Aprox. Weight (kg) |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| PU 100/70/H2 EN | 977 | 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 |

Bearings have been designed with the following parameters :
 Concrete on Deck is H40 ($f_{ck} = 40$ Mpa)
 Concrete on Piers and Abutment is H30 ($f_{ck} = 30$ 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 ± 50 mm
 Rotation 0,01 rad
 Other models are available under request



Main Dimensions

| BEARING TYPE | Put Ø D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions LS x SS (mm) | Recommended Pier Ø (mm) | DM Ø (mm) | DL (mm) | DPL (mm) | DPB (mm) | DP (mm) |
|--------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------|------------|-------------|-------------|------------|
| PU 100/70/H2 EN | 250 | 83 | 290 x 250 | 400 | 30 | 150 | 200 | 310 | 219 |
| PU 200/140/H2 EN | 512 | 84 | 347 x 312 | 499 | 30 | 150 | 257 | 372 | 263 |
| PU 300/210/H2 EN | 390 | 103 | 405 x 390 | 624 | 30 | 150 | 315 | 450 | 318 |
| PU 390/280/H2 EN | 439 | 105 | 440 x 439 | 702 | 40 | 200 | 350 | 499 | 353 |
| PU 490/350/H2 EN | 492 | 113 | 492 x 492 | 787 | 40 | 200 | 402 | 552 | 390 |
| PU 630/450/H2 EN | 553 | 129 | 553 x 553 | 885 | 40 | 200 | 463 | 613 | 433 |
| PU 700/500/H2 EN | 588 | 130 | 588 x 588 | 941 | 60 | 300 | 478 | 668 | 472 |
| PU 840/650/H2 EN | 624 | 148 | 624 x 624 | 998 | 60 | 300 | 514 | 704 | 498 |
| PU 900/650/H2 EN | 651 | 149 | 651 x 651 | 1.042 | 60 | 300 | 541 | 731 | 517 |
| PU 1000/700/H2 EN | 673 | 150 | 673 x 673 | 1.077 | 60 | 300 | 563 | 735 | 532 |
| PU 1120/800/H2 EN | 721 | 153 | 721 x 721 | 1.154 | 60 | 300 | 611 | 801 | 566 |
| PU 1200/850/H2 EN | 754 | 154 | 754 x 754 | 1.206 | 60 | 300 | 644 | 834 | 590 |
| PU 1320/950/H2 EN | 782 | 166 | 782 x 782 | 1.251 | 60 | 300 | 672 | 862 | 610 |
| PU 1400/1000/H2 EN | 804 | 167 | 804 x 804 | 1.286 | 60 | 300 | 694 | 884 | 625 |
| PU 1535/1100/H2 EN | 838 | 184 | 838 x 838 | 1.341 | 70 | 350 | 718 | 928 | 656 |
| PU 1700/1200/H2 EN | 880 | 186 | 880 x 880 | 1.408 | 70 | 350 | 760 | 970 | 686 |
| PU 1800/1300/H2 EN | 914 | 188 | 914 x 914 | 1.462 | 80 | 400 | 784 | 1014 | 717 |
| PU 2000/1400/H2 EN | 944 | 200 | 944 x 944 | 1.510 | 80 | 400 | 814 | 1044 | 738 |
| PU 2100/1500/H2 EN | 978 | 201 | 978 x 978 | 1.565 | 90 | 450 | 848 | 1078 | 762 |
| PU 2250/1600/H2 EN | 1.022 | 214 | 1022 x 1022 | 1.635 | 90 | 450 | 892 | 1122 | 793 |
| PU 2400/1700/H2 EN | 1.048 | 215 | 1048 x 1048 | 1.677 | 90 | 450 | 918 | 1148 | 812 |
| PU 2500/1800/H2 EN | 1.077 | 221 | 1077 x 1077 | 1.723 | 90 | 450 | 947 | 1177 | 832 |
| PU 2650/1900/H2 EN | 1.108 | 223 | 1108 x 1108 | 1.775 | 90 | 450 | 978 | 1208 | 854 |
| PU 2800/2000/H2 EN | 1.151 | 225 | 1151 x 1151 | 1.842 | 90 | 450 | 1021 | 1251 | 885 |
| PU 3000/2200/H2 EN | 1.286 | 234 | 1286 x 1286 | 2.058 | 90 | 450 | 1158 | 1386 | 980 |



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CIT without prior notification.



G



Bridge Accessories

MAURER Swivel-Joist Expansion Joint



MAURER SÖHNE
Innovations in steel

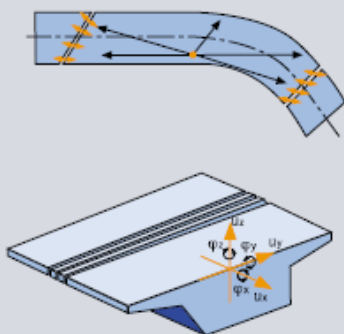
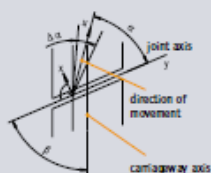


Versatility

MAURER Swivel Joint Expansion Joints can absorb all movements customary in bridge construction. The versatile mechanism of this type makes it suitable for variable slew angles along axes oriented 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-FU only applications of frequent use had been considered (please also refer to the accompanying 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.

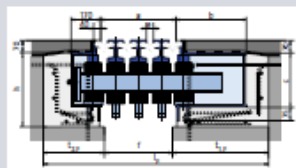
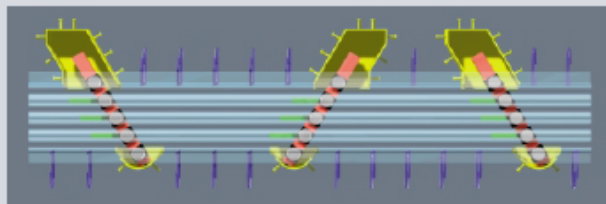
| type | weight [kg/m] | type | weight [kg/m] |
|-------|------------------|--------|------------------|
| D5160 | 270 | D5720 | 930 |
| D5240 | 350 | D5800 | 1030 |
| D5320 | 440 | D5880 | 1140 |
| D5400 | 530 | D5960 | 1260 |
| D5480 | 620 | D51040 | 1380 |
| D5560 | 720 | D51120 | 1500 |
| D5640 | 820 | D51200 | 1620 |

The given numbers of the weight of joints is only to calculate the size of cranes and lifting devices.

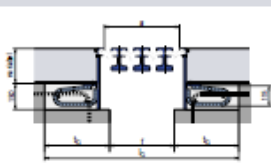
| n | type | u_x [mm] | $u_y^*)$ [mm] | $u_z^*)$ [mm] | α [°] | $\Delta\alpha$ | β [°] |
|----|--------|---------------|------------------|------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| 2 | D5160 | 130 (160) | ± 80 | ± 10 | | | |
| 3 | D5240 | 195 (240) | ± 120 | ± 15 | | | |
| 4 | D5320 | 260 (320) | ± 160 | ± 20 | | | |
| 5 | D5400 | 325 (400) | ± 200 | ± 25 | | | |
| 6 | D5480 | 390 (480) | ± 240 | ± 30 | | | |
| 7 | D5560 | 455 (560) | ± 280 | ± 35 | | | |
| 8 | D5640 | 520 (640) | ± 320 | ± 40 | | | |
| 9 | D5720 | 585 (720) | ± 360 | ± 40 | | | |
| 10 | D5800 | 650 (800) | ± 400 | ± 40 | | | |
| 11 | D5880 | 715 (880) | ± 440 | ± 40 | | | |
| 12 | D5960 | 780 (960) | ± 480 | ± 45 | | | |
| 13 | D51040 | 845 (1040) | ± 520 | ± 45 | | | |
| 14 | D51120 | 910 (1120) | ± 560 | ± 45 | | | |
| 15 | D51200 | 975 (1200) | ± 600 | ± 45 | | | |
| | | | | | $90^\circ \pm 45^\circ$ | any | any |

*) Values apply to standard design, bigger values are possible, too.

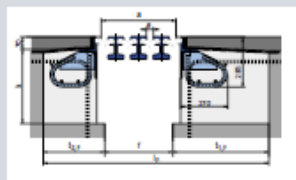
Movement of support bars to one side only Recess dimensions



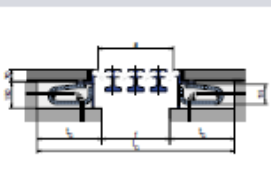
cross section through support box at cartiageway



footway cross section - version 1



cartiageway cross section at anchorage



footway cross section - version 2

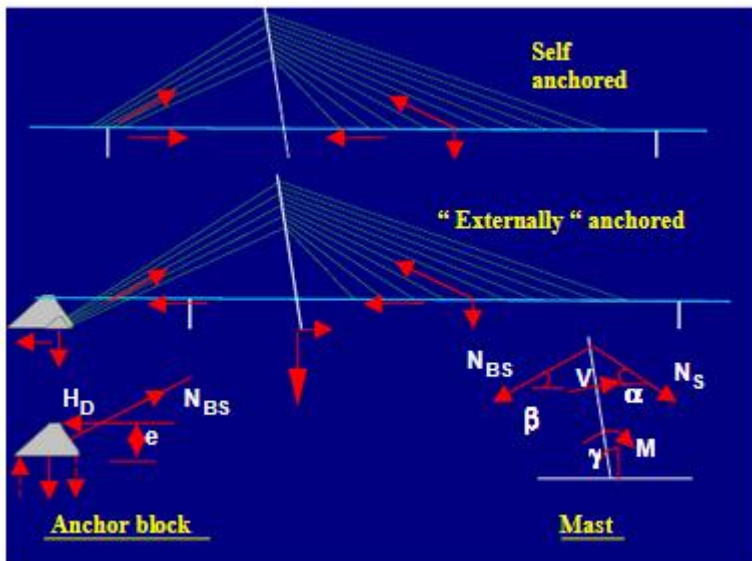
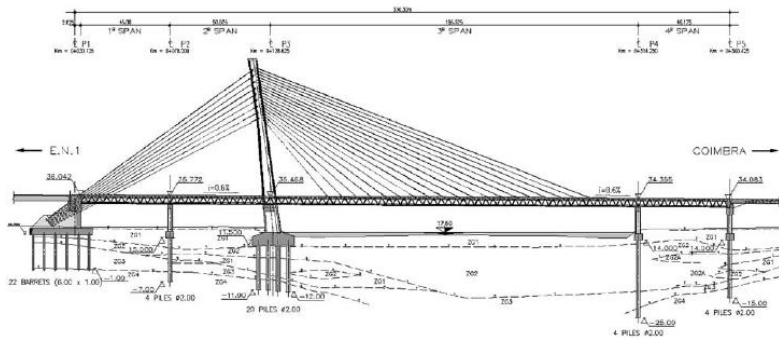
| Presetting of gap dimension $e = 30$ mm | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| MAURER exp. joint | structural dimensions | | | | concrete recess dimensions | | | | concrete gap dimensions | | | |
| | n | type | a (mm) | b (mm) | c (mm) | h (mm) | $l_{1,F}$ (mm) | $l_{2,F}+l_{2,G}$ (mm) | f_{min} (mm) | f_{max} (mm) | l_f (mm) | l_G (mm) |
| 2 | DS160 | 150 | 200 | 200 | 420 | 400 | 350 | 115 | 130 | 965 | 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 | |
| 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 TV/THU you must also observe the details given in the standard testing specifications

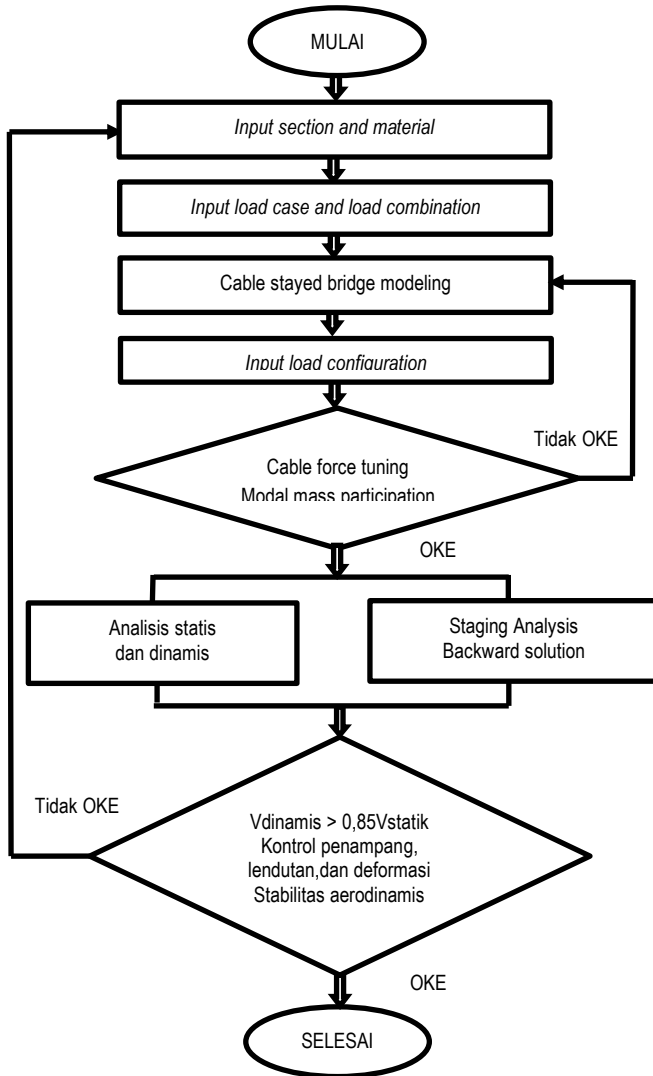
- All dimensions are rectangular to the joint axis.
- n = number of sealing elements
- a , f and l apply to a presetting dimension $e = 30$ mm for every joint gap and must be adjusted by $n \times \Delta e$ in case of deviating presetting dimension e .
- recesses for footway joists, restraints and tube 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.

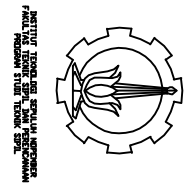
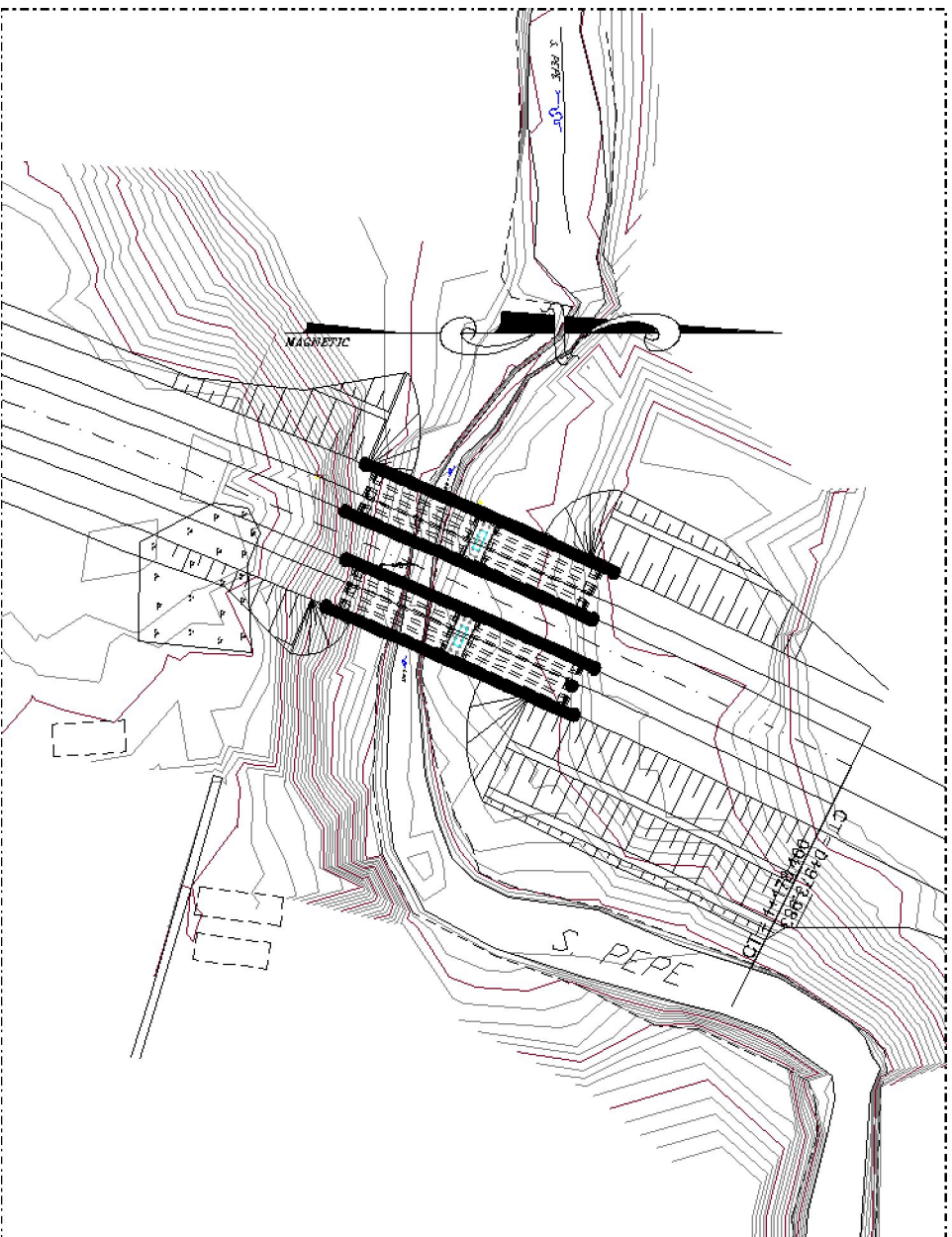
H

Contoh desain blok anchor pada jembatan “*Europa*” yang berupa jembatan *cable stayed* asimetris di Portugal (Reis and Pedro, 2001). Pada Tugas Akhir ini jembatan Kalipepe didesain menggunakan *externally anchored* seperti gambar di bawah.



I





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

JUDUL TUGAS AKHIR
 DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR
 JEMBATAN KALIBRE DENGAN
 ASTABILITIC CABLE STAYED
 SYSTEM DAN PC SB GIRDER

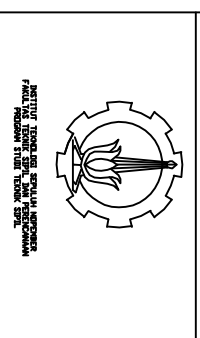
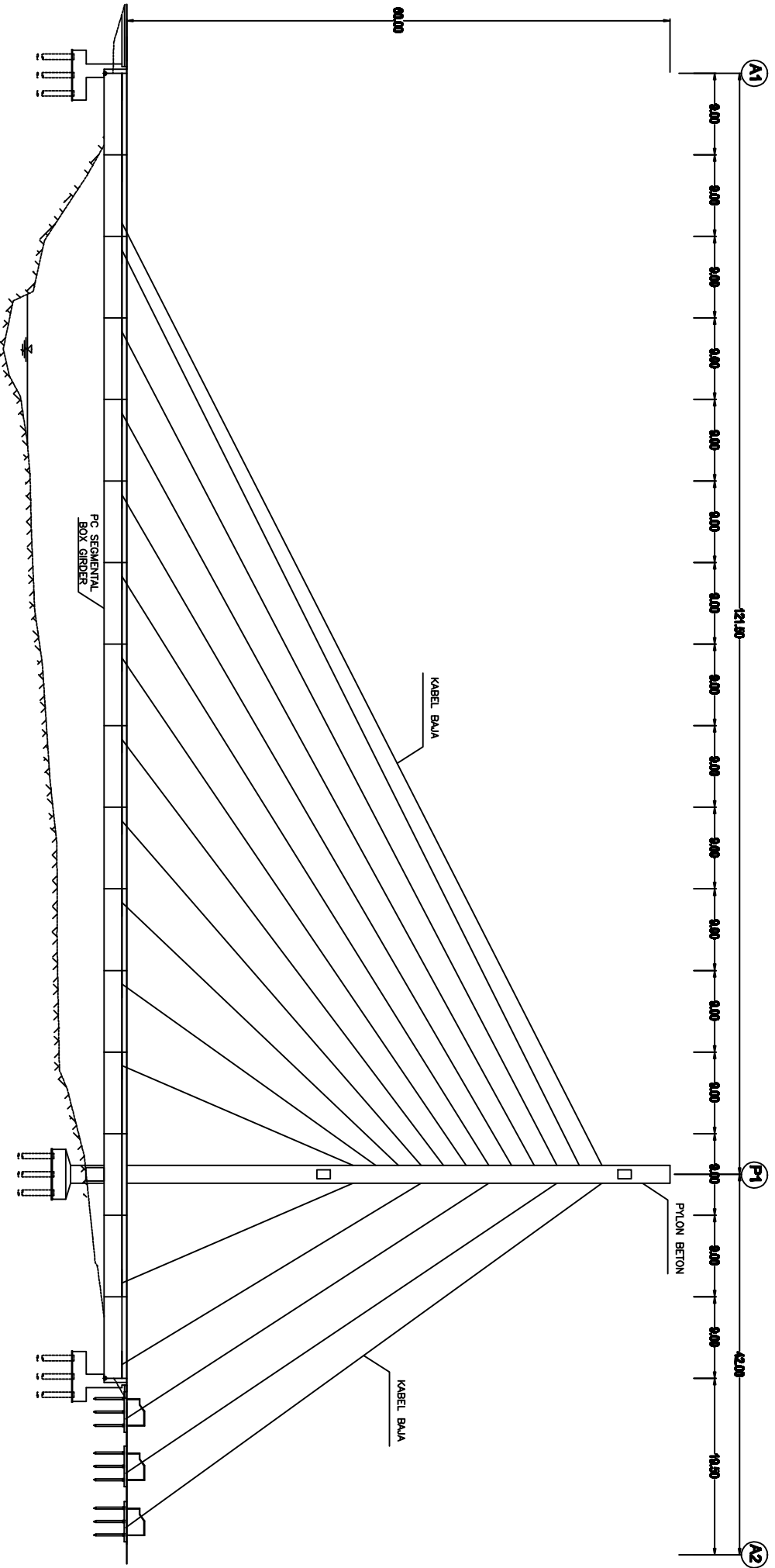
JUDUL GAMBAR
 LAYOUT LOKASI JEMBATAN

SKALA
 1 : 2000

NO
 1
JMLH
 24

DOSEN PEMBIMBING
 Prof. Tarlo, ST, MT, PUJ
 NIP. 197003271997021001
 Dr. Ir. Hikmat Saqibardi M. MS
 NIP. 195903251900031004

MAHASISWA
 Muhammad Akbar Alhasyali
 NIP. 3115105028



JUDUL TUGAS AKHIR
 DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR
 JEMBATAN KALIBRE DENGAN
 SISTEMATIC CABLE STAYED
 SYSTEM DAN PC BOX GIRDER

JUDUL GAMBAR
 TAMPILAN MENDANG
 JEMBATAN

SKALA
 1 : 600

NO
 3
JMLH
 24

DOSEN PEMBIMBING
 Prof. Tawo, ST., MT., PhD
 NIP. 197003271997021001
 Dr. Ir. Hidayat Saeghanda M., MS
 NIP. 195503251900031004

MAHASISWA
 Muhammad Akbar Alrasyidi
 NIP. 3115105025

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
JALAN KHUSUNINGRAT NO. 101-103
POMBOLO, SURABAYA 60115

JUDUL TUGAS AKHIR
 DESAIN MODIFIKASI
 STRUKTUR JERBATAN
 KALIBRE DENGAN
 ASIMETRIS CABLE STAYED
 SYSTEM DAN PC SB GIRDER

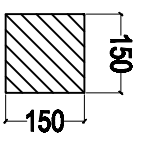
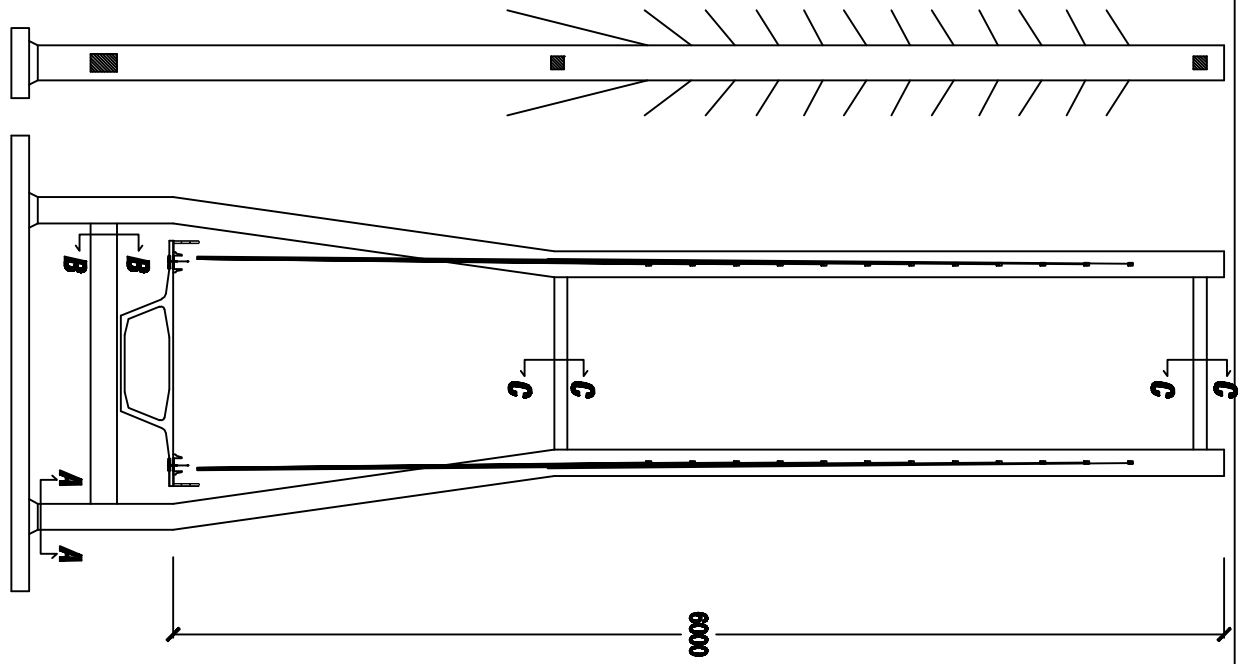
JUDUL GAMBAR
 TAMPILAN MELINTANG
 JERBATAN

SKALA
 1 : 400

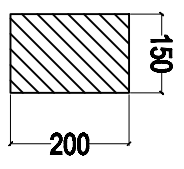
NO
 4
JMLH
 24

DOSEN PEMBIMBING
 Prof. Tarto, ST., MT., PdD
 NIP. 197003271907021001
 Dr. Ir. Ridwan Soehardi M., MS
 NIP. 195503251900031004

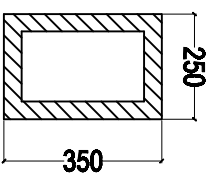
MAHASISWA
 Muhammad Akbar Alrasyidi
 NIP. 3115190028



DETAIL C-C



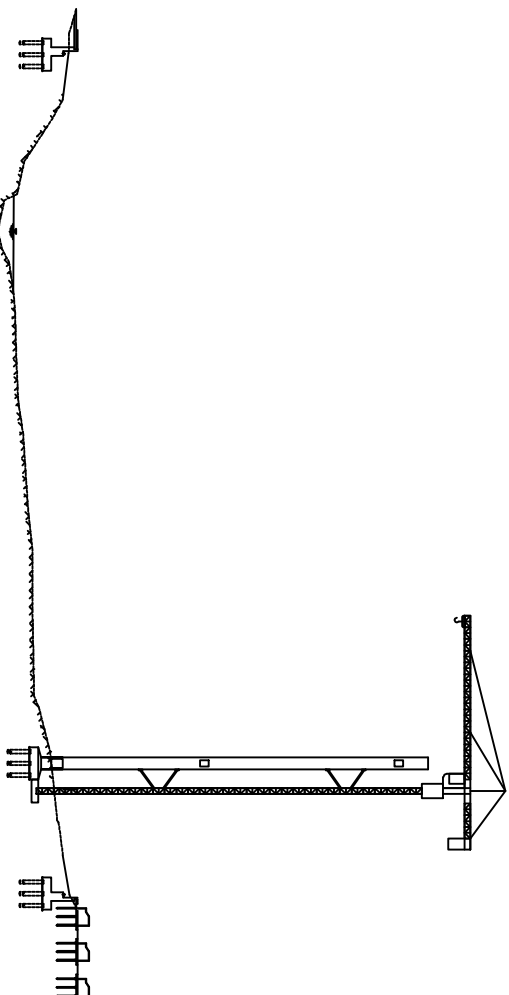
DETAIL B-B



DETAIL A-A

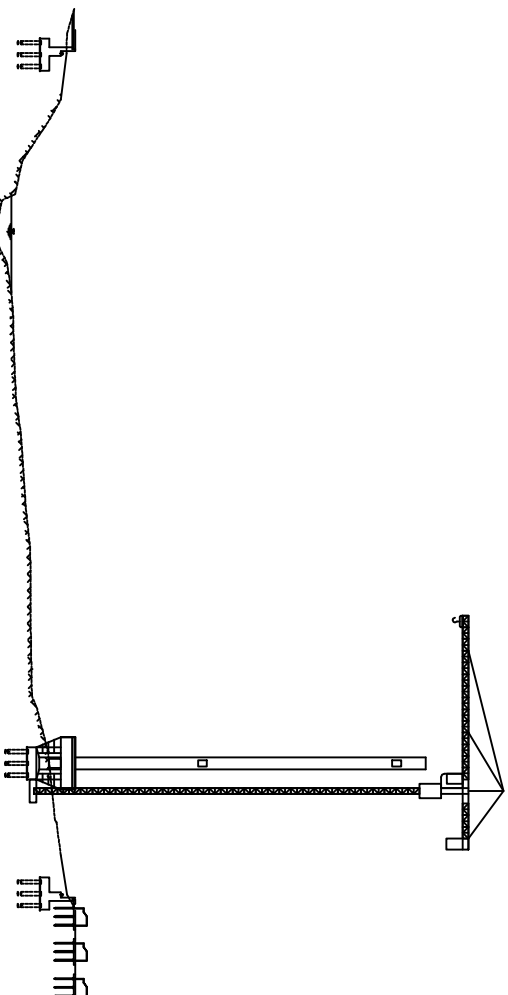
CYCLE 1

SKALA 1:1200



CYCLE 2

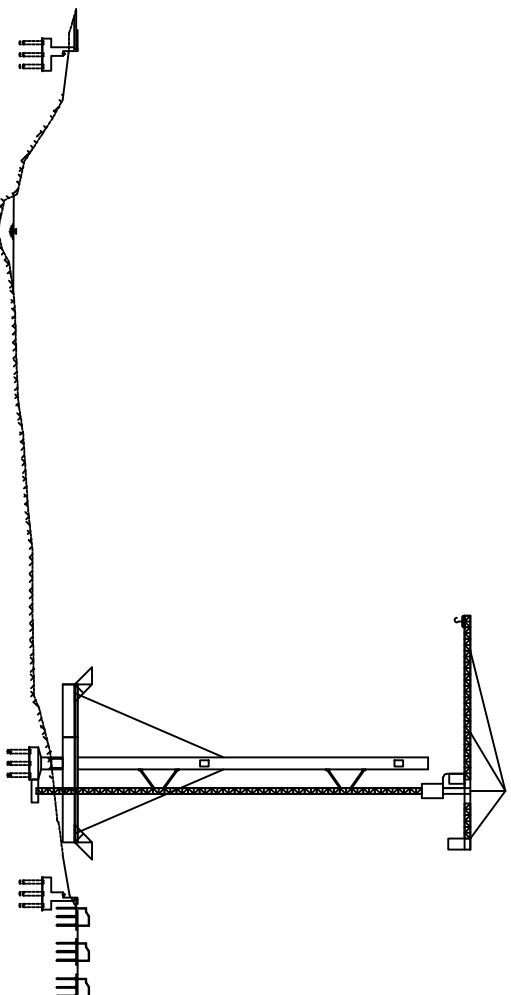
SKALA 1:1200



| | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-----------|---|---|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A572C CARBON STEEL SYSTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | | | | 5 | JMLH | | |
| | | | | 24 | Dr. Ir. Hidayat Saeghharjo M., MS NIP. 1955002519000031004 | | |

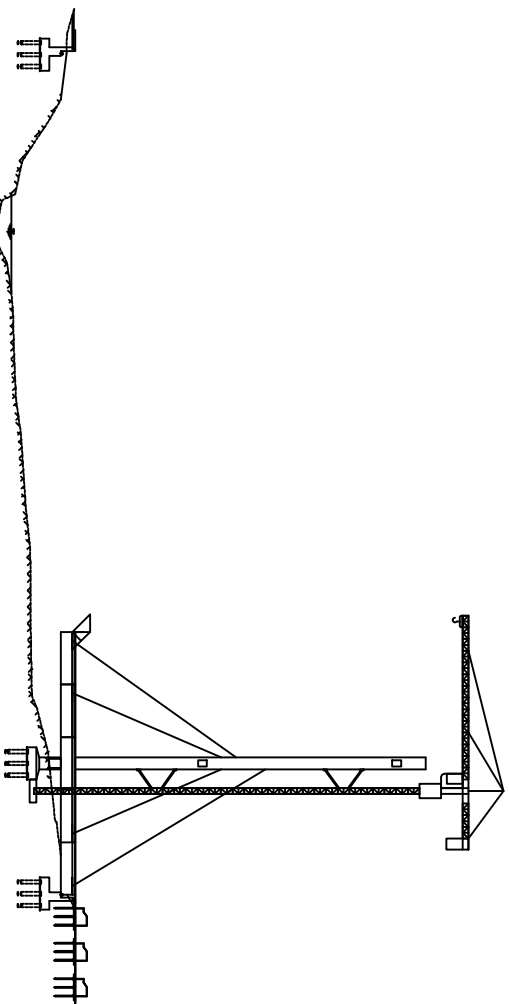
CYCLE 3

SKALA 1:1200



CYCLE 4

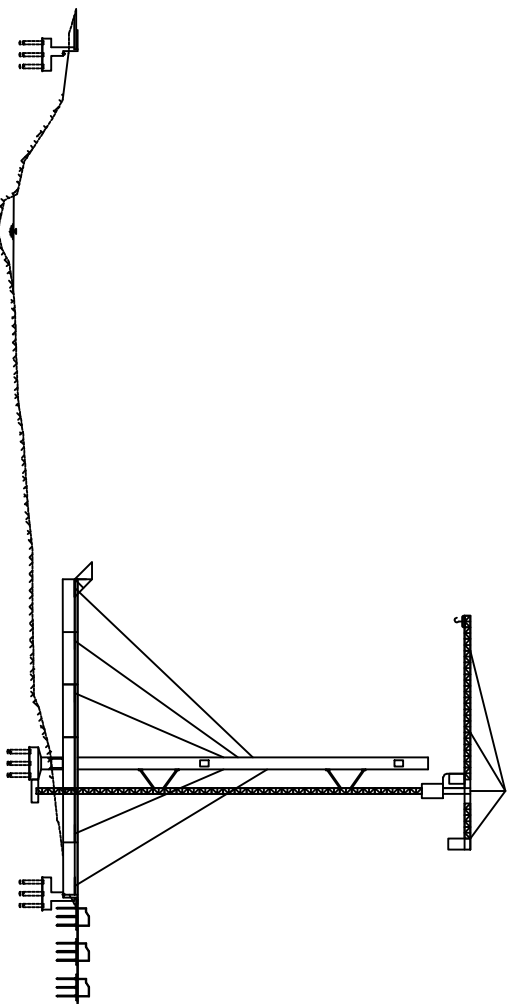
SKALA 1:1200



| | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-------------------|---|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A572C CARBON STEEL SYSTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | | | | JMLH 24 | | |

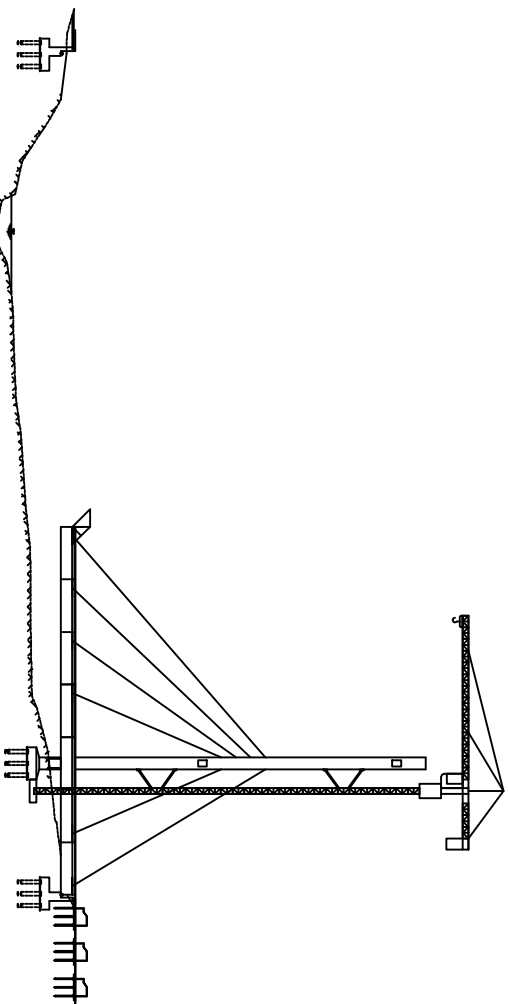
CYCLE 5

SKALA 1:1200



CYCLE 6

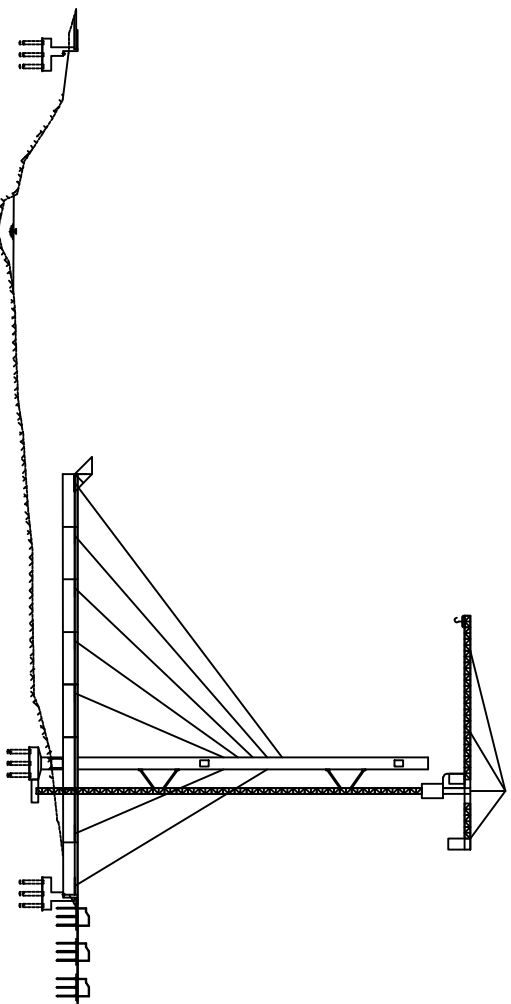
SKALA 1:1200



| | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-------------------|---|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A570C CARBON STEEL SYSTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | | | | JMLH 24 | | |

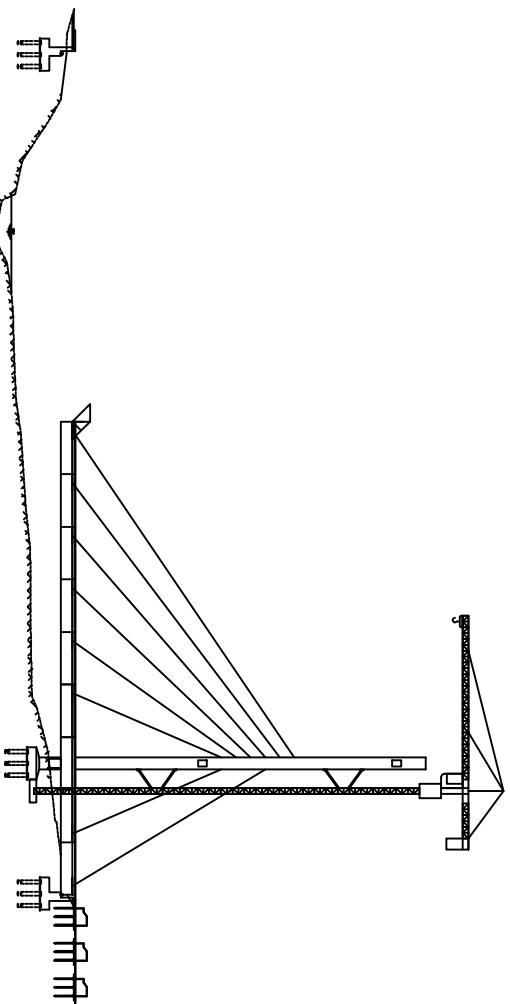
CYCLE 7

SKALA 1:1200



CYCLE 8

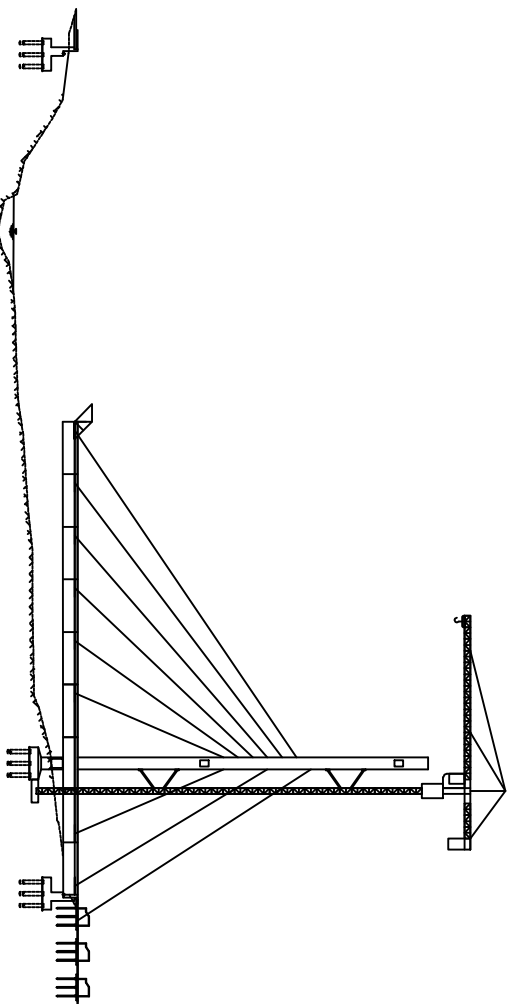
SKALA 1:1200



| | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-------------------|---|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A570C CARBON STEEL SYSTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | | | | JMLH 24 | | |

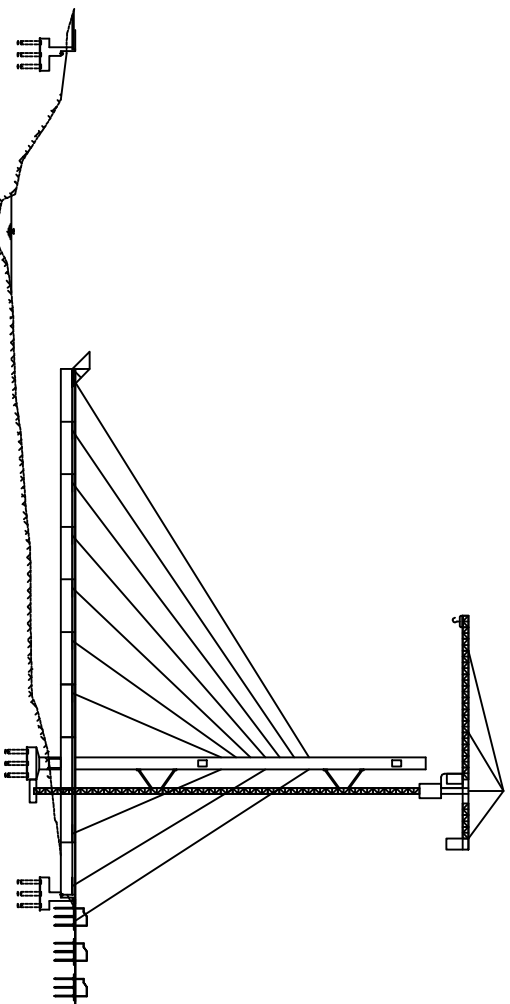
CYCLE 9

SKALA 1:1200



CYCLE 10

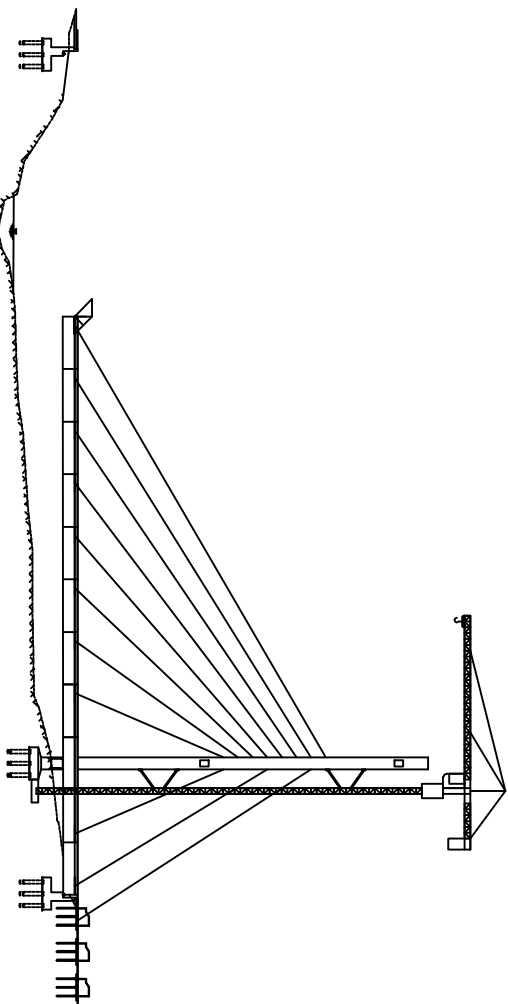
SKALA 1:1200



| | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-------------------|---|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR REVISI MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A570 GRADE 50 STEEL DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105028 |
| | | | | JMLH 24 | | |

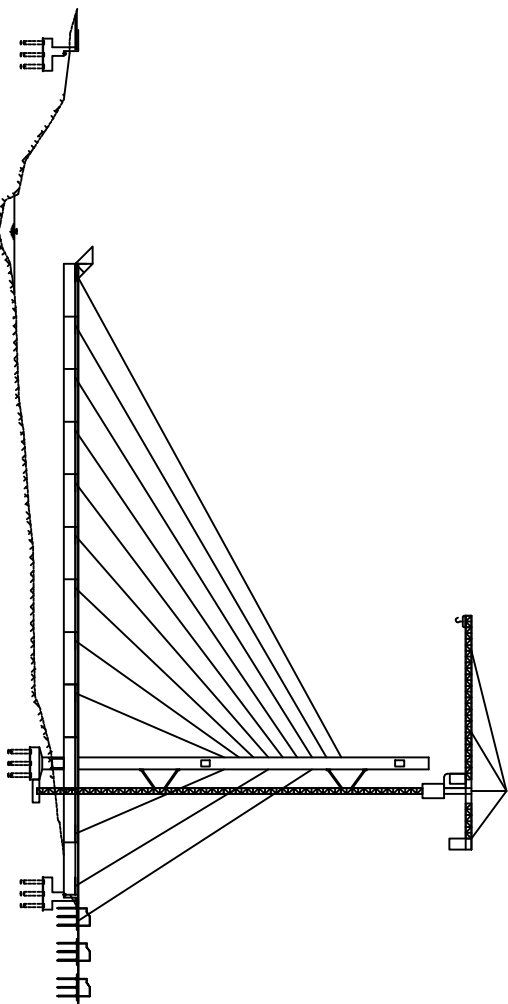
CYCLE 11

SKALA 1:1200



CYCLE 12

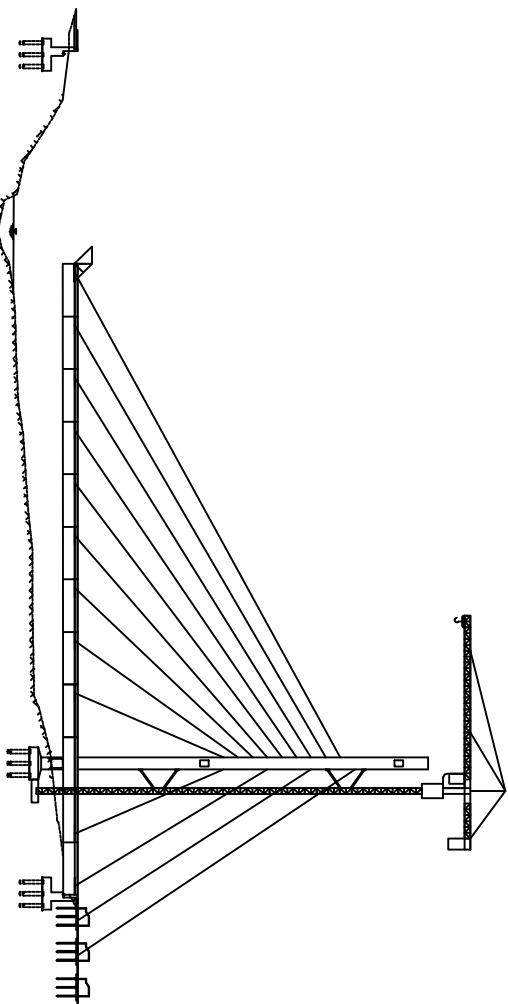
SKALA 1:1200



| | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|--|----------------------------|--|---|--|---|
| <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING</p> | <p>JUDUL TUGAS AKHIR</p> <p>DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A572C CARBON STEEL SYSTEM DAN PC SB GIRDER</p> | | <p>JUDUL GAMBAR</p> <p>TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN</p> | | <p>SKALA</p> <p>1 : 600</p> | | <p>NO</p> <p>10</p> | | <p>DOSEN PEMBIMBING</p> <p>Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001</p> | | <p>MAHASISWA</p> <p>Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025</p> |
| | <p>JMLH</p> <p>24</p> | | <p>JMLH</p> <p>24</p> | | <p>Dr. Ir. Hidayat Saeghharjo M., MS NIP. 1955002519000031004</p> | | | | | | |

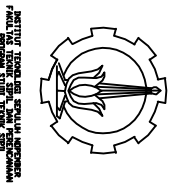
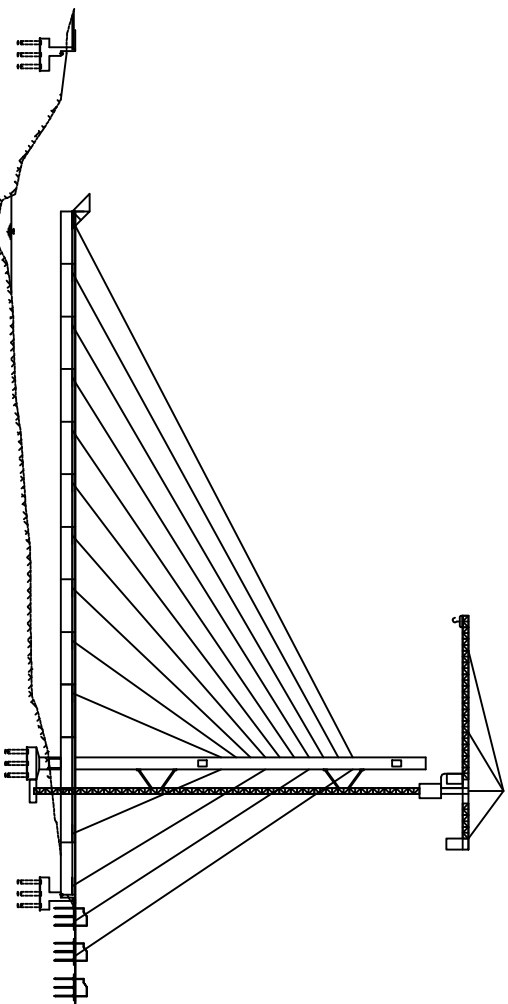
CYCLE 13

SKALA 1:1200



CYCLE 14

SKALA 1:1200

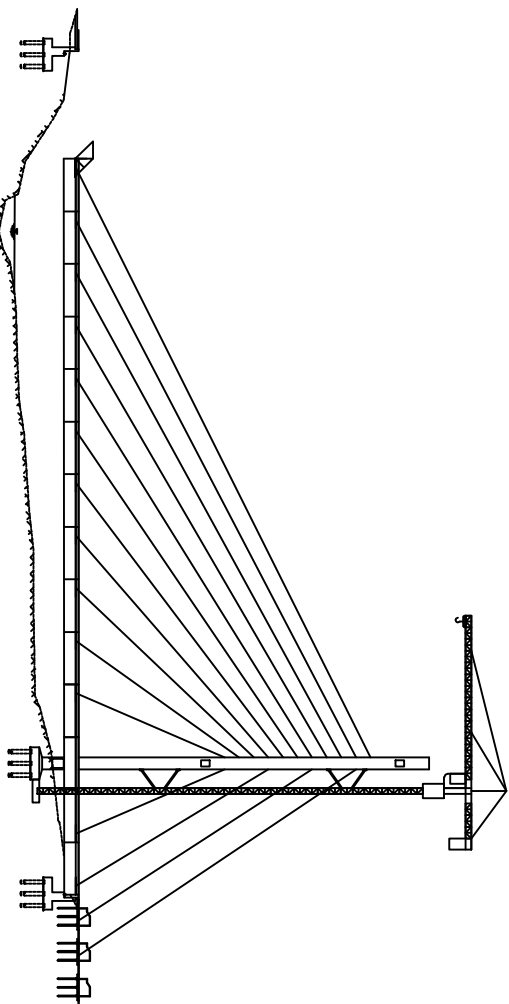


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-----------|------|---|---|
| JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A570 GRADE 50 SISTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | | | 11 | JMLH | | |
| | | | 24 | | Dr. Ir. Hidayat Saeghharjo M., MS NIP. 1955002519000031004 | |

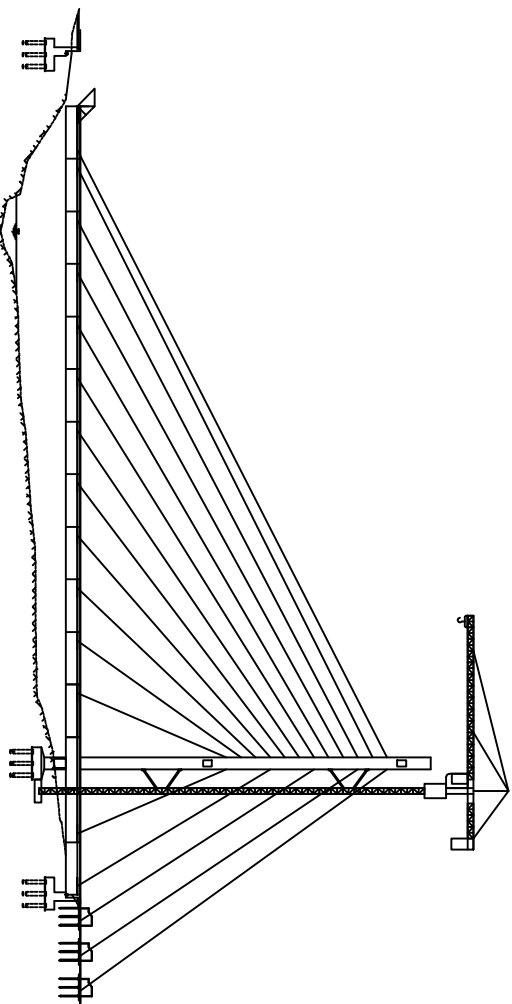
CYCLE 15

SKALA 1:1200

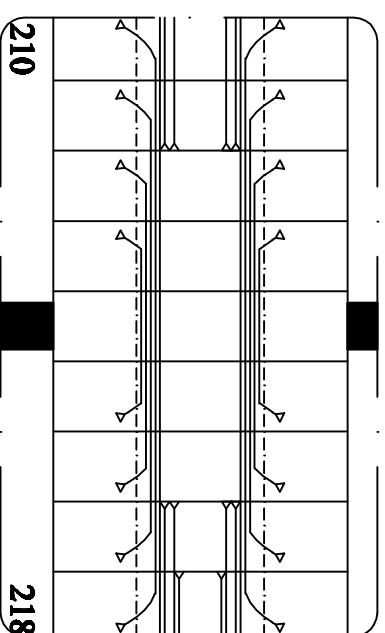
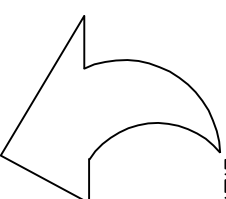
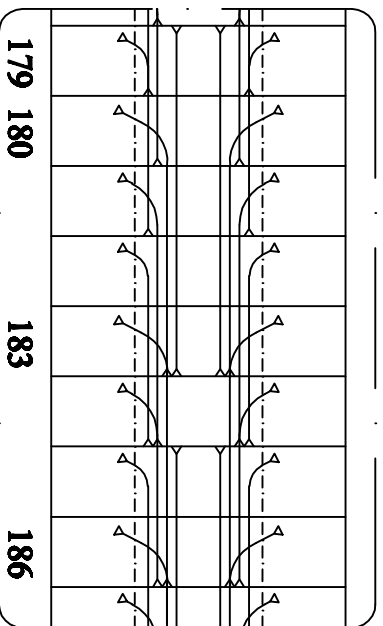
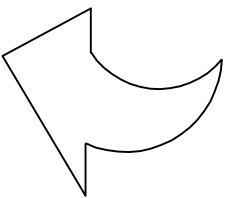
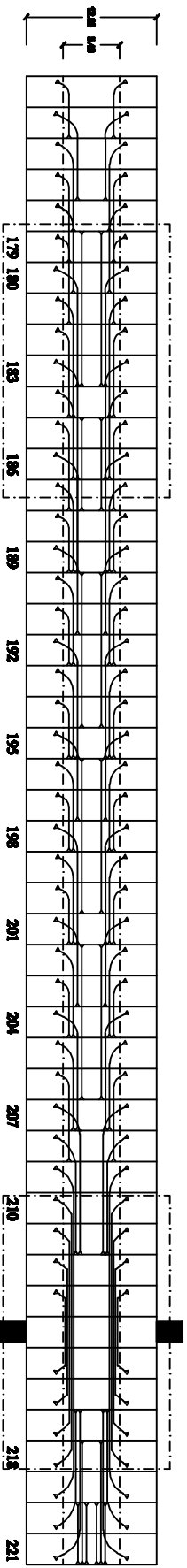


CYCLE 16

SKALA 1:1200



| | | | | | | | |
|--|--|--|-------------------------|-----------|------|--|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTM A570 GRADE 50 STEEL SYSTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR TAHAPAN PELAKSANAAN JEMBATAN | SKALA 1 : 600 | NO | | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawil, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105028 |
| | | | | 12 | JMLH | | |
| | | | | 24 | | Dr. Ir. Hidayat Saeghharjo M., MS NIP. 1955002819000031004 | |



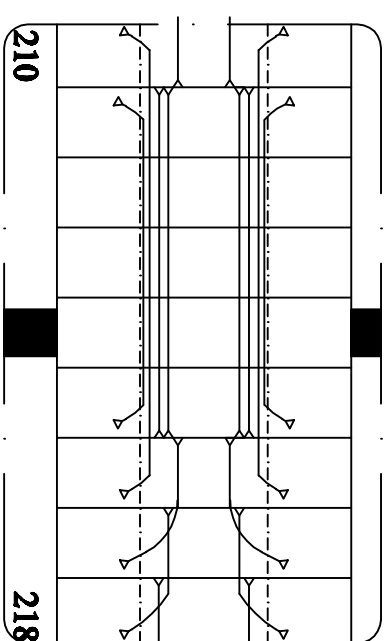
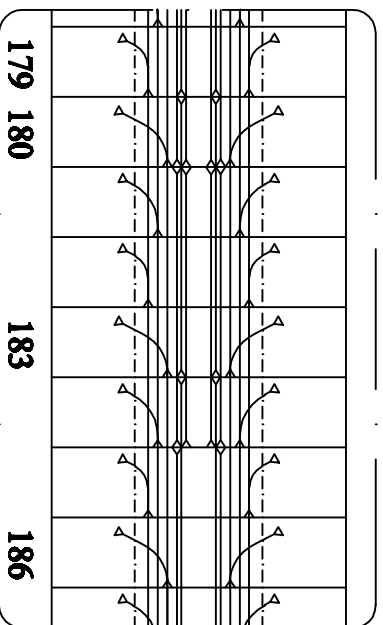
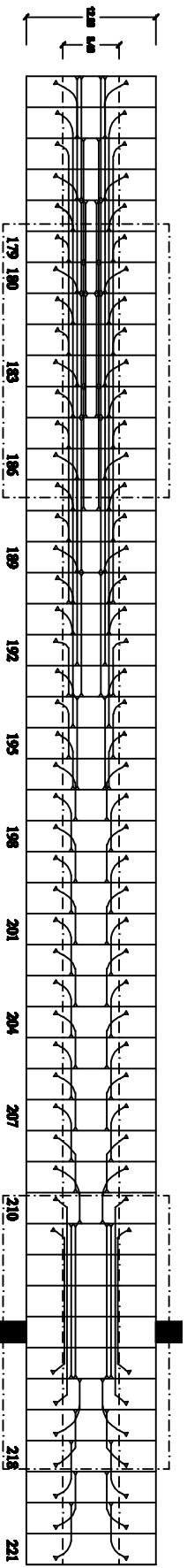
DETAIL TENDON PLAT ATAS

SKALA 1:500

DETAIL TENDON PLAT ATAS

SKALA 1:500

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-------------------------|--|--------------|--|------------------|--|---|--|---|--|
| <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING</p> | JUDUL TUGAS AKHIR | | JUDUL GAMBAR | | SKALA | | NO | | DOSEN PEMBIMBING | | MAHASISWA | |
| | DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTABILITIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | | DENAH TENDON PELAT ATAS | | 1 : 600 | | 13 JMLH 24 | | Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197003271997021001 Dr. Ir. Hidayat Saeghampu M., MS NIP. 195503251900031004 | | Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 | |



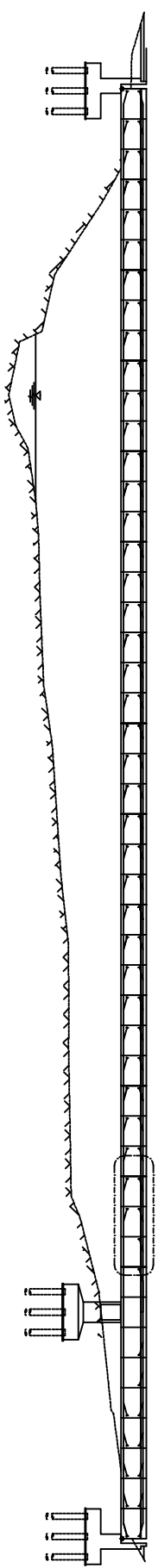
DETAIL TENDON PLAT BAWAH

SKALA 1:300

DETAIL TENDON PLAT BAWAH

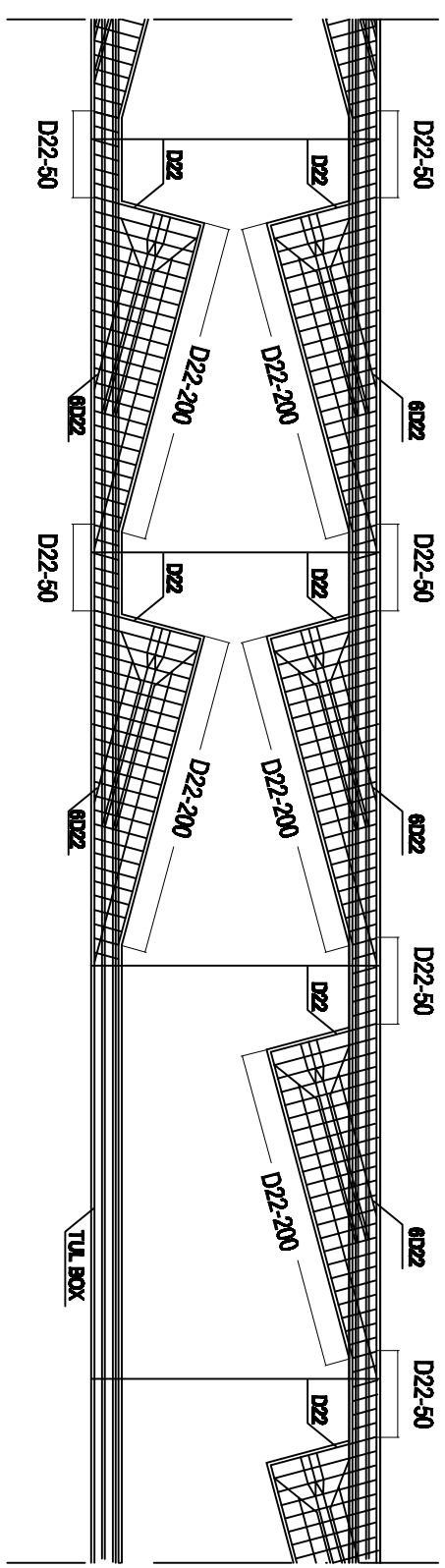
SKALA 1:300

| | | | | | | | |
|--|--|---|-------------------------|-------------------|--|---|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTABILITIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | JUDUL GAMBAR DENAH TENDON PELAT BAWAH | SKALA 1 : 600 | NO | | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawo, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | | | | JMLH 24 | | | |



TAMPAP SAMPING TENDON PRETEGANG

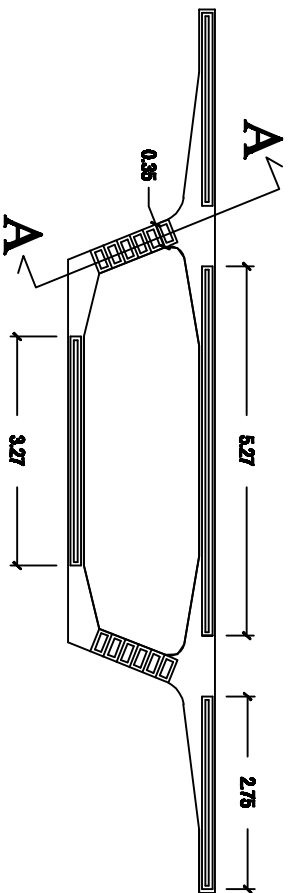
SKALA 1:600



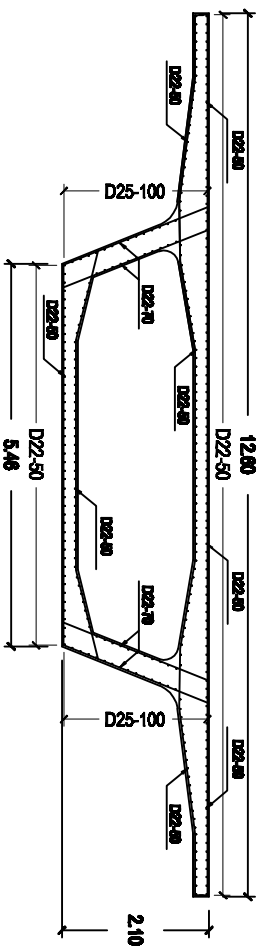
DETAIL TULANGAN BLISTER

SKALA 1:50

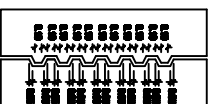
| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------------------|-----------------|--|---|
| | JUDUL TUGAS AKHIR DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBRE DENGAN ASTABILITIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | | JUDUL GAMBAR DETAIL TULANGAN BLISTER TENDON PRETEGANG | | SKALA 1 : 600 | NO 15 | DOSEN PEMBIMBING Prof. Tawfi, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | MAHASISWA Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115105025 |
| | JMLH 24 | | JMLH 24 | | | | | |



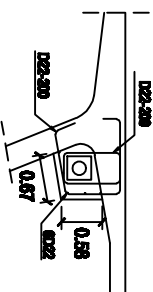
TIPIKAL SHEAR-KEY SEGMENT
SKALA 1:80



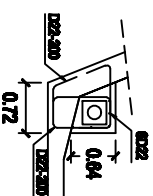
TIPIKAL PENULANGAN SEGMENT
SKALA 1:80



POTONGAN A-A
SKALA 1:80



PENULANGAN BLOK ANGEKUR ATAS
SKALA 1:80



PENULANGAN BLOK ANGEKUR BAWAH
SKALA 1:80

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--------------------------------------|--|--------------|-----------|-------------------------|------------------|
| | JUDUL TUGAS AKHIR | | JUDUL GAMBAR | | SKALA | NO | DOSEN PEMBIMBING | MAHASISWA |
| | DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JERBATAN KALIPREP DENGAN ASYMETRIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | | TIPIKAL SHEAR-KEY DAN PENULANGAN BOK | | | | | |



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

JUDUL TUGAS AKHIR
DESAIN MODIFIKASI
STRUKTUR JEMBATAN
KALPEBE DENGAN
ASYMMETRIC CABLE STAYED
SYSTEM DAN PC SB GIRDER

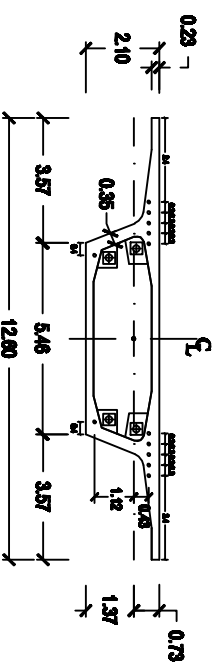
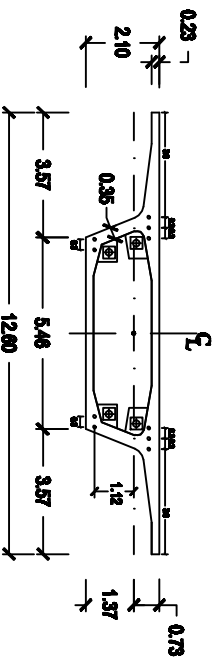
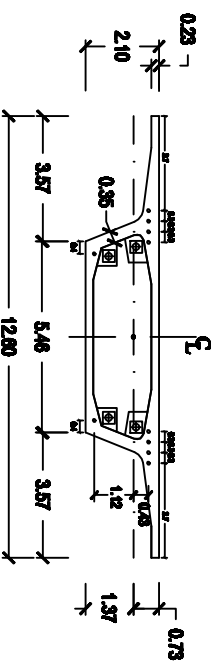
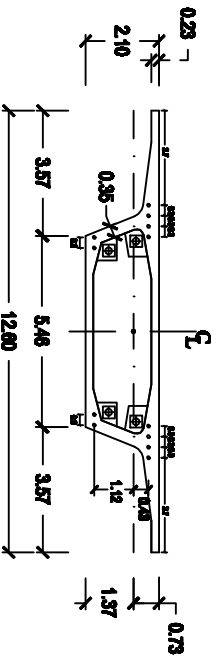
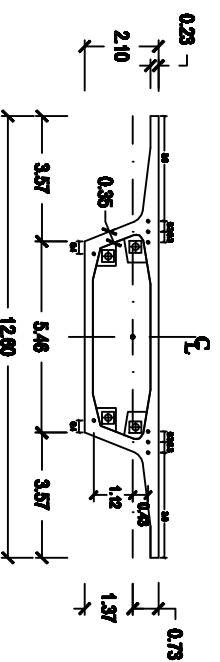
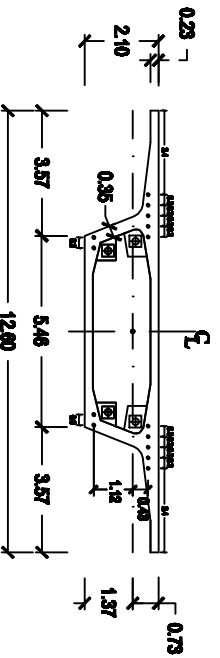
JUDUL GAMBAR
PENEMPATAN TENDON
PRALEGANG BOX

SKALA
1 : 200

NO
17
JMLH
24

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Tarno, ST., MT., PhD
NIP. 167000271097021001
Dr. Ir. Mulyat Soegiharto M., MS
NIP. 1655002351000031004

MAHASISWA
Muhammad Akbar Alrasyidi
NIP. 3115105023





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
JALAN POLOKOWO, SURABAYA 60115

JUDUL TUGAS AKHIR
DESAIN MODIFIKASI
STRUKTUR JEMBATAN
KALPEBE DENGAN
ASYMMETRIC CABLE STAYED
SYSTEM DAN PC SB GIRDER

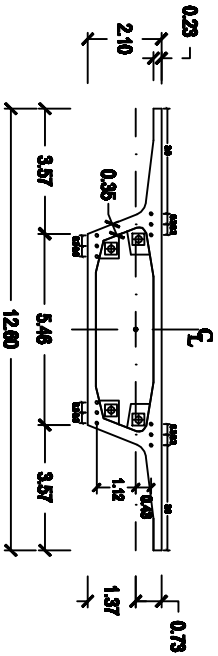
JUDUL GAMBAR
PENEMPATAN TENDON
PRALEGANG BOX

SKALA
1 : 200

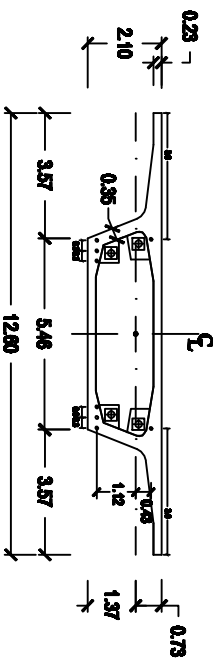
NO
18

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Idris, ST., MT., PhD
NIP. 197000271997021001

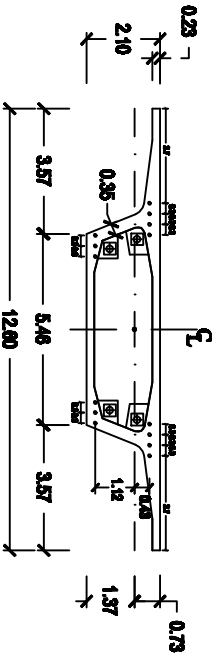
MAHASISWA
Muhammad Akbar Alrasyidi
NIP. 3115100028



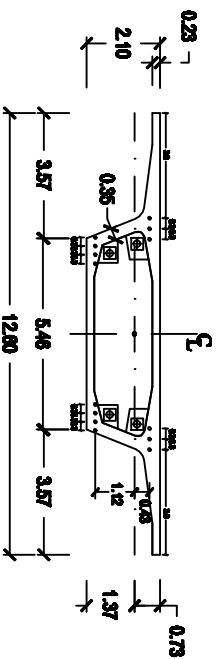
SERGAMEN 199
RUMAH LAMBA



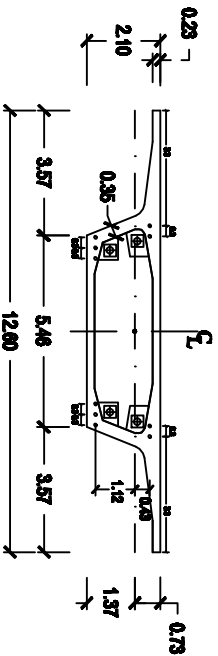
SERGAMEN 174
RUMAH LAMBA



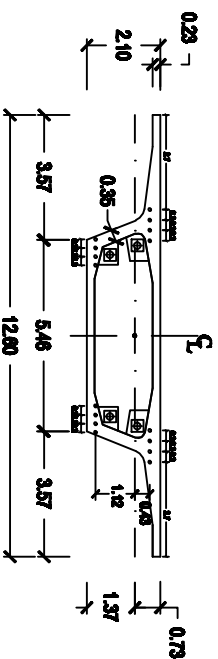
SERGAMEN 191, 192
RUMAH LAMBA



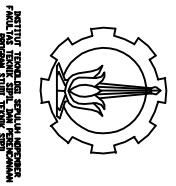
SERGAMEN 190
RUMAH LAMBA



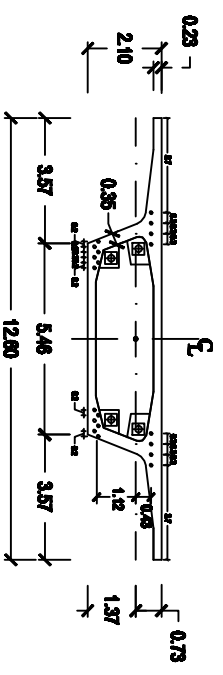
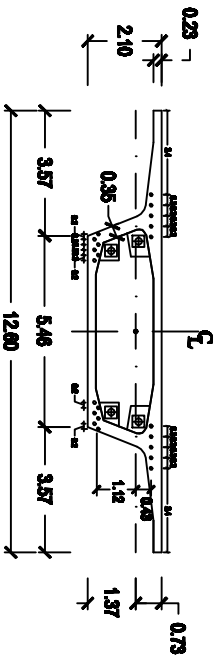
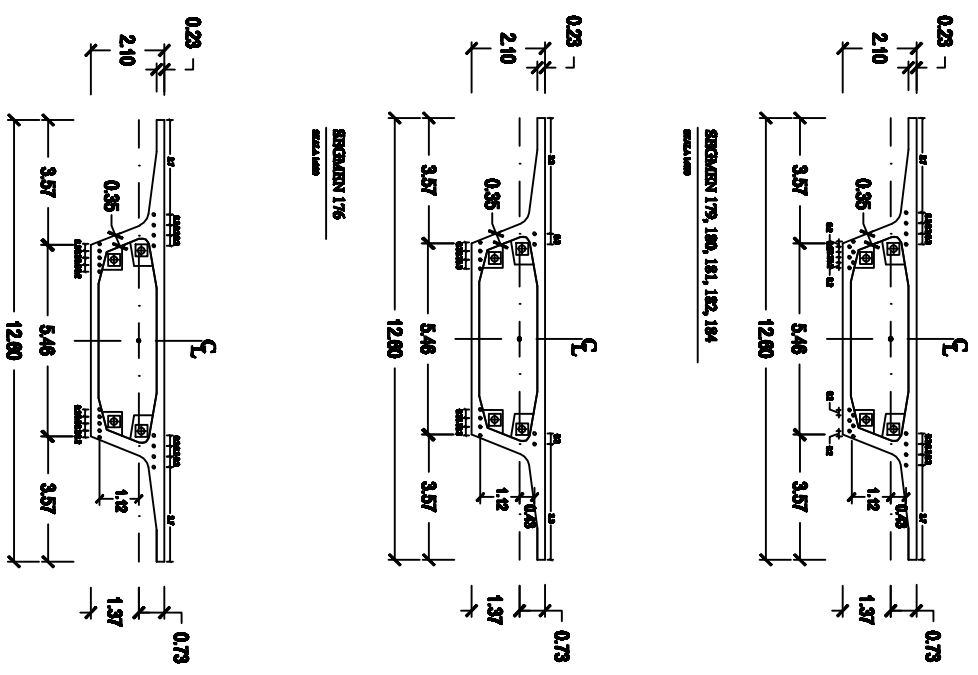
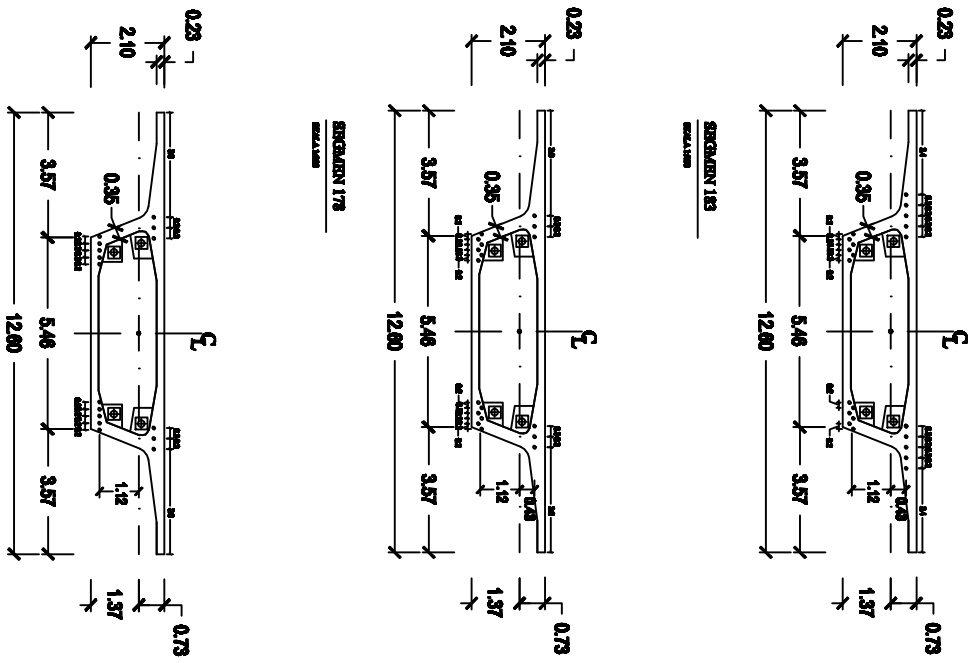
SERGAMEN 175
RUMAH LAMBA



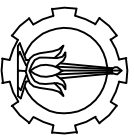
SERGAMEN 189
RUMAH LAMBA



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING



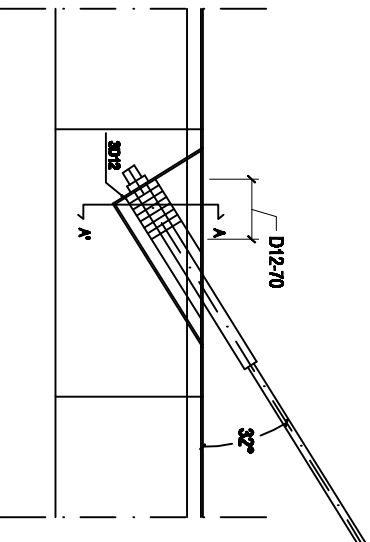
| | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------------------------|--------------|-----------|--|------------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR | JUDUL GAMBAR | | SKALA | NO | DOSEN PEMBIMBING | MAHASISWA |
| | DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALPEBE DENGAN ASYMMETRIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | PENEMPATAN TENDON PRATEGANG BOX | | | | |
| | | | | JMLH | | |
| | | | | 24 | Dr. Ir. Mulyat Soegihardjo M., MS NIP. 195500251990001004 | |



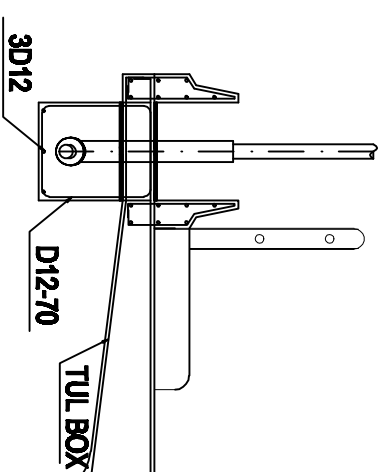
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

| | | | | | | |
|--------------------------|--|---|--------------|-----------|-------------------------|------------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR | JUDUL GAMBAR | | SKALA | NO | DOSEN PEMBIMBING | MAHASISWA |
| | DERSAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBEPE DENGAN ASIMETRIK CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | DETAIL TULANGAN BILSTER KABEL STAYED PADA GIRLAGAR | | | | |

**DETAIL TULANGAN BILSTER
KABEL M7 PADA GIRLAGAR**
SKALA 1:50



POTONGAN A-A'
SKALA 1:50





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR
DESAIN MODIFIKASI
STRUKTUR JEMBATAN
KALIPBE DENGAN
ASTMATIC CABLE STAYED
SYSTEM DAN PC SB GIRDER

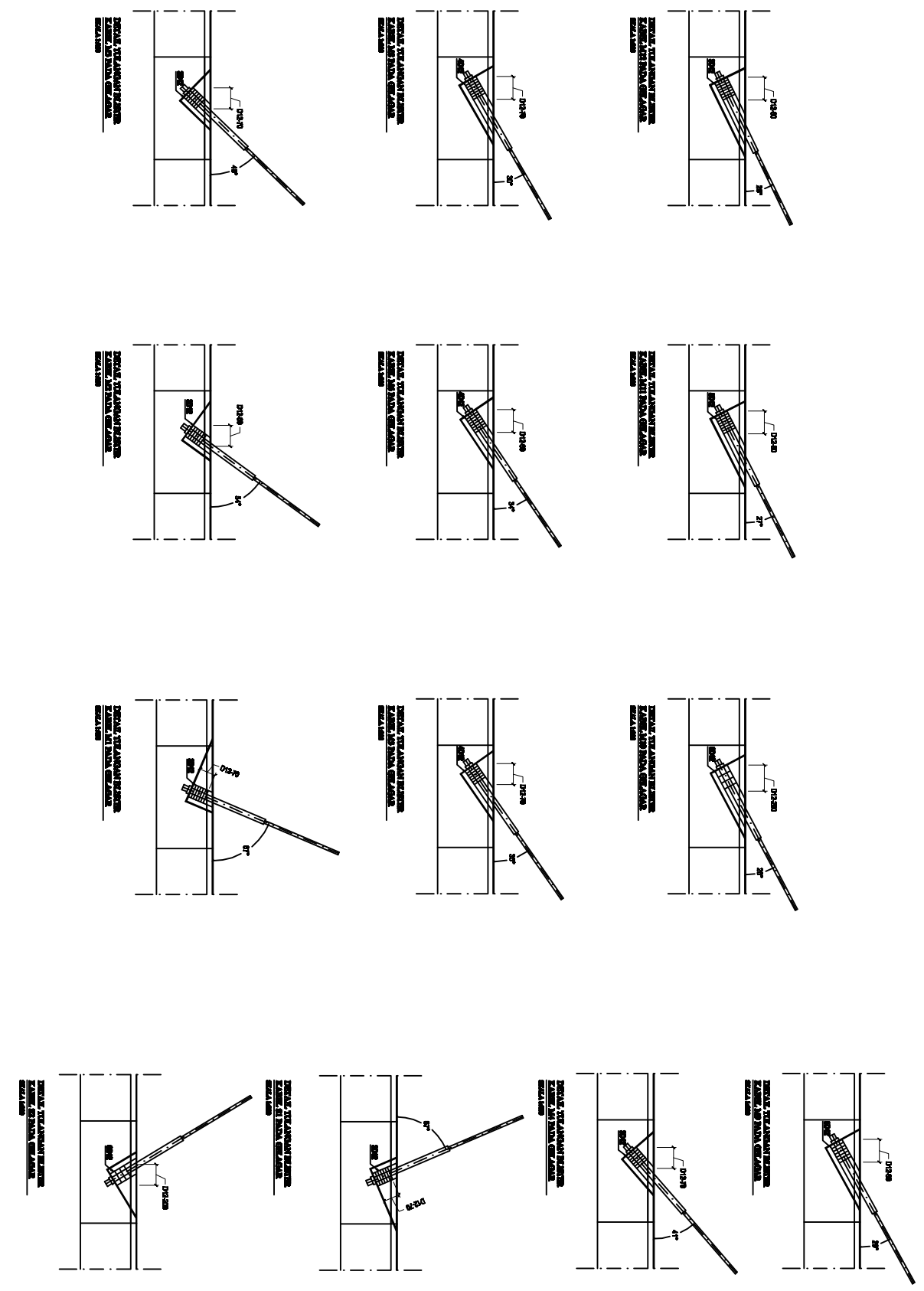
JUDUL GAMBAR
DETAIL TULANGAN BLISTER
PADA GIRLAGAR

SKALA
1 : 200

NO
21
JMLH
24

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Tama, ST., MT., PhD
NIP. 167000271097021001
Dr. Ir. Ridwan Saugaharjo M., MS
NIP. 16550020510000051004

MAHASISWA
Muhammad Akbar Alrasyidi
NIP. 3115100020





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL SYSTEMS

JUDUL TUGAS AKHIR
DESAIN MODIFIKASI
STRUKTUR JEMBATAN
KALIPBE DENGAN
ASYMETRIC CABLE STAYED
SYSTEM DAN PC SB GIRDER

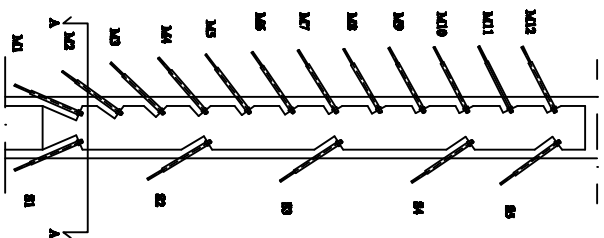
JUDUL GAMBAR
PENULANGAN DAN
PENGANGKURAN KABEL PADA
PYLON

SKALA
1 : 100
1 : 200

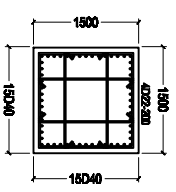
NO 22
JMLH 24

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Tarno, ST., MT., PhD
NIP. 167000271697021001
Dr. Ir. Ridwan Saugharjo M., MS
NIP. 165000251000051004

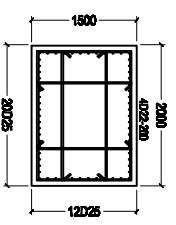
MAHASISWA
Muhammad Akbar Alrasyidi
NIP. 3115105025



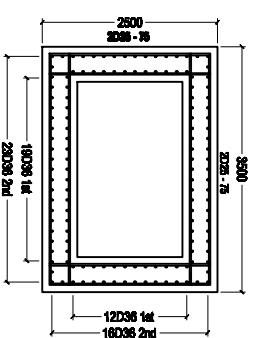
PENULANGAN KABEL PADA Pylon
SKALA 100



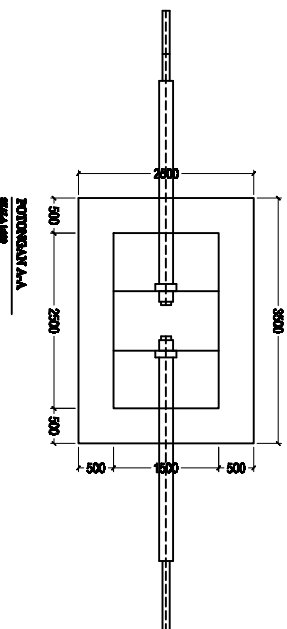
PENULANGAN LEMBAR CANGKUP BELAK Pylon
SKALA 100



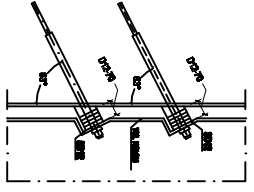
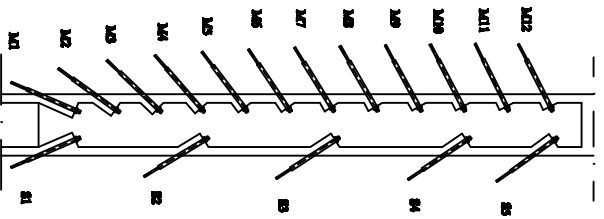
PENULANGAN LEMBAR CANGKUP BELAK Pylon
SKALA 100



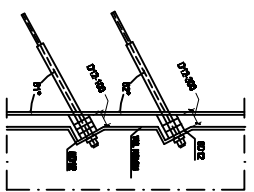
PENULANGAN BOKAL Pylon
SKALA 100



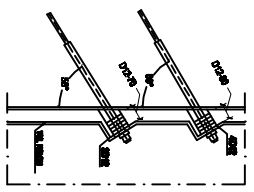
KOTONGAN Pylon
SKALA 100



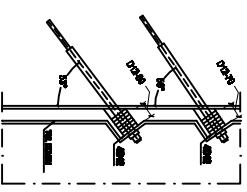
TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100



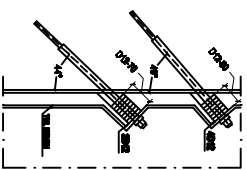
TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100



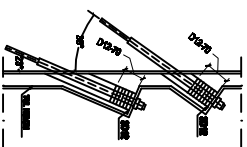
TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100



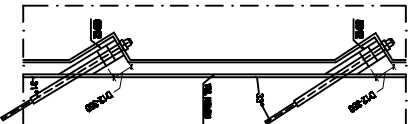
TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100



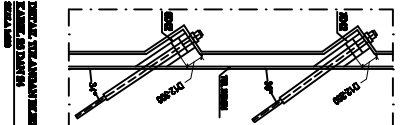
TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100



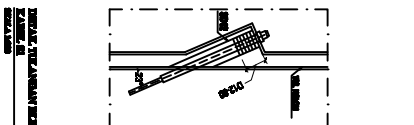
TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100



TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100

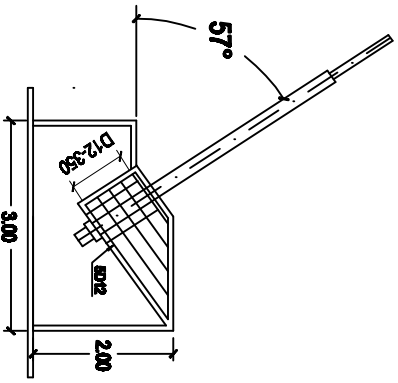


TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100

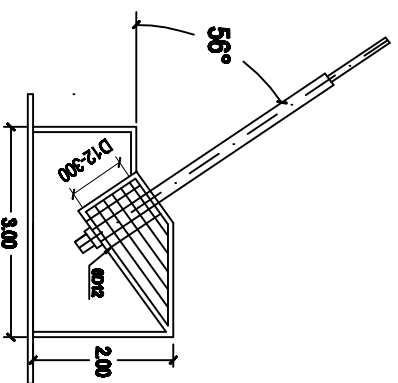


TEKNIK TERAPAN PERENCANAAN KABEL AND DARTING
SKALA 1:100

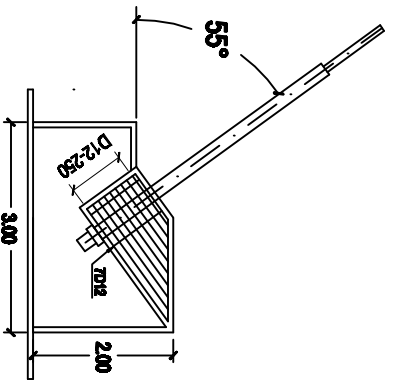
| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|------------------------------------|--|--------------|--|--|--|---|--|
| | | JUDUL TUGAS AKHIR | | JUDUL GAMBAR | | SKALA | | DOSEN PEMBIMBING | | MAHASISWA | |
| | | DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIPBE DENGAN ASYMMETRIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | | DETAIL TULANGAN BLISTER PADA PYLON | | 1 : 100 | | Prof. Tama, ST., MT., PhD NIP. 197000271997021001 | | Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115100028 | |
| | | | | | | | | No. 23 Jumlah 24 | | | |



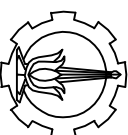
**DETAIL TULANGAN BLISTER
BLOK ANGGUR S3**
SKALA 1:100



**DETAIL TULANGAN BLISTER
BLOK ANGGUR S4**
SKALA 1:100



**DETAIL TULANGAN BLISTER
BLOK ANGGUR S5**
SKALA 1:100

| JUDUL TUGAS AKHIR | | JUDUL GAMBAR | SKALA | NO | DOSEN PEMBIMBING | MAHASISWA |
|---|---|---|---------|-------------|---|---|
|  <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING</p> | DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALIBEPE DENGAN ASYMETRIC CABLE STAYED SYSTEM DAN PC SB GIRDER | DETAIL TULANGAN BLISTER BLOK ANGGUR CABLE STAYED | 1 : 100 | 24 | Prof. Tama, ST., MT., PhD NIP. 167000271697021001 Dr. Ir. Ridwan Saugihardjo M., MS NIP. 1655002351600031004 | Muhammad Akbar Alrasyidi NIP. 3115160026 |
| | | | | JMLH | | |
| | | | | 24 | | |



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax:031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

| | |
|-------------------|--|
| NAMA PEMBIMBING | : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS |
| NAMA MAHASISWA | : MOHAMMAD ANWAR ALKASIDI |
| NRP | : 3115105026 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder |
| TANGGAL PROPOSAL | : 25 Januari 2017 |
| NO. SP-MMTA | : |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|----------|--|---|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 1 | 1/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - bab 4 preliminary desain - bab 5 struktur sekunder | <ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki gambar memayang - perbaiki profil box sesuai lebar existing + 4 kabel 1m - beban hidup UDL + UEL saja - 4 perhitungan deck / box | |
| 2 | 8/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - bab 6 perambatan & analisis struktur - memperbaiki gbr memayang & b17 | <ul style="list-style-type: none"> - Cari jml maksimum kabel dlm 1 tumpukan - Oritasi & mencegah fatigue pd kabel ref. pd AASHTO / buku & berlaku di pd hasil pratayang box - perhitungan dimensi pylon, dppaksi - 0,3 fc km 0,7 ny & penintang momen | |
| 3 | 22/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - bab 6 analisa pembebanan - revisi sebelumnya | <ul style="list-style-type: none"> - gaya tarik dikali jarak as antar tumpukan diambil 1,5 BTR - ada tumpukan agar hitung 1/2 dr desintulasi - beban gempa boleh mengambit posium | |
| 4 | 29/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - Lanjutkan pembebanan - konfigurasi beban hidup - staging analisis - pernu delan | <ul style="list-style-type: none"> - Ref. konfigurasi Lt distabilitas - gbr sheet stager & traveler - dist box → properti diambil rekening b17 - b alasm km midas menggunakan parameter beam - lat ref. youtube & pratayang box - dist ref. hub beban & kabel & pratayang - penulangan & pratayang yg revisi | |



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



| | |
|-------------------|--|
| NAMA PEMBIMBING | : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M.Mr |
| NAMA MAHASISWA | : Mohammad Akbar Alrasyidi |
| NRP | : 3115105026 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder |
| TANGGAL PROPOSAL | : 25 Januari 2017 |
| NO. SP-MMTA | : |

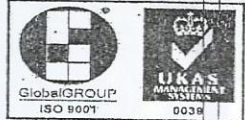
| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|----------|---|--|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 5 | 18/4 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - Staging Analyzer - pemodelan kabel paku 1 yang terpasang | <ul style="list-style-type: none"> - tidak ada 3, paku 45 terpasang di lift dicek saat pelaksanaan minggu ini kabel & prestress mendon segmen terpasang | |
| 6 | 3/5 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - Output staging - Output full - Struktur kabel | <ul style="list-style-type: none"> - Tahap pelaksanaan dimasukkan ke bab staging - diberi gambar pd bab staging (output dek) - prestress per segmen | |
| 7 | 10/5 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - tendon prestress staging - kontrol aerodinamis | <ul style="list-style-type: none"> - cek tendon atas 4 nomor (-) - cek tendon bawah 4 nomor (+) - pelajari joint stress, maki 2 & posisi tendon & angkurnya - cek grafik efek flutter antara horisontal (periode) & displacement | |
| 8 | 14/6 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - perbaiki grafik flutter - tendon segmental ok - tulangan arch memajang girder di min (sikut & suhu) - tulangan arch memajang hulu seperti lantai kendaraan | <ul style="list-style-type: none"> - persiapkan grafik fluter - tendon segmental ok - diil memajang girder di suhu sikut - diil memajang hulu seperti lantai kendaraan - tendon analisis pd sambungan mendon momen, torsi, geser | |



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax:031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

| | | |
|-------------------|---|--|
| NAMA PEMBIMBING | : | Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M.Ms |
| NAMA MAHASISWA | : | Mohammad Albar Alrasyidi |
| NRP | : | 3115105026 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : | Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder |
| TANGGAL PROPOSAL | : | 25 Januari 2017 |
| NO. SP-MMTA | : | 014028 |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|----------|---|--|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 9 | 23/5 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - Pylon - gelagar - kontrol aerodinamis oke | <ul style="list-style-type: none"> - torsi dimasukkan ke balok lantai perbesaran dia torsi agar jadi desain - stressing angkur pylon di luar | |
| 10 | 7/6 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - Laporan A/R - gambar | <ul style="list-style-type: none"> - cek ukuran box main & mel - cek diagram teg. box akibat msa - brang pylon diantiringer | |



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04

rev01

| | |
|-------------------|---|
| NAMA PEMBIMBING | : Prof. Tawio ST. MT. Ph.D |
| NAMA MAHASISWA | : MOHAMMAD AKBAR ALRASYIDI |
| NRP | : 3115105026 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder |
| TANGGAL PROPOSAL | : 25 Januari 2017 |
| NO. SP-MMTA | : 014028 |

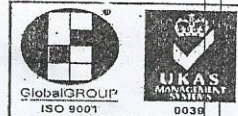
| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|----------|--|---|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 1 | 2/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - bab 4 prelin desain - bab 5 struktur sekunder | <ul style="list-style-type: none"> - cari referensi - perbaiki notasi tabel & gambar - perbaiki gambar bab 5 - box tetap ukuran 12,6 - prestressed memenuhi beban pelatisan - saja lalu dicek dulu kabel plus 1 - ya urat lampiran, ya bisa ditambah prestress | |
| 2 | 9/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - bab 6 permodelan & Analisa | <ul style="list-style-type: none"> - prelin balok ada perlu dicantumkan - di cantumkan dulu - penampang ryan dibuat box dg tebal 30 - 70 cm - dimensi & notasi pd gambar diperjelas | |
| 3 | 23/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - bab 6 analisa perbesaran | <ul style="list-style-type: none"> - ref. fichtera - beam tendon dr betonradr. + form - prestress dihitung manual - perulangan baja yg besat kondisi dicek - perulangan min. | |
| 4 | 6/3 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - permodelan midas | <ul style="list-style-type: none"> - bisa perbaiki jarak antar kabel - mencari nilai positif pretension awal - bisa menguji elemen kabel - bisa menggunakan pin slag pincori dan | |
| 5 | 18/4 '17 | <ul style="list-style-type: none"> - Staging analysis | <ul style="list-style-type: none"> - kontrol staging analysis pd - label harus memenuhi lendutnya - gaya dalam di pilih 10 max | |



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax:031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

| | |
|-------------------|--|
| NAMA PEMBIMBING | : Prof. Tawo ST. MT. Ph.D |
| NAMA MAHASISWA | : MOHAMMAD ALBARR, ALRASYDI |
| NRP | : 3115105026 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN KALPEPE dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder |
| TANGGAL PROPOSAL | : 25 Juni 2017 |
| NO. SP-MMTA | : 014028 |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|----------|--|--|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 6 | 20/4 '17 | - Hasil Output Staging Analyzer | - persiapkan laporan | |
| 7 | 2/5 '17 | - Output staging - wireline gempa statis - kontrol kabel | - Perbaiki laporan tentang tabel has dipejelas pd paragraf sebelumnya - Momen di cari yg terbesar antara staging dan servis dg tendon posisi flens atas. Etc - buku draft regera di serahkan - angkur di dek ikuat deke, di pylon tutup pylon & bolu angkur bisa sendiri | |
| 8 | 18/5 '17 | - tendon atas - kontrol aerodinamis | - teg. tarik diusahakan selalu tekan yg segmental - Sambungan antar segmental gunakan Shear key - Jarak min 10 mm, cover 75 mm - tul melintang flens atas bawah gunakan lnt. plat lantai landasan - lnt. memotong gundam tl. min 4 efek - di momen 2 (yg ditangan sbg basis) - torsi dianggrap momen x 1/4 torsi lnt. memotong melintang - tlt. web dr momen 2 dr geser y | |
| 9 | 27/5 '17 | - Pylon - tendon bawah - penulangan box | - Ujar nilai diagram tegangan lnt. masuk teg. ijin - gk perlu ngejar F per - lnt. bahu pylon dibel. sekuatnya bahu dlm | |



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax:031-5947284

Form AK/TA-04
rev01



| | |
|-------------------|---|
| NAMA PEMBIMBING | : Prof. Janto , ST, MT, Ph.D |
| NAMA MAHASISWA | : Mohammad Ahsan Alraji |
| NRP | : 3115105026 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipere dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder |
| TANGGAL PROPOSAL | : 25 Januari 2017 |
| NO. SP-MMTA | : 014028 |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|---------|-------------------------------|--|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 10 | 1/6 '17 | analisa angkur Analisa box | - cek kontrol degradasi - cek shear lug box | |
| 11 | 7/6 '17 | Laporan Bab 4 gambar | | |